

ISSN 2306-1561

**Automation and Control in Technical Systems (ACTS)**

2014, No 2, pp. 132-139.

DOI: 10.12731/2306-1561-2014-2-13

---



## Two-channel control system of thermal drying

### Marsov Vadim Israilevich

Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of «Automation Industrial Process».

State Technical University – MADI, 125319, Russian Federation, Moscow, Leningradsky prospekt, 64.  
Tel.: +7 (499) 151-64-12. <http://www.madi.ru>

evmarsova@rambler.ru

### Kolbasin Alexander Markovich

Russian Federation, Ph.D., Associate Professor, Department of «Automation Industrial Process».

State Technical University – MADI, 125319, Russian Federation, Moscow, Leningradsky prospekt, 64.  
Tel.: +7 (499) 151-64-12. <http://www.madi.ru>

[alex123456789.a@yandex.ru](mailto:alex123456789.a@yandex.ru)

### Abdulkhanova Marina Yurievna

Russian Federation, Ph.D., Associate Professor, Department of «Automation Industrial Process».

State Technical University – MADI, 125319, Russian Federation, Moscow, Leningradsky prospekt, 64.  
Tel.: +7 (499) 151-64-12. <http://www.madi.ru>

muabdulxanova@yandex.ru

### Kurilin Andrey Valentinovich

Russian Federation, Postgraduate Student, Department of «Automated Control Systems».

State Technical University – MADI, 125319, Russian Federation, Moscow, Leningradsky prospekt, 64.  
Tel.: +7 (499) 151-64-12. <http://www.madi.ru>

madi-app@mail.ru

**Abstract.** The possibility of increasing the efficiency of thermal processes in rotary kilns by various technological and organizational solutions, the most important of which is the hierarchical principle of the thermal management system based on modern computing tools.

**Keywords:** conduction, automation systems, local control systems, efficiency of thermal processes.

---

ISSN 2306-1561

**Автоматизация и управление в технических системах (АУТС)**

2014. – №2. – С. 132-139.

DOI: 10.12731/2306-1561-2014-2-13

---



**УДК 681.57**

## **Двухканальная система управления тепловыми процессами сушки**

### **Марсов Вадим Израилевич**

Российская Федерация, доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов».

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», 125319, Российская Федерация, г. Москва, Ленинградский проспект, д.64, Тел.: +7 (499) 151-64-12, <http://www.madi.ru>

evmarsova@rambler.ru

### **Колбасин Александр Маркович**

Российская Федерация, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов».

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», 125319, Российская Федерация, г. Москва, Ленинградский проспект, д.64, Тел.: +7 (499) 151-64-12, <http://www.madi.ru>

[alex123456789.a@yandex.ru](mailto:alex123456789.a@yandex.ru)

### **Абдулханова Марина Юрьевна**

Российская Федерация, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов».

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», 125319, Российская Федерация, г. Москва, Ленинградский проспект, д.64, Тел.: +7 (499) 151-64-12, <http://www.madi.ru>

muabdulhanova@yandex.ru

### **Курилин Андрей Валентинович**

Российская Федерация, аспирант кафедры «Автоматизация производственных процессов».

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», 125319, Российская Федерация, г. Москва, Ленинградский проспект, д.64, Тел.: +7 (499) 151-64-12, <http://www.madi.ru>

madi-app@mail.ru

**Аннотация.** Рассматривается возможность повышения эффективности тепловых процессов во вращающихся печах за счет различных технологических и организационных решений, важнейшим из которых является иерархический принцип построения системы управления тепловыми режимами на базе современных вычислительных средств.

**Ключевые слова:** теплообмен, автоматизация систем, локальные системы управления, эффективность тепловых процессов.

## 1. Введение

При современной технологии производства бетонных смесей тепловые процессы: сушки песка и щебня и их нагрева, в зависимости от вида смеси до 160-180°C, энергоемки, что вызывает необходимость повышенной точности соблюдения самого теплового режима, на основе методов и средств автоматизации [1,2,3]. Новые экономические условия, ориентированные на минимизацию затрат при реализации технологических процессов, заставляют изменять традиционные подходы к методам их автоматизации.

