

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЕЧЬЮ ОБЖИГА МЕТОДОМ АКУЛЬШИНА**

**Мухамидалиев Рафик Русланович**

студент, Астраханский государственный технический университет, РФ, г. Астрахань

**Аннотация.** В настоящее время уровень автоматизации на существующих печах обжига не удовлетворяет полностью положению развития современной техники автоматизации. Следовательно, необходимо использовать современные способы, средства и технологии.

Целью является улучшение эффективности производства и повышение качества ферритовых изделий путём использования способов, алгоритмов и средств совершенствования технологического процесса.

Методы использования: изучение, моделирование.

В работе представлена разработка системы программного управления методом Акульшина, реализованная в программной среде Visual Studio.

**Ключевые слова:** Автоматизация, система программного управления, обжиг в печи, обжиг ферритов.

За последние годы на предприятиях керамической промышленности были созданы условия для ускорения технического прогресса и решения многих важных задач совершенствования техники и технологии. Технический прогресс осуществлялся путем оснащения предприятий современным оборудованием, новыми средствами механизации и автоматизации, внедрения передовой технологии, интенсификации производственных процессов, рациональной организации труда, выпуска продукции, отличающейся наибольшей эффективностью и высоким качеством.

Ферриты – соединения оксида железа  $Fe_2O_3$  с более основными оксидами других металлов, которые являются ферримагнетиками. Обширно используются в качестве магнитных материалов в радиотехнике, радиоэлектронике и вычислительной технике.

Производство ферритов является почти полностью керамическим, только очень малую часть ферритов получают выращиванием монокристаллов. Наиболее сложным в ходе производства ферритовых изделий является процесс их обжига. Именно в процессе обжига образуются главные свойства и физические характеристики ферритов, которые определяют качество выпускаемого товара. Обжиг ферритовых сердечников является важным процессом, так как он воздействует на недостатки феррита (пережог, трещины), а также на механические характеристики (твёрдость, надёжность). Следовательно, необходимо соблюдать тепловой режим, который является главным условием высококачественной тепловой обработки феррита. То есть следует сохранять установленные в печи параметры температуры и давления внутри печи, расхода электроэнергии.

Процесс обжига включает 3 стадии:

- нагревание;
- выдержка при определённой температуре;
- охлаждение изделий.

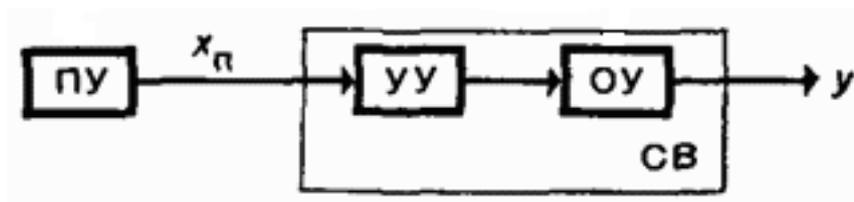
Параметры режима обжига:

- температура спекания;
- скорость нагрева и охлаждения;
- время выдержки при установленной температуре.

Несмотря на то, что имеется большое число алгоритмов управления процессом обжига в печи, оптимальные алгоритмы исследованы не полностью.

Самым распространённым алгоритмом является ПИД-регулятор. Нахождение параметров настройки для ПИД-регулятора иногда может являться непростой задачей. В этом случае большую значимость имеет информация о разных условиях работы системы, а также её свойствах. Большинство исследуемых систем не допускает наличие перерегулирования процесса переменной от установленной величины. Необходимое требование качества работы системы – постоянство. Процесс ни при каких обстоятельствах не должен меняться, а должен быть стабильным несмотря на внешние воздействия. Помимо этого, имеются конкретные требования к определённым системам, что устойчивость системы должна сформироваться на протяжении определённого промежутка времени. Применение ПИД-регулятора не всегда считается подходящим решением, в особенности учитывая сложность в его настройке. В связи с этим можно применять и другие способы управления технологическими процессами.

