

# НОВЫЙ УНИВЕРСИТЕТ 11(33) 2014

Научный журнал

Издается с апреля 2011 года  
альманах

## СЕРИЯ «Технические науки»

Учредитель:

Главный редактор **А. В. Бурков**

ООО «Коллоквиум»

Полное или частичное воспроизведение материалов, содержащихся в настоящем издании, допускается только с письменного разрешения редакции.

**Адрес редакции:**

424002, Россия,  
Республика Марий Эл,  
г. Йошкар-Ола,  
ул. Первомайская, 136 «А».  
тел. 8 (987) 70-988-34.  
e-mail: [ujourn@gmail.com](mailto:ujourn@gmail.com).  
<http://www.universityjournal.ru>.

Редактор: Е. А. Мурзина  
Дизайн обложки: Студия PROекТ  
Перевод на английский язык  
Е. А. Мурзина

Формат 60x84 1/8. Бумага офсетная.  
Распространяется бесплатно.  
Тираж 220 экз.  
Дата выхода: 30.12.2014.

ООО «Коллоквиум»  
424002, Россия,  
Республика Марий Эл,  
г. Йошкар-Ола,  
ул. Первомайская, 136 «А».

Отпечатано с готового оригинал-макета в  
ООО «Типография «Вертикаль»  
424036, Россия, Республика Марий Эл,  
г. Йошкар-Ола, ул. Мира, 21.

*Редакционная коллегия:*

- А. В. Бурков**, д-р. экон. наук, доцент (*главный редактор*).  
**Е. А. Мурзина**, канд. экон. наук, доцент (*технический редактор*).  
**К.З. Вачева** д-р архитектуры, профессор (Болгария).  
**И. В. Древаль**, д-р архитектуры, профессор (Украина).  
**А. В. Затонский**, д-р техн. наук, профессор (Россия).  
**Н. П. Крадин**, д-р архитектуры, профессор, заслуженный архитектор России, член-корреспондент Российской академии архитектуры и строительных наук (Россия).  
**Е. И. Ремизова**, д-р архитектуры, профессор (Украина).  
**Л. В. Лукниенко**, д-р техн. наук, доцент (Россия).  
**Н. М. Митюков**, д-р техн. наук, доцент (Россия).  
**Н. М. Насыбуллина**, д-р фармацев. наук, профессор (Россия).  
**Л. И. Фалюшина**, д-р педаг. наук, доцент (Россия).  
**В. В. Носов**, д-р. экон. наук, профессор (Россия).  
**Г. Велковска**, д-р. экон. наук, доцент (Болгария).  
**О. Н. Кондратьева**, канд. фил. наук, доцент (Россия).  
**Т. А. Магсумов**, канд. истор. наук, профессор РАЕ (Россия).  
**О. В. Белоус**, канд. психол. наук, доцент (Россия).  
**Т. С. Воропаева**, канд. психол. наук, доцент (Украина).  
**В. В. Вышкварцев**, канд.юрид. наук, доцент (Россия).  
**К. В. Дядюн**, канд.юрид. наук, доцент (Россия).  
**И. Д. Котляров**, канд. экон. наук, доцент (Россия).  
**Н. Е. Назарова**, канд. техн. наук, доцент (Россия).  
**К. И. Курпаяниди**, канд. экон. наук, доцент (Узбекистан).  
**Г. А. Мамедова**, канд. химич. наук, старший научный сотрудник (Азербайджан).  
**Р.И. Олексенко**, канд. экон. наук, доцент (Украина).  
**Т. В. Ялялиева**, канд. экон. наук, доцент (Россия).