Необходима разработка более совершенных способов автоматизированного управления тепловыми объектами при производстве бетонных смесей, обеспечивающих стабилизацию температурных режимов, снижение энергетических затрат и улучшение качества смеси.

## 2. Принципы управления систем автоматического регулирования

Применяемые на практике структуры автоматизации тепловых процессов достаточно традиционны. Они используют принцип обратной связи по одной или нескольким управляемым переменным (температура и влажность теплоносителя, разность температур и изменение влажности теплоносителя и т.п.) и представляют собой системы стабилизации отдельных параметров, характеризующих тепловой процесс в сушильном барабане. Поэтому прослеживается тенденция к постепенному усложнению системы автоматического регулирования за счет наращивания её структуры и функциональных связей и учету как можно большего количества переменных. Взаимосвязь переменных заставляет вводить несколько контуров управления со своими регуляторами. Автоматизация процессов тепловой обработки идет по пути создания многопараметрических, но одноуровневых систем, функционирующих по отклонению, не зависимо от количества дополнительных обратных связей. Однако добиться таким путем оптимального результата не удается.

Необходимо изменить сам подход, концепцию проектирования подобных систем, разделив функции управления на иерархической основе. В этом случае элементы иерархии на верхних уровнях воздействуют на технологический процесс не напрямую, а через управляемые устройства, находящиеся на нижестоящем уровне. Они же вырабатывают для устройств нижестоящего уровня задающие воздействия, найденные

методами статистической оптимизации. Задающие воздействия реализуются в автоматическом режиме локальными системами управления. Подобные структуры описываются моделями управления, которые характеризуются многоуровневостью и иерархичностью. Следует обратить особое внимание на периодичность изменения верхними уровнями иерархии, значений настроек для элементов нижестоящего уровня. Именно это свойство позволяет объединить в одной системе задачи автоматического регулирования и задачи статистической оптимизации, которые в принципе, решаются на различных уровнях иерархии. Локальные системы управления функционируют в режиме реального времени, т.е. непрерывного автоматического управления по заданному алгоритму (программе). Изменения настроек элементов нижестоящего уровня должны происходить с учетом изменений статистических характеристик технологического процесса (ТП) за определенный промежуток времени. Поэтому, в конце каждого условного цикла, в течение которого получен достаточный объем информации о ТП, по каналу задания вводятся корректирующие воздействия.

В реальном масштабе времени такой принцип управления может быть органично реализован только в многоуровневых иерархических системах, когда непрерывный ТП разбивается условно на дискретные временные интервалы, характеризующиеся заданной периодичностью прикладываемых корректирующих воздействий. Такой подход позволяет сформулировать требования для управляющего элемента многоуровневой иерархии в аспекте системных представлений. Его координирующие воздействия, используя информацию о воздействиях локальных подсистем нижнего уровня на технологический процесс, должны следовать с большей, чем у них периодичностью. Именно такой принцип иерархичности может быть осуществлен при синтезе системы управления тепловым режимом обработки компонентов бетонной смеси в барабанной сушилке.

В наклонном барабане поток материала перемещается в продольном направлении, за счет того, что каждая его частица поднимается лопастями в плоскости, наклоненной к вертикали, а падает вертикально и за одно падение перемещается вдоль барабана на некоторое расстояние. Скорость прохождения материала может регулироваться углом наклона или частотой вращения барабана.

На процесс сушки материала большое влияние оказывает степень заполнения поперечного сечения барабана. При заполнении барабана ниже номинального, может произойти перегрев обечайки и лопастей, их коробление и пережог. Заполнение барабана выше номинального значения затрудняет прохождение дымовых газов вдоль сушилки и вызывает перегрузку привода сушильного барабана. Поэтому отклонение степени заполнения барабана от номинального значения на 10-15% площади его поперечного сечения нежелательно. Кроме того, степень загрузки барабана влияет на температуру теплоносителя, которая с увеличением загрузки барабана снижается, а при уменьшении – повышается.