Предложенный вариант алгоритма - система программного управления, при котором система обеспечивает изменение регулируемого параметра по заранее заданному закону (во времени). В такой системе (рисунок 1) можно выделить две основные части: программное устройство ПУ, которое формирует сигнал  $x_n$ , и систему воспроизведения СВ, которая состоит из управляющего устройства (регулятора) УУ заданного в ПУ изменения выходной координаты  $y$  объекта управления  $y$ .



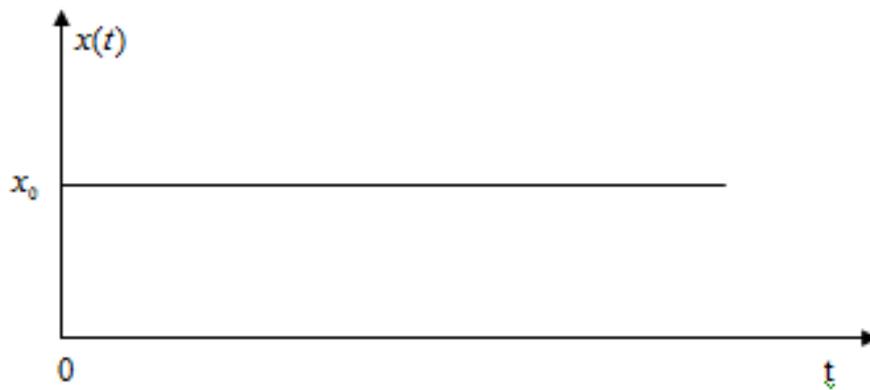
**Рисунок 1. Структурная схема программного управления**

В системах, содержащих запаздывание для расчета переходных процессов в замкнутых АСР целесообразно применять частотные методы, не требующие вычисления корней характеристического полинома (квазиполинома).

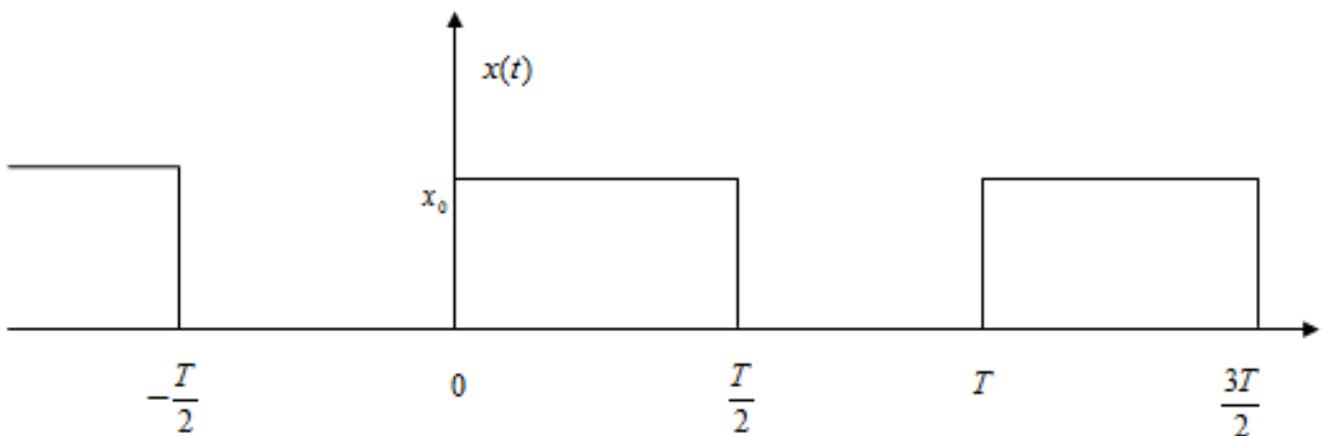
Одним из таких методов является метод Акульшина.

Суть метода Акульшина заключается в следующем. Вместо скачкообразного воздействия

амплитуды  $x_0$ , рисунок 2, на вход системы подается сигнал в виде прямоугольной волны с периодом  $T_0$ , рисунок 3.



