

В.В. Лебедев, О.В. Пухова

# СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ СУШКИ ТОРФА В КАМЕРАХ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Проведен анализ особенностей технологического процесса сушки торфяного сырья. Установлено, что адаптивная система управления камерной сушки является ключом к созданию систем автоматического контроля и управления технологическими процессами на базе современной электронной аппаратуры, а также контур самонастройки адаптивной системы выполняет следующие основные операции: определяет текущие динамические параметры системы, вырабатывает сигнал самонастройки и перестраивает параметры в соответствии с выбранным критерием. Рассмотрены основные подходы построения адаптивных систем управления технологическим процессом сушки. Получены характеристики и требования к математической модели объекта, отображающие технологический процесс и его функционирование. Предложена структура адаптивной системы управления камерной сушкой торфяного сырья. Применение адаптивной системы управления с идентификатором в цепи обратной связи дает возможность исследовать объект вне контура управления, а результаты исследования использовать в оперативном идентификаторе. Адаптивная система позволяет осуществлять автоматический контроль технологических параметров сушки и поддерживать заданные (оптимальные) технологические режимы, улучшать качество готовой продукции и существенно снизить затраты сырья, материалов и энергии на сушку торфяного сырья.

Ключевые слова: система, управление, автоматика, процесс, сушка, торф, модель, сушильная камера, цикл, параметры.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-4-0-29-35

## Введение

Возможные направления использования сырья торфяного месторождения определяются полнотой охвата рационального использования торфяного фонда [1–3]. Повышение использования торфа позволит увеличить добычу торфяного сырья, технология добычи и переработки которого зависят от направления дальнейшего использования [4–7]. Актуальны вопросы улучшения качества продукции и экономии энергетических ресурсов. Создание систем автоматиче-

ского контроля и управления технологическими процессами на базе современной электронной аппаратуры позволяют это сделать.

Торф — это сложная многокомпонентная полидисперсная высокомолекулярная система. Сложность торфа объясняется составом, так как он состоит из органической, неорганической и водной составляющих. Многокомпонентность определяется составом каждой составляющей. Так органическая часть состоит из битумов, углеводов, гуминовых кис-

лот, целлюлозы и лигнина. Неорганическая часть представлена золой, которая состоит из макро- и микроэлементов. Водная составляющая представлена низко- и высокомолекулярными соединениями. В процессе удаления воды из торфяного сырья благодаря, протекающим процессам [8–10] тепломассопереноса и структурообразования происходит изменение его энергетических, физико-механических и технологических характеристик, определяющих потребительский спрос продукции на рынке.

Первостепенное место при добыче и переработке торфяного сырья занимают процессы, связанные с удалением значительного количества воды на различных стадиях производства [7, 10]. Процесс сушки торфяного сырья является одним из основных этапов, определяющим качество готовой продукции.

В процессе сушки торфяного сырья в сушильной камере периодического действия предусматривается:

- измерение влажности торфяного сырья;
- регулирование расхода поступающего на сушку торфяного сырья;
- измерение и регулирование температуры топочных газов,
- измерение температуры в сушильной камере.

Целью работы является разработка системы автоматического управления технологическим процессом сушки торфяного сырья в сушильных камерах периодического действия.

### **Теория вопроса**

Понятие сложная система управления возникает в связи с внедрением средств вычислительной техники в сферу управления. Сложные системы управления отличаются большим числом элементов, иерархичностью модели, наличием в процессе управления человека — оператора. Математические модели сложных

систем строятся на основе теории множеств, математической логики, теории вероятностей.

В отличие от традиционных методов моделирования обычных системах автоматизированного управления при моделировании системы «человек—машина» создаются специализированные моделирующие комплексы, решающие проблемы разделения функций между человеком и машиной, задачи декомпозиции и многокритериальности.

При реализации распределенных систем автоматического управления технологическим процессом сушки торфяного сырья в наиболее полном объеме необходимо обеспечить:

- автоматизацию транспортных устройств для загрузки, выгрузки и перемещения торфяного сырья;
- автоматизацию логико-программного управления вспомогательными устройствами (вентиляторами, электроприводами, и т.п.);
- автоматическое управление режимами сушки с учетом не стационарности динамических и статических свойств объекта управления по управляемым переменным.

Наиболее важной и сложной при разработке алгоритмического и программного обеспечения является разработка автоматического управления процессом сушки.