### 3. Статистический анализ случайных отклонений температуры

В качестве режимных параметров теплоносителя при управлении процессами сушки, как правило, используются: температура, температура и влажность, психрометрическая разность температур и т.д. Чаще всего выходным параметром теплового объекта в основном контуре регулирования, является температура теплоносителя. Это наиболее доступная для измерений величина, ее можно изменять, регулируя расход горючего, подаваемого в топку, либо количеством воздуха, разбавляющего продукты сгорания (в том и другом случаях достигается изменение расхода тепла), либо количеством материала, подвергаемого сушке.

На практике технологическая схема сушилки чаще всего имеет вид, приведенный на рисунке 1.

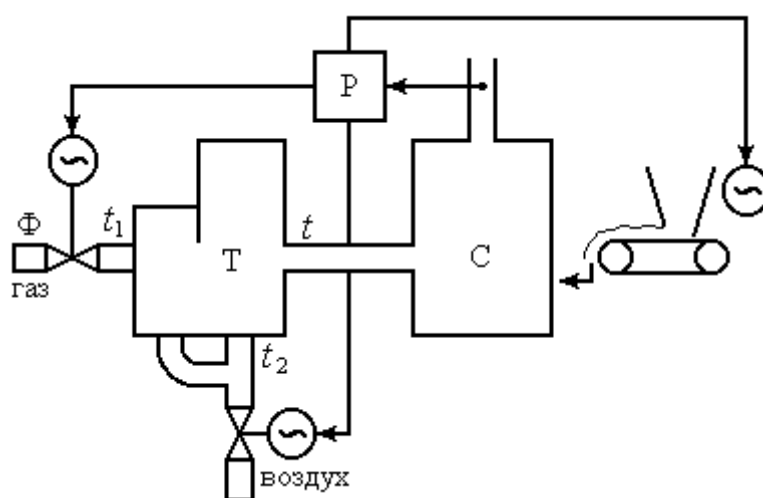


Рисунок 1 – Комплекс «топка - сушилка»

**Ф – форсунка, работающая на жидком или газообразном топливе; Т – топка для смеси продуктов сгорания с некоторым количеством воздуха; С – сушилка, Р-регулятор, ВТ- загрузочное устройство, весовой транспортер, ИМ-исполнительный механизм**

Поскольку датчик в системе регулирования целесообразно размещать ближе к точке приложения возмущений, то рисунок показывает, что хотя на практике, обычно управляют процессом сушки, изменяя приток топлива, с точки зрения регулирования, эффективнее изменять скорость подачи материала, поддерживая расход топлива постоянным с помощью вторичного контура регулирования. Основной принцип регулирования теплового режима сушильного барабана должен опираться, таким образом, на учет взаимосвязи обоих параметров: температуры и массы загружаемого в барабан материала, т.е. в структуре системы управления необходимо использовать два взаимосвязанных контура регулирования. Однако необходимо учитывать разные инерционности контуров регулирования температуры и изменения массы материала в барабане за счет изменения его загрузки входным потоком материала, поступающего для

термической обработки. Инерционность второго контура много больше первого, что позволяет предложить следующий алгоритм иерархического структурного взаимодействия между ними. Информация о статистических характеристиках температуры теплоносителя процесса сушки, таких как математическое ожидание, т.е. заданное, номинальное значение температуры, и дисперсия её разброса относительно номинала, могут быть использованы для коррекции производительности загрузочного устройства, изменение которой должно поддерживать температуру в сушильном барабане в соответствии с технологическим регламентом. В структуру управления на рисунке необходимо ввести корректирующий сигнал изменения температуры теплоносителя от датчика расхода загрузочного устройства.