**Рисунок 2. Скачкообразное воздействие**



**Рисунок 3. Последовательность прямоугольных импульсов**

Ниже представлено разложение прямоугольной волны в ряд Фурье. В результате получим ряд, содержащий нечетные гармоники:

$$x(t) = \sum_0^{\infty} x_k(t) = \frac{x_0}{2} + \frac{2x_0}{\pi} \left( \sin \omega_0 t + \frac{1}{3} \sin 3\omega_0 t + \frac{1}{5} \sin 5\omega_0 t + \dots \frac{1}{k} \sin k\omega_0 t \dots \right) \quad (1)$$

где

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T} \quad \text{— частота колебаний входных прямоугольных импульсов,}$$

$$\frac{x_0}{2} \quad \text{— постоянная составляющая.}$$

Так как система линейна, то для нее справедлив принцип суперпозиции – реакция на сумму воздействий равна сумме реакций на каждое воздействие в отдельности:

$$y(t) = y_0 + \sum_1^{\infty} y_k(t) \quad (2)$$

Каждая гармоника входного сигнала частоты  $\omega_k = k\omega_0$  и амплитуды  $A_k^{ex}$

$$x_k(t) = A_k^{ex} \sin \omega_k = \frac{2x_0}{\pi} \frac{1}{k} \sin \omega_k t \quad (3)$$

проходя через линейное звено усиливается по амплитуде в  $A(\omega_k)$  раз и получает фазовый сдвиг  $\varphi(\omega_k)$ . Для входного сигнала, определяемого формулой (1) можно записать:

$$y_1(t) = A_1^{ex} \sin(\omega_1 t + \varphi(\omega_1)) = \frac{2x_0}{\pi} A(\omega_0) \sin(\omega_0 t + \varphi(\omega_0))$$

$$y_3(t) = A_3^{ex} \sin(\omega_3 t + \varphi(\omega_3)) = \frac{2x_0}{3\pi} A(3\omega_0) \sin(3\omega_0 t + \varphi(3\omega_0)) \quad (4)$$

$$y_k(t) = A_k^{ex} \sin(\omega_k t + \varphi(\omega_k)) = \frac{2x_0}{k\pi} A(k\omega_0) \sin(k\omega_0 t + \varphi(k\omega_0))$$

Постоянная составляющая выходного сигнала определяется по формуле

$$y_0 = K \frac{x_0}{2} = \Phi(0) \frac{x_0}{2} = A(0) \frac{x_0}{2} = \operatorname{Re}(0) \frac{x_0}{2} \quad (5)$$

где  $K = \Phi(0) = A(0) = \operatorname{Re}(0)$  – коэффициент усиления, значение передаточной функции системы, амплитудно-частотной и вещественно-частотной характеристик, соответственно, при нулевом значении аргумента.

Подставляя в формулу (2) выражения (4) и (5) получим выражение для выходного сигнала

$$y(t) = y_0 + \sum_1^{\infty} y_k(t) = \frac{A(0)x_0}{2} + \frac{2x_0}{\pi} \sum_1^{\infty} \frac{A(k\omega_0)}{k} \sin(k\omega_0 t + \varphi(k\omega_0 t)) \quad (6)$$

Формула (6) является основной для расчета переходного процесса.

В некоторых случаях удобнее использовать другую форму записи уравнения (6). Для этого преобразуем следующим образом выражение под знаком суммы

$$A(k\omega_0) \sin(k\omega_0 t + \varphi(k\omega_0)) = A(k\omega_0) [\cos \varphi(k\omega_0) \sin k\omega_0 t + \sin \varphi(k\omega_0) \cos k\omega_0 t] =$$

$$A(k\omega_0) \cos \varphi(k\omega_0) \sin k\omega_0 t + A(k\omega_0) \sin \varphi(k\omega_0) \cos k\omega_0 t$$
(7)

Переходя теперь в (7) к вещественной и мнимой частотным характеристикам

$$\operatorname{Re}(k\omega_0) = A(k\omega_0) \cos \varphi(k\omega_0)$$

$$\operatorname{Im}(k\omega_0) = A(k\omega_0) \sin \varphi(k\omega_0),$$
(8)

получим

$$A(k\omega_0) \sin(k\omega_0 t + \varphi(k\omega_0)) = \operatorname{Re}(k\omega_0) \sin k\omega_0 t + \operatorname{Im}(k\omega_0) \cos k\omega_0 t$$
(9)