Такие отличительные особенности сушильных установок как многомерность, наличие сложного взаимовлияния каналов, не стационарность процессов и их априорная неопределенность математических описаний, а также наличие разнообразных контролируемых и неконтролируемых возмущающих воздействий позволяют отнести сушильные установки к сложным объектам управления, для которых стандартные структуры систем автоматического регулирования обеспечивают лишь удовлетворительное

качество управления и требуют постоянного участия оператора.

Перечисленные особенности технологического процесса сушки торфяного сырья, в частности его не стационарность, приводят к необходимости рассмотрения возможности применения адаптивных систем автоматического управления для автоматизации данного процесса.

В настоящее время, адаптивные системы находят все большее применение для управления объектами и технологическими процессами. Расширение области их применения обусловлено, прежде всего, экономическими причинами: более выгодно, поручить системе автоматического управления, сбор и обработку информации об объекте управления в процессе его функционирования, чем получать ее с помощью специально поставленных экспериментов.

### Методика

Для описания кинетики сушки торфяного сырья использована математическая модель, позволяющая учитывать изменение средней влажности торфа во времени. Кинетика сушки описывается уравнением влагопереноса

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = a' \frac{\partial^2 U}{\partial x^2};$$

$$\alpha'(U_p - U_n) = a' \left( \frac{\partial U}{\partial \tau} \right)_n;$$

$$\left( \frac{\partial U}{\partial \tau} \right)_c = 0;$$

$$U(x, 0) = U;$$

в зависимости

$$a' = f(t, \rho_{\text{усл}});$$

$$\alpha' = f(t_c, t_M, \nu);$$

$$U_p = f(t_c, t_M).$$

Решение этих уравнений относительно среднего влагосодержания при постоянных параметрах сушильного аген-

та выражается в виде суммы бесконечного ряда Фурье

$$\bar{U} = U_p + (U_n - U_p) \sum_{i=1}^{K \rightarrow \infty} B_i I \frac{\mu_i a'}{R^2} \tau, \quad (1)$$

где  $i$  — порядковый номер члена ряда;  $B_i, \mu_i$  — коэффициенты, зависящие от критерия Био.

Формула (1) имеет вид решения дифференциального уравнения  $K$ -го порядка с коэффициентами

$$G_K \frac{d^K \bar{U}}{d\tau^K} + G_{K-1} \frac{d^{K-1} \bar{U}}{d\tau^{K-1}} + \dots + G_1 \frac{d\bar{U}}{d\tau} + \bar{U} = U_p$$

с начальным условием

$$\bar{U}(0) = \bar{U}_n$$

и вещественными порциями, зависящими от состояния сушильной среды и влажности торфяного сырья.

### Обсуждение результатов

При построении адаптивных систем управления использованы два подхода: декомпозиция [11, 12] адаптивного управляющего устройства на оптимальный регулятор и устройство самонастройки, и второй — применение алгоритмов дуального управления, т.е. алгоритмов, осуществляющих как управление объектом, так и его изучением.

Адаптивная система первого типа состоит из двух контуров (рис. 1): самонастройки и основного. Контур самонастройки выполняет следующие основные операции: определяет текущие динамические параметры системы, вырабатывает сигнал самонастройки и перестраивает параметры в соответствии с выбранным критерием.

Контур самонастройки включает в себя анализатор процесса (АП); анализатор воздействий (АВ), вычислительное устройство (ВУ) и исполнительный элемент (ИЭ).

Анализатор процесса служит для полного или частичного определения динамических свойств объекта на основе те-

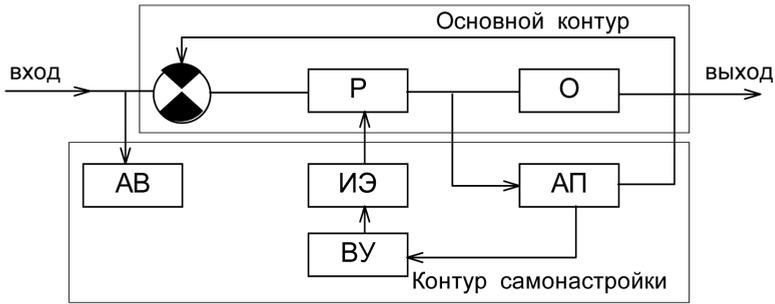


Рис. 1. Структурная схема самонастраивающейся системы: Р — регулятор; О — объект; АП — анализатор процесса; АВ — анализатор воздействий; ВУ — вычислительное устройство; ИЭ — исполнительный элемент;  $f(t)$  — координатное возмущающее воздействие