Статистический анализ случайных отклонений температуры теплоносителя от номинала, сводится к расчету математического ожиданий и дисперсии их случайного распределения. Тогда задачу управления тепловым режимом сушильного барабана можно сформулировать как задачу обеспечения максимальной вероятности попадания температуры теплоносителя в область с верхней  $Q_B$  и нижней  $Q_H$  границами её изменения  $Q$ , заданными технологическими нормативами:

$$Q_H \leq Q \leq Q_B, \quad (1)$$

т.е. необходимо обеспечить попадание  $Q$  в область  $\Omega$  по принципу абсолютно гарантированного результата.

Таким образом, температура теплоносителя, гарантирующая минимальные энергетические потери процесса сушки, сводится к решению детерминированной задачи математического программирования:

$$\begin{aligned} & \text{opt} [ F(\bar{x}^0) / Q^H \leq Q \leq Q^B ] \\ & \text{или} \\ & \text{opt} [ F(\bar{x}^0) ] / Q \in \Omega_1 ] \end{aligned} \quad (2)$$

При нормальном законе распределения отклонений температуры в области  $\Omega$ , вероятность  $P$  попадания значений температуры в область  $\Omega$  является мультипликативной функцией вероятностей  $P_i$  попадания параметров  $Q_i$  в область  $\Omega$ , которая описывается с помощью интеграла Лапласа  $\Phi$ :

$$P(\bar{\delta}) = 2\Phi \left( \frac{Q_i^B - Q_i^H}{2\sqrt{D\{Q_i(\bar{\delta})\}}} \right) - 1$$

где  $\bar{\delta}$  -  $n$  - вектор отклонений температуры теплоносителя;  $D\{Q(\bar{\delta})\}$  - дисперсия распределения отклонений температуры.

Если закон распределения  $Q$  симметричен, то максимум  $P^0$  вероятности  $P^0$  будет обеспечен при  $D\{\bar{\delta}\} = 0$  и при условии:

$$M\{Q\} = \frac{Q_i^B + Q_i^H}{2}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (3)$$

означающего совпадению  $M\{Q_i(Y_i)\}$  с центром отрезка  $[Q_i^B \div Q_i^H]$ .

Если отсутствуют отклонения  $\delta$ , величина вероятности будет максимальной и равной  $P^0$ . Наличие случайных ошибок уменьшает вероятность попадания  $P^0$  на величину  $\Delta P$ .

Результаты статистической обработки значений отклонений температуры за выбранный интервал времени, позволяют определить смещение математического ожидания от значения (3) и запустить механизм коррекции этого отклонения за счет изменения расхода материала загрузочного устройства. Такой параметр, как дисперсия распределения температур теплоносителя, может быть использован в процессе выбора величины оптимальной загрузки сушильного барабана, значение которой должно обеспечить наиболее эффективный процесс сушки заполнителей бетонной смеси.

#### 4. Заключение

Таким образом повысить эффективность тепловых процессов во вращающихся печах можно различными технологическими и организационными решениями, важнейшим из которых является иерархический принцип построения системы управления тепловыми режимами на базе современных вычислительных средств. Модернизация упомянутых систем актуальна как для действующих, так и для проектируемых технологических объектов.

#### Список информационных источников

- [1] Евстафьев К.Ю. Разработка оптимальных структур подсистем управления материальными потоками в АСУ ТП. – Автореф. канд. диссер. – М.: МГСУ, 2001, 19 с.
- [2] Горюнов И.И. Моделирование и оптимизация организационно-технологических процессов и систем предприятий строительного комплекса. – Автореф. докт. диссер. – М.: МГСУ, 2007, 36 с.
- [3] Марсов, В.И., Автоматическое управление технологическими процессами на предприятиях строительной индустрии /В.И. Марсов, В.А. Славущкий. – Л.: Стройиздат, 1975, 393 с.
- [4] Марсов В.И., Колбасин А.М., Сарычев И.Ю., Курилин А.В. Модель теплопереноса в технологических объектах строительного производства // Автоматизация и управление в технических системах. – 2013. – № 3. С. 7-11.
- [5] Илюхин А.В., Колбасин А.М., Сарычев И.Ю., Курилин А.В. Оптимальное управление тепловым процессом сушильного барабана // Автоматизация и управление в технических системах. – 2013. – № 3. – С. 11-16.
- [6] Марсов В.И., Колбасин А.М., Абдулханова М.Ю., Динь А.Н. Модель управления связным дозированием компонентов строительных смесей // Автоматизация и управление в технических системах. – 2014. – № 1.2 (9). – С. 158-164. DOI: 10.12731/2306-1561-2014-1-29.