Подставляя теперь последнее выражение в формулу (6) получим другое выражение для переходной кривой:

$$y(t) = \frac{\operatorname{Re}(0)x_0}{2} + \frac{2x_0}{\pi} \sum_1^{\infty} \left( \frac{\operatorname{Re}(k\omega_0)}{k} \sin k\omega_0 t + \frac{\operatorname{Im}(k\omega_0)}{k} \cos k\omega_0 t \right)$$
(10)

При практических расчетах в формулах (6) и (10) ограничиваются конечным числом гармоник. В результате формулы принимают вид:

$$y(t) = \frac{A(0)x_0}{2} + \frac{2x_0}{\pi} \sum_1^N \frac{A(k\omega_0)}{k} \sin(k\omega_0 t + \varphi(k\omega_0 t))$$
(11)

и

$$y(t) = \frac{\operatorname{Re}(0)x_0}{2} + \frac{2x_0}{\pi} \sum_1^N \left( \frac{\operatorname{Re}(k\omega_0)}{k} \sin k\omega_0 t + \frac{\operatorname{Im}(k\omega_0)}{k} \cos k\omega_0 t \right),$$
(12)

соответственно.

Практика показала, что во многих случаях достаточно пятидесяти гармоник

$$N = 50$$
(13)

Для построения переходного процесса, как правило, достаточно 24 точек, поэтому при расчетах шаг по времени выбирается по формуле

$$\Delta t = \frac{T}{48}$$

(14)

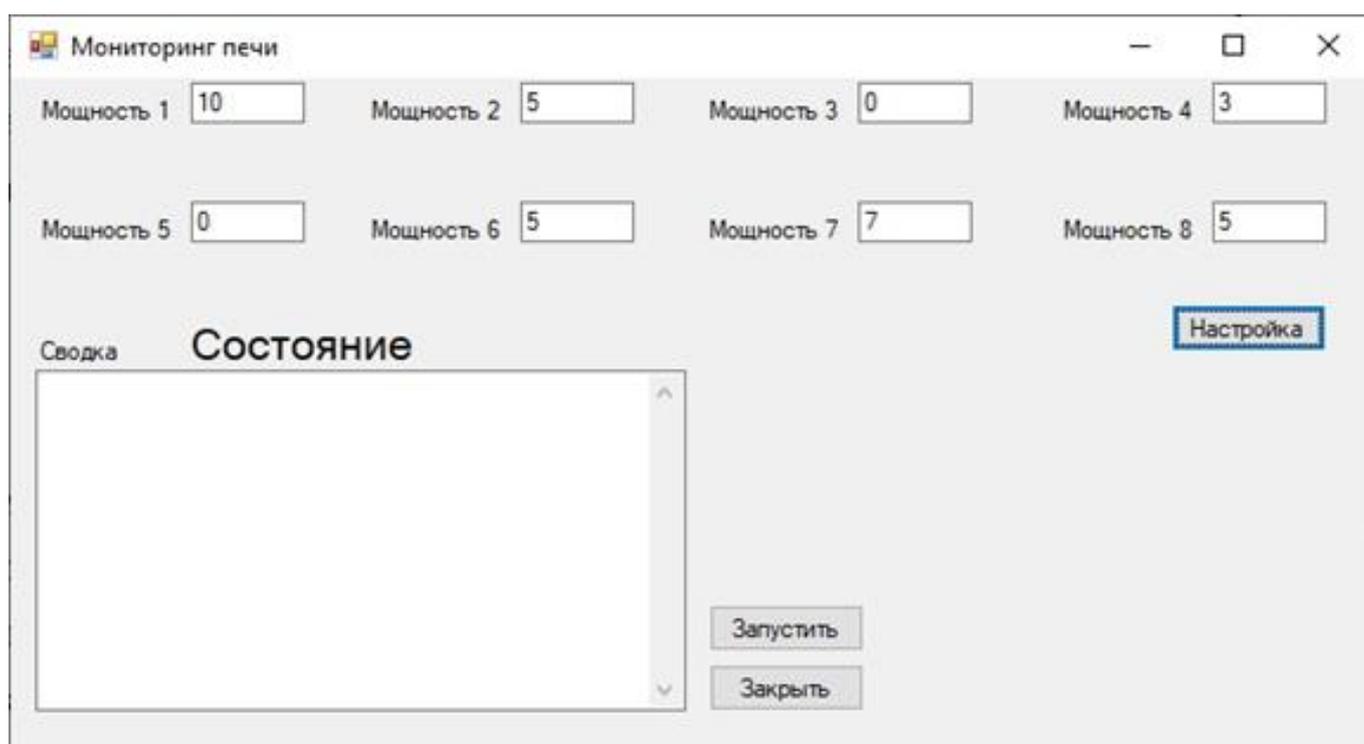
Количество точек, естественно, может быть и увеличено.