УДК 664.7

Т.М. Герасименко, А.П. Ладанюк, О.В. Савчук

## АВТОМАТИЗАЦИЯ СОЛОДОСУШИЛКИ В КЛАССЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ СИСТЕМ

*В данной работе рассматривается вопрос повышения энергосбережения и качества процесса сушки солода как нестационарного объекта. Для этого была разработана математическая модель для шахтной солодосушилки и предложены методы решения поставленной задачи.*

**Ключевые слова:** шахтная солодосушилка, зерносушилка, система автоматического управления.

Автоматизация процесса сушки зерна является актуальной задачей, несмотря на перерасход топлива и потерю качества сырья. Солодосушилки как объект управления являются существенно нестационарными, при автоматизации которых должны использоваться методы современной теории управления [1], в частности:

- создание робастных систем;
- создание адаптивных систем;
- использование интеллектуальных методов и др.

Эти методы позволяют не только обеспечить необходимое качество процессов управления, но и поддерживать энергосберегающие режимы.

Сушилка относится к нестационарным объектам, свойства которых зависят как от режима функционирования, так и от времени. Это приводит к необходимости разработки специальных систем управления, например разработка систем на основе нечеткой логики [2].

Степень нестационарности определяется, как правило, на основании математической модели и определении функции чувствительности. Например, передаточной функции, зависящей от параметра  $K_i$ , функция чувствительности будет иметь вид:

$$S_{K_i}^W(s) = \left( \frac{\partial W(s, K_i)}{\partial K_i} \right)_{K_i=K_{i0}} \left( \frac{\partial W(s, K_i)}{\partial K_i} \right)_{K_i=K_{i0}}$$

где  $K_{i0}$  – рассчитанное (начальное) значение параметра  $K_i$ .