- [7] Остроух А.В. Обзор современного состояния развития автоматизации производства сухих строительных смесей / А.В. Остроух, Вэй Пью Аунг, Мью Лин Аунг, М.И. Исмоилов // В мире научных открытий. Серия «Проблемы науки и образования». – 2012. – №12. – С.12-19.
- [8] Вэй Пью Аунг, Остроух А.В. АСУТП производства сухих строительных смесей // Автоматизация и управление в технических системах. – 2013. – № 1. – С. 26-29.
- [9] Остроух А.В., Тянь Юань. Современные методы и подходы к построению систем управления производственно-технологической деятельностью промышленных предприятий // Автоматизация и управление в технических системах. – 2013. – № 1. – С. 29-31.
- [10] Остроух А.В. Мониторинг процесса производства сухих строительных смесей / А.В. Остроух, Вэй Пью Аунг, Юань Тянь // Наука и образование в XXI веке: Теоретические и прикладные вопросы науки и образования: сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч. – практ. конф. 30 сентября 2013 г.: Часть 1. – Тамбов: ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2013. – С. 138-140.
- [11] Вэй Пью Аунг, Остроух А.В. Автоматизированная система управления технологическим процессом производства сухих строительных смесей // Автоматизация и управление в технических системах. – 2013. – № 2. – С. 76-82.
- [12] Остроух А.В., Вэй Пью Аунг, Суркова Н.Е. Анализ современного состояния автоматизации процесса производства сухих строительных смесей // Механизация строительства. – 2014. – №7. – С. 59-63.
- [13] Остроух А.В. Информационные системы строительных предприятий / А.В. Остроух - Saarbrucken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. - 364 p. - ISBN 978-3-8443-5202-3.
- [14] Остроух А.В. Информационные технологии в научной и производственной деятельности / [ред. А.В. Остроух] - М: ООО "Техполиграфцентр", 2011. - 240 с. - ISBN 978-5-94385-056-1.
- [15] Остроух А.В. Автоматизация и моделирование работы предприятий по строительству промышленных объектов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.06: защищена 07.04.09: утв. 19.06.09. - М., 2009. - 357 с.
- [16] Остроух А.В. Автоматизация и моделирование работы предприятий по строительству промышленных объектов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.06. - М., 2009. - 43 с.
- [17] Остроух А.В. Исследование начального периода моделирования на точность среднеинтегральной оценки имитационных моделей / А.В. Остроух, А.А. Солнцев, Н.В. Солдатов, К.А. Новицкий, П.С. Якунин // Вестник МАДИ. – 2010. – Вып. 2(21). – С. 61-65.
- [18] Сальный А.Г., Кухаренко В.Н., Николаев А.Б., Остроух А.В. Общие принципы построения SCADA-систем // Автоматизация и управление в технических системах. – 2013. – № 2. – С. 8-12.
- [19] A.V. Ostroukh, I.A. Bashmakov, N.E. Surkova. Process Model of the Technology of Concrete Mixtures Transportation by Road // World Applied Sciences Journal (WASJ). 2014. Vol. 31, No 4, pp. 500-507. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2014.31.04.333.
- [20] Ostroukh A.V., Glebov A.O., Karpov S.V., Karpushkin S.V., Krasnyanskiy M.N. Optimization of design and performance characteristics of heating system of press equipment // American Journal of Applied Sciences. 2014. Vol. 11. No 6. pp. 939-946. DOI:10.3844/ajassp.2014.939.946.