Предложенный алгоритм определения состояния системы реализован в интегрированной среде разработки программного обеспечения Visual Studio.

Сконструированная программа обеспечивает:

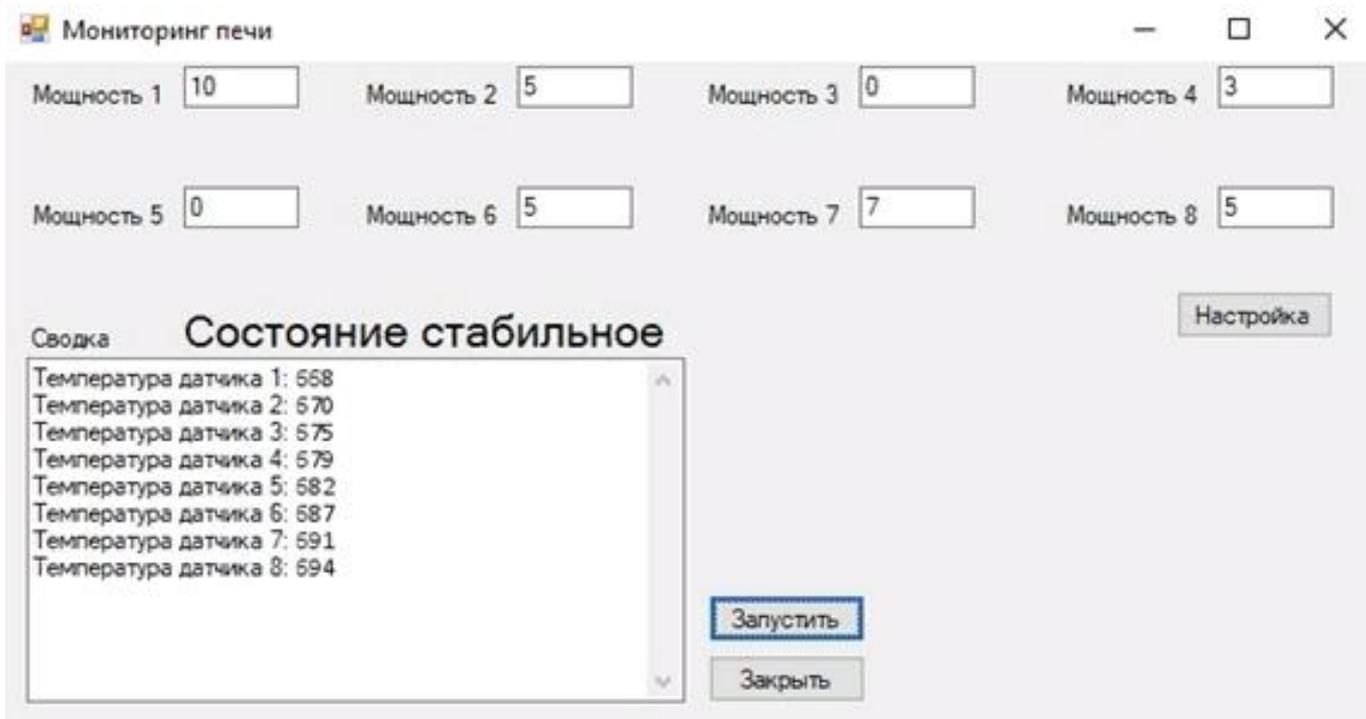
- ввод текущих значений датчиков;
- мониторинг показаний датчиков;
- предупреждение системы, если температура в печи достигла допустимого уровня;
- отключение системы, если температура в печи достигла предельного уровня.