кущей информации. Когда информации о контролируемых параметрах не достаточно для оценки процесса, то в анализатор процесса включают генератор пробных сигналов. После этого, анализатор воздействий определяет причину отклонения динамических свойств процесса, от заданных (оптимальных) значений. В вычислительном устройстве хранится или вырабатывается условие самонастройки (критерий). Исполнительный элемент передает необходимое воздействие с выхода контура самонастройки на изменяемую часть регулятора. Рассмотренные элементы самонастраивающейся системы не строго обязательны, и их количество может изменяться в зависимости от степени совершенства системы самонастройки и критерия оптимизации.

Адаптивной системой второго типа, является адаптивная система управле-

ния и с идентификатором в цепи обратной связи (АСИ). В таких системах одновременно с управлением происходит уточнение модели объекта, что позволяет использовать ее для управления нестандартными объектами, параметры которых изменяются случайным образом.

Применение АСИ дает возможность исследовать объект вне контура управления, а результаты исследования использовать в оперативном идентификаторе. Блок-схема АСИ представлена на рис. 2.

При разработке адаптивных систем важнейшую роль играет получение математической модели объекта, отображающей существенные стороны процесса его функционирования. Математическое описание технологической системы, задача синтеза режима сушки, решаемая адаптивной системой управления, сформулирована в виде: на каждом интерва-

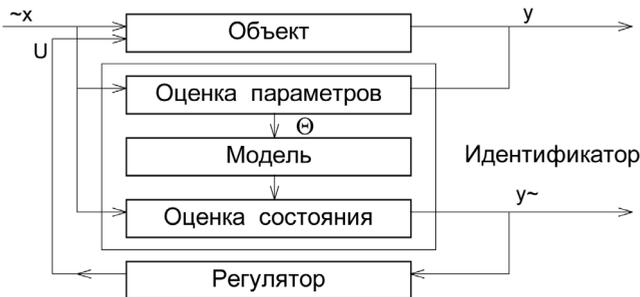


Рис. 2. Блок-схема САУ с идентификатором:  $\tilde{x}$  — вход в объект (входной сигнал);  $y$  — выход объекта;  $y\sim$  — оценка состояния;  $O$  — оценка параметров;  $U$  — сигнал обратной связи

ле времени определять такие переменные вектора

$$\bar{\theta}_{cp}^*(\tau) = \{t_c^*(\tau), t_M^*(\tau), v^*(\tau)\},$$

которые обеспечивают экстремум критерия качества

$$J(\bar{\theta}_{cp}^*(\tau), \bar{P}_{i=1...n}(x, \tau)) = \text{extr}.$$

При этом объект управления описывается уравнением

$$\begin{aligned} \bar{P}(x, \tau) = & \Phi_p \bar{\theta}_{cp}^*(\tau) + \Phi_H \bar{H}(x, \tau) + \\ & + \Phi_L \Phi_p \bar{L}(x', y', z', \tau) + \Phi \bar{F}(x, \tau), i = 1...n. \end{aligned}$$

а на его управляющие переменные и переменные состояния объекта наложены ограничения

$$\bar{\theta}_{cp}^*(\tau) \in \Omega_0(\tau);$$

$$\bar{P}(x, \tau) \in \Omega_p(\tau);$$

где

$\Omega_0$  — область определения вектора  $\bar{\theta}_{cp}^*(\tau)$ ,

$\Omega_p$  — область определения вектора

$$\bar{P}_{i=1...n}(x, \tau).$$

Математическая модель технологического процесса сушки торфа, используемая для целей управления соответствует требованиям:

- адекватна исследуемому объекту управления с точностью, необходимой для целей управления;
- информативна, для исследования систем управления;
- отражает связь реальных физических управляющих воздействий с параметрами модели.
- быстродействующая, то есть необходимо минимальное время для реализации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Панов В. В., Мисников О. С. Современные тенденции развития торфяной отрасли России // Труды Инсторфа. — 2015. — № 11(64). — С. 3–12.
2. Мисников О. С., Тимофеев А. Е., Михайлов А. А. Анализ технологий разработки торфяных месторождений в странах дальнего и ближнего зарубежья // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2011. — № 9. — С. 84–92.
3. Misnikov O. S., Dmitriev O. V., Chertkova E. Yu. Use of peat ingredients for production of fire-extinguishing powders // Eurasian Mining. Gornyi Zhurnal. — № 2 (24). — 2015. — Pp. 30–34.