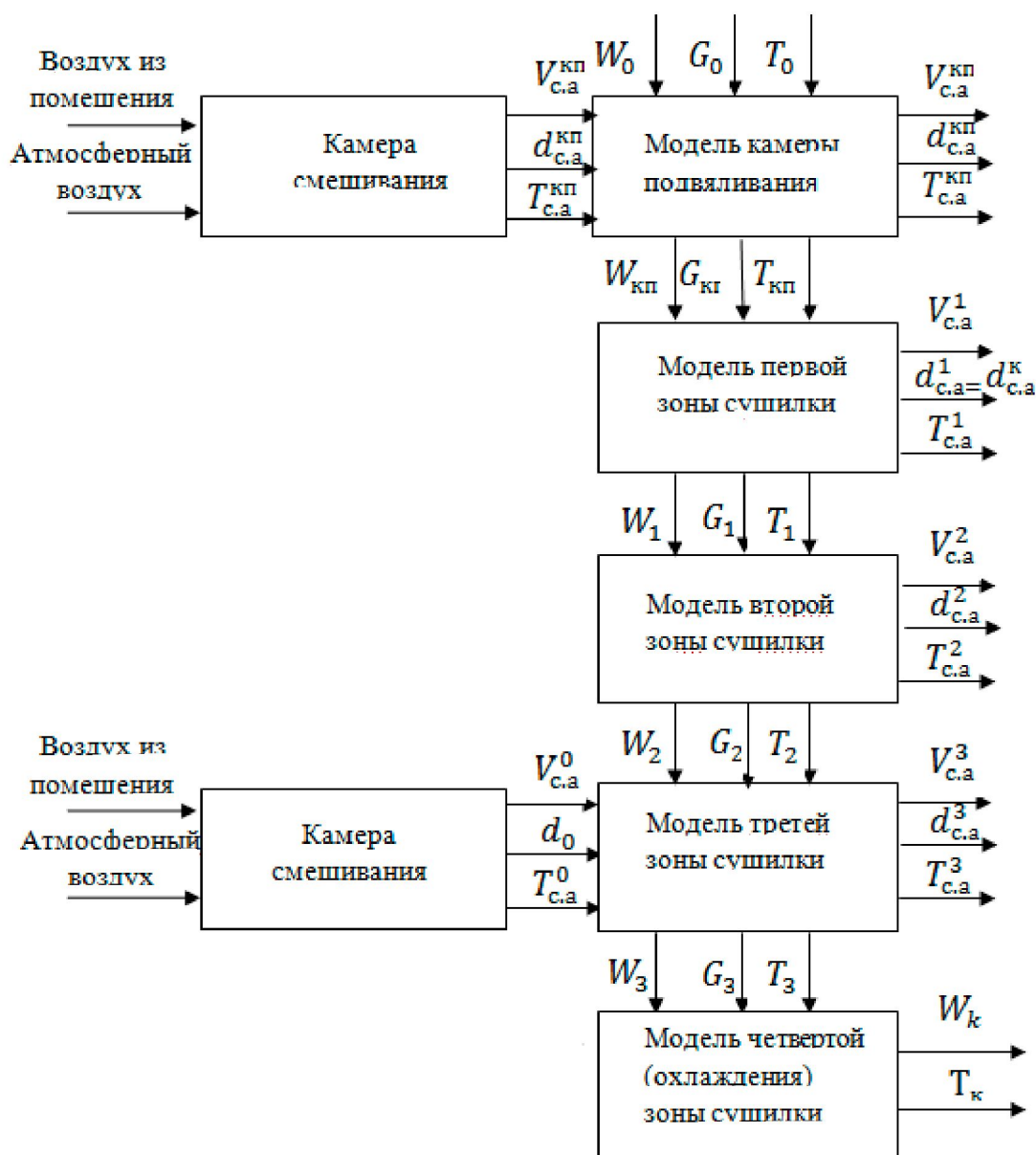
Системы автоматического управления (САУ) позволяют решить ряд проблем, описанных выше, и улучшить эффективность работы процесса сушки при соблюдении регламента технологического процесса. При проектировании САУ одним из наиболее важных требований является обеспечение устойчивости замкнутых САУ и необходимых запасов устойчивости. Выполнение необходимых требований по устойчивости систем автоматического управления в некоторых случаях не гарантируют их эффективное функционирование в процессе долгосрочной эксплуатации. В первую очередь это касается объектов управления, параметры которых имеют нестационарный характер, что вызвано меняющимися условиями тепло- и массообмена, протекания химических реакций и т.д., ведущими к изменению коэффициентов усиления, постоянных времени в математических моделях объектов и коэффициентов передачи отдельных компонентов САК, что может существенно влиять на величину обобщенного коэффициента усиления САУ. Такие изменения параметров могут привести к уменьшению запаса устойчивости

© Герасименко Т.М., Ладанюк А.П., Савчук О.В., 2014.

DOI: 10.15350/2221-9552.2014.11

системы управления, а иногда и к ее потере. Изменения параметров объектов приводит к нестационарности систем, описываемых, например, в форме дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами.

Модель шахтной солодосушилки, представляется в виде последовательно соединенных зон (рис. 1):



$V$  – объемный расход сушильного агента;  $G$  – массовый расход солода;  $T$  – температура солода;  $d$  – влагосодержание;  $W$  – влажность солода; индексы "0,1,2,3,к" – соответственно: начальные значения параметров, значения параметров в первой, второй и третьей зонах сушки, конечное значение; "с.а." – сушильный агент, "к.н" – камера предварительного подсушивания.

Рис. 1. Структурная схема солодосушилки шахтного типа (ЛСХА)

Модели тепло- и массообменных процессов, протекающих в зонах сушки и охлаждения, описывают динамику изменения параметров солода и сушильного агента при их движении в шахтной солодосушилке.

В технической литературе приведен ряд математических моделей, которые решают отдельные задачи технологического или энергетического процесса. При разработке систем автоматизации математические модели должны учитывать: статику и динамику процесса, нестационарность, кинетические зависимости. Для задач автоматизации известна работа [3], в которой разработана система дифференциальных уравнений, отображающая процессы в пневмогазовой сушильной установке относительно температуры.