Для запуска программы необходимо выбрать ярлык программы и дважды щелкнуть на нем левой кнопкой мыши. После запуска программы открывается окно, представленное на рисунке 4. В начале работы задаются необходимые параметры: начальное значение X мощности нагревательных элементов (Вт) в печи. После ввода параметров нажимаем кнопку «Настройка».



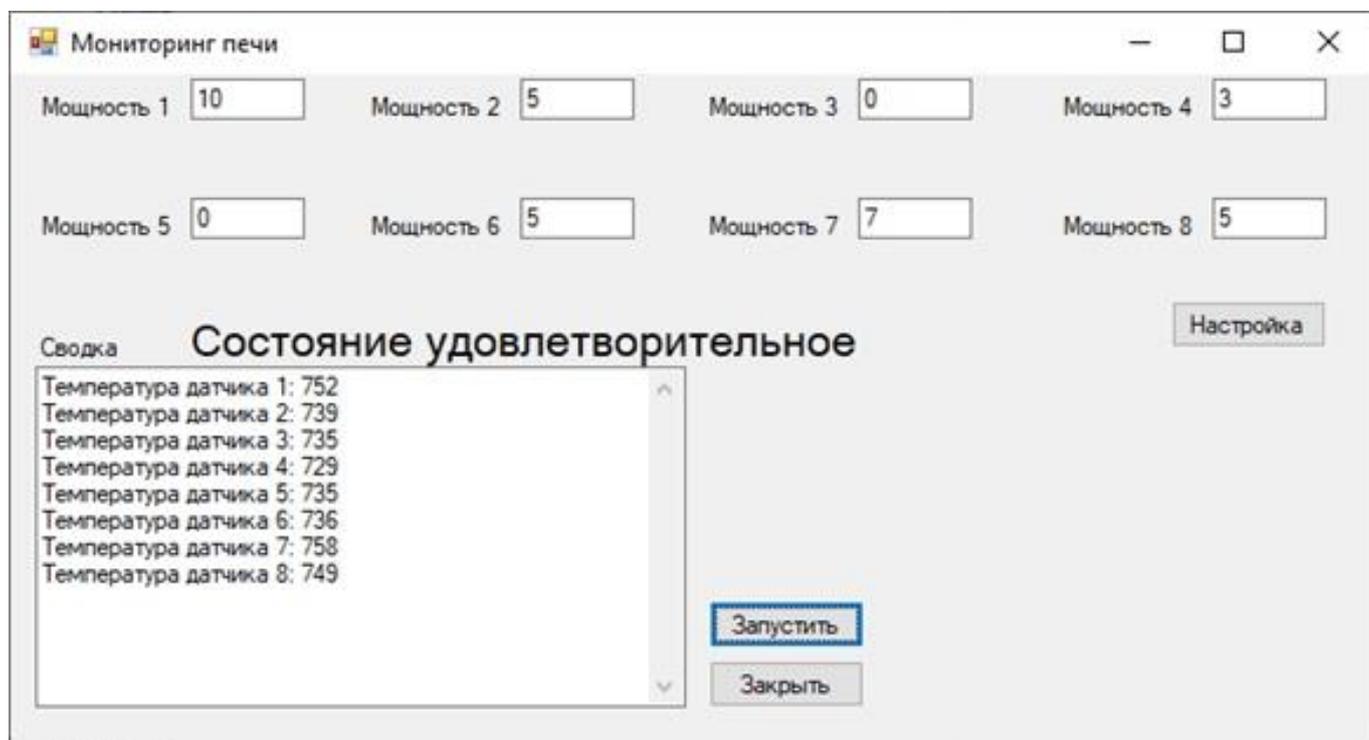
**Рисунок 4. Настройка системы**

После нажатия кнопки «Настройка» нажимаем на кнопку «Запустить». На рисунке 5 видно, что состояние системы стабильное. Во время работы системы происходит опрос датчиков. Значения датчиков постоянно меняются из-за изменения температуры нагрева в печи.