## Заключение

На базе современной электронной аппаратуры разработаны адаптивные системы управления нестационарными промышленными объектами, такими как АСУТП сушки торфяного сырья.

Оптимизация процесса требует непрерывной идентификации объекта управления. Задачу идентификации система решает метода адаптивной модели, в качестве которой используется модель сушки торфяного сырья.

Схема адаптации аналитической модели к реальному процессу позволяет использовать модель сушки для исследования динамики внутренних процессов торфяного сырья.

Входами модели являются параметры сушильного агента в камере и текущая средняя влажность торфа, контролируемая с помощью весового устройства.

Таким образом, с использованием современной микропроцессорной электронной аппаратуры управления и контроля за технологическими параметрами, предложена адаптивная система управления сушильной камерой периодического действия для сушки торфяных строительных блоков. Адаптивная система позволит осуществлять автоматический контроль технологических параметров и поддержание заданных (оптимальных) технологических режимов, улучшить качество готовой продукции и существенно снизить затрат сырья, материалов и энергии на производство единицы продукции (торфяного строительного блока).

4. *Misnikov O. S., Dmitriev O. V., Popov V. I., Chertkova E. Yu.* The Use of Peat Based Water Repellants to Modify Fire Extinguishing Powders // *Polymer Science. Series D.* — Vol. 9. — № 1. — 2016. — Pp. 133–139.

5. *Misnikov O.* Scientific basis of a new method for hydrophobic modification of mineral binders using peat products // *Mires and Peat.* — 2016. — Vol. 18. — Article 22. — Pp. 1–15.

6. *Мисников О. С., Тимофеев А. Е.* О рациональном использовании энергетических и минеральных ресурсов торфяных месторождений // *Горный журнал.* — 2008. — № 11. — С. 59–63.

7. *Ермияш Д. М., Пухова О. В.,* Оценка технологических показателей добычи торфяного сырья при разработке торфяного месторождения // *Горный информационно-аналитический бюллетень.* — 2015. — № 5. — С. 51–55.

8. *Gamayunov S. N., Misnikov O. S.* Shrinkage phenomena in drying of natural organomineral dispersions // *Inzhenerno-Fizicheski Zhurnal.* — 1998. — Vol. 71. — № 2. — Pp. 233–234.

9. *Afanasiev A. E., Gamayunov S. N., Misnikov O. S.* Structurization processes during drying of sapropels with varying ash content // *Colloid Journal of the Russian Academy of Sciences: Kolloidnyi Zhurnal,* — 1999. — Vol. 61. — № 3. — Pp. 274–279.

10. *Misnikov O. S., Afanasiev A. E.* Estimation of structural characteristics during drying of molded organic and organomineral biogenic materials // *Theoretical Foundations of Chemical Engineering,* — 2003. — Vol. 37. — № 6. — Pp. 582–589.

11. *Аксенов Г. С., Фомин В. Н.* Синтез адаптивных регуляторов на основе метода функций Ляпунова // *Автоматика и телемеханика* — 1982. — № 6. — С. 126–137.

12. *Григорьев В. А., Лебедев В. В., Хабаров А. Р.* Синтез параметрических систем управления нестационарными динамическими объектами / Сборник статей 14-той Международной научно-технической конференции «Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике». — Пенза, 2014. — С. 78–80. **ПАБ**

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Лебедев Владимир Владимирович*<sup>1</sup> — кандидат технических наук, доцент, профессор, e-mail: lebedev\_vl.69@mail.ru,

*Пухова Ольга Владимировна*<sup>1</sup> — кандидат технических наук, доцент, e-mail: ovrpuhova@mail.ru,

<sup>1</sup> Тверской государственный технический университет.

---

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 4, pp. 29–35.