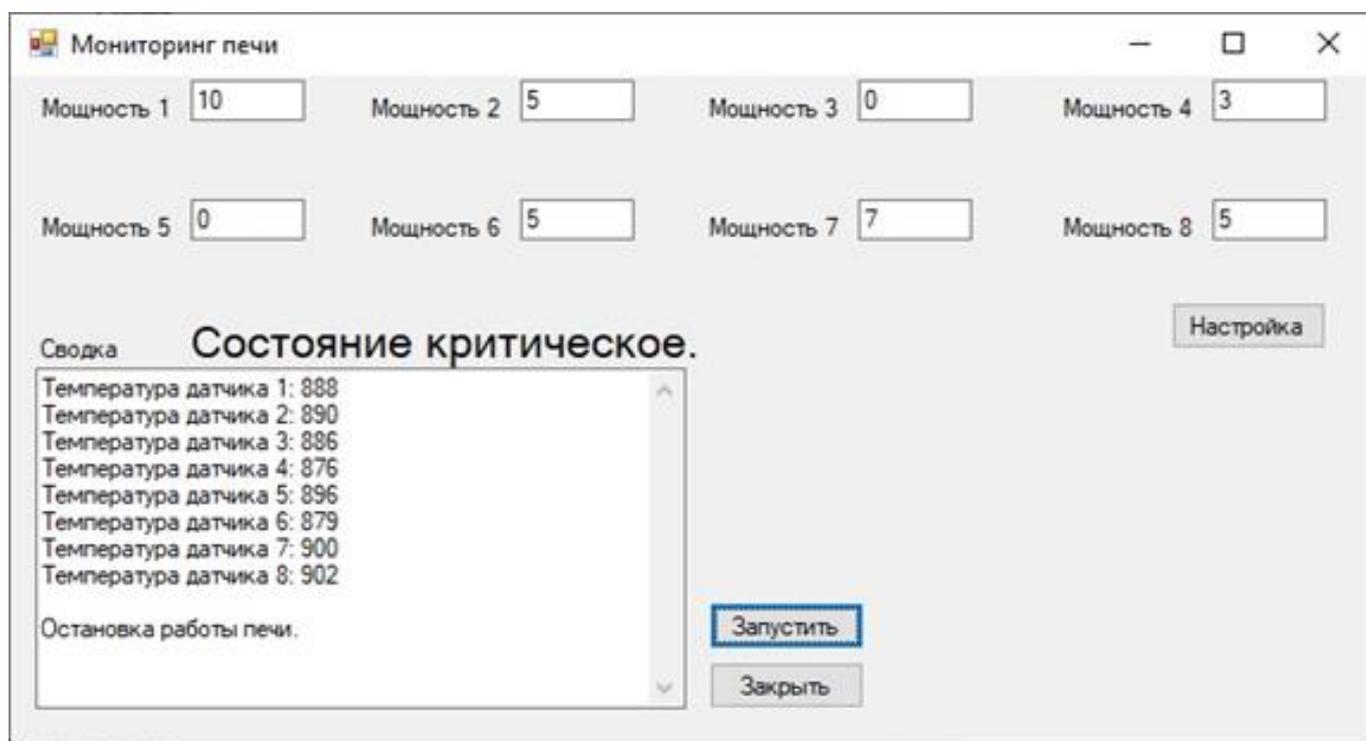
*Рисунок 5. Опрос датчиков*

В случае если мощность нагревательных элементов превысит 700 Вт, то система покажет допустимую температуру в печи («Состояние удовлетворительное») и продолжит совершать опрос датчиков, как показано на рисунке 6.



*Рисунок 6. Состояние удовлетворительное*

Далее, если мощность нагревательных стержней превысила 900 Вт, то состояние системы покажет предельную температуру («Состояние критическое»). Выполняется полная остановка работы печи, следовательно, завершается работа системы (рисунок 7).



*Рисунок 7. Остановка системы*

#### **Список литературы:**

1. Гринчук П.С. «Математическое моделирование тепловых режимов работы электропечей сопротивления» - научная статья: Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси (Минск), 2010. – 37 с.
2. Цой Сиа «Разработка программного модуля для построения переходных процессов в системах управления» - научная статья: Поволжский государственный университет сервиса (Тольятти), 2016. – 328 с.
3. Симчук О.В., Мысак В.Ф. «Моделирование и автоматизация печи для обжига керамических изделий» - статья канд. техн. наук: Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт» - Киев, 2010. – 29-31 с.