**V.V. Lebedev, O.V. Pukhova**

## **AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR PEAT DRYING PROCESS IN DISCONTINUOUS OPERATION OVENS**

The details of the peat drying process are reviewed. For the process of peat drying in discontinuous operation ovens, the control parameters are determined, including peat moisture, peat feed, furnace gas temperature and drying oven temperature. It is found that a self-adapting automated control system of a drying oven is a source of creation of automated adjustment and control systems for technological processes based on the modern electronic equipment. The self-regulation loop of the adaptive system has a number of main functions: it determines current dynamic parameters, feeds a self-regulation signal and adjusts parameters in accordance with a chosen criterion. The basic approaches to the adaptive control systems for the process of drying are discussed. The developed characteristics and requirements of mathematical model of a drying oven describe the process and the oven functioning. The structure of the adaptive control over peat drying oven is proposed. The application of the adaptive control system with an identifier in the feedback circuit allows examining the object beyond the control loop and using the examination results in the operating identifier. The adaptive system enables automated control of the drying process variables, maintenance of

the preset (optimal) process modes, improvement of quality of the final product as well as essential reduction in the consumption of supplies and energy for peat drying.

Key words: control system, automation, process, drying, peat, model, drying oven, cycle, parameters.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-4-0-29-35

## AUTHORS

Lebedev V.V.<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences,  
Assistant Professor, Professor,

e-mail: lebedev\_vl.69@mail.ru,

Pukhova O.V.<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences,

Assistant Professor, e-mail: owpuhova@mail.ru,

<sup>1</sup> Tver State Technical University,

170026, Tver, Russia.

## REFERENCES

1. Panov V.V., Misnikov O.S. *Trudy Instorfa*. 2015, no 11(64), pp. 3–12.
2. Misnikov O.S., Timofeev A.E., Mikhaylov A.A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2011, no 9, pp. 84–92.
3. Misnikov O.S., Dmitriev O.V., Chertkova E.Yu. Use of peat ingredients for production of fire-extinguishing powders. *Eurasian Mining. Gornyi Zhurnal*, no 2 (24). 2015. Pp. 30–34.
4. Misnikov O.S., Dmitriev O.V., Popov V.I., Chertkova E.Yu. The Use of Peat Based Water Repellants to Modify Fire Extinguishing Powders. *Polymer Science. Series D. Vol. 9, no 1*. 2016. Pp. 133–139.
5. Misnikov O. Scientific basis of a new method for hydrophobic modification of mineral binders using peat products. *Mires and Peat*. 2016. Vol. 18. Article 22. Pp. 1–15.
6. Misnikov O.S., Timofeev A.E. *Gornyy zhurnal*. 2008, no 11, pp. 59–63.
7. Ermiyash D.M., Pukhova O.V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no 5, pp. 51–55.
8. Gamayunov S.N., Misnikov O.S. Shrinkage phenomena in drying of natural organomineral dispersions. *Inzhenerno-Fizicheskii Zhurnal*. 1998. Vol. 71, no 2. Pp. 233–234.
9. Afanasiev A.E., Gamayunov S.N., Misnikov O.S. Structurization processes during drying of saponels with varying ash content. *Colloid Journal of the Russian Academy of Sciences: Kolloidnyi Zhurnal*, 1999. Vol. 61, no 3. Pp. 274–279.
10. Misnikov O.S., Afanasiev A.E. Estimation of structural characteristics during drying of molded organic and organomineral biogenic materials. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 2003. Vol. 37, no 6. Pp. 582–589.
11. Aksenov G.S., Fomin V.N. *Avtomatika i telemekhanika*. 1982, no 6, pp. 126–137.
12. Grigor'ev V.A., Lebedev V.V., Khabarov A.R. *Sbornik statey 14-toy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Problemy informatiki v obrazovanii, upravlenii, ekonomike i tekhnike»* (Collection of articles of the 14th international scientific and technical conference «Problems of Informatiks in education, management, Economics and technology»), Penza, 2014, pp. 78–80.

## FIGURES

Fig. 1. Structural scheme of self-tuning systems: P – controller; O – object; AP – process Analyzer; AW – arser influences; WOO – computing device; IE – Executive element;  $f(t)$  – is the coordinate perturbation effects by.

Fig. 2. Flowchart of ACS ID:  $\sim x$  – input in an object (input signal);  $y$  – is the output of the facility;  $y\sim$  – score status; O – rating parameters; U – feedback.