Для описания динамики изменения параметров материала и сушильного агента в шахтной солодосушилке, учитывая особенности ее конструкции, предложено представление ее математической модели в виде совокупности последовательно соединенных зон и камеры предварительного подсушивания, каждую из которых можно рассматривать как объект с сосредоточенными параметрами. Входными параметрами солода для каждой следующей зоны (граничными условиями) являются параметры солода на выходе предыдущей зоны. Входные параметры солода для сушильной камеры совпадают с граничными условиями для первой зоны, а параметры солода на выходе последней зоны являются конечными для сушильной камеры.

Разработанная математическая модель для первой зоны имеет вид:

$$\begin{aligned} \frac{dw_1}{d\tau} &= -\frac{G_m - G_n \cdot d_2}{g_{m1}} \cdot w_1 + \frac{G_m}{g_m} \cdot w_{ex} - N_1; \\ \frac{dt_{m1}}{d\tau} &= -\frac{1}{(c_m + c_n w_1) g_{m1}} (G_m \cdot c_m + 2G_m \cdot c_n \cdot w_1 + \alpha_{m,n} \cdot F_{m,n} + G_m \cdot c_n \cdot w_{ex} - N_1 \cdot c_n \cdot g_{m1} \\ &\quad - c_m G_n \cdot d) \cdot t_{m1} + (c_m + c_n \cdot w_{ex}) \cdot t_m^{ex} + \alpha_{m,n} \cdot F_{m,n} \cdot t_{n1} - N_1 \cdot r \cdot g_{m1}; \\ \frac{dd_1}{d\tau} &= -\frac{G_n(1-d)}{g_n} d_1 + \frac{G_n}{g_n} \cdot d_2 + \frac{N_1 \cdot g_{m1}}{g_n}; \\ \frac{dI_1}{d\tau} &= -\frac{G_n(1-d_2)}{g_{n1}} I_1 + \frac{G_n}{g_{n1}} I_2 - \frac{\alpha_{m,n} \cdot F_{m,n} (t_n - t_m)}{g_{n1}} + \frac{N_1 \cdot g_{m1}}{G_n(1-d_2)g_{n1}}; \end{aligned}$$

где:  $G_m$  – расход материала,  $N_i$  – скорость сушки,  $g_m$  – масса материала,  $c_m$  – теплоемкость материала,  $c_n$  – теплоемкость водяного пара,  $\alpha_{m,n}$  – коэффициент теплообмена между материалом и сушильным агентом,  $F_{m,n}$  – площадь теплообмена,  $t_m$  – температура материала,  $t_n$  – температура сушильного агента,  $r$  – теплоемкость парообразования,  $I_i$  – энтальпия сушильного агента,  $g_n$  – масса сушильного агента,  $d$  – влагосодержание сушильного агента,  $G_n$  – расход сушильного агента,  $W$  – влажность материала, индекс << vx, 1 2 >> – входные (начальные) значения, соответственно в первой и второй зоне.

Детализация математической модели, то есть количество переменных, описывающих объект, зависит от поставленной задачи, например, для поддержания температурного режима используют дифференциальные уравнения, которые описывают только температуры на выходе из каждой зоны. При комплексном исследовании солодосушки эти уравнения дополняются зависимостями для влажности солода и изменений параметров сушильного агента, а именно: температуры и влагосодержания. Таким образом, рабочая математическая модель динамики солодосушки для задач анализа САУ состоит из 16-18 уравнений.

Функционирование сушилки как динамической системы можно рассматривать как реакцию на внешние возмущения и управляющие воздействия. При этом дополнительно необходимо учитывать особенности ее внутренней структуры и возможное многообразие технологических приемов организации процесса сушки.

Необходимо проанализировать зависимости основных характеристик солодосушки от изменяемых параметров математической модели. Для условий сушки пивоваренного солода в технической литературе отсутствуют зависимости, описывающие изменения параметров математической модели. В первом приближении можно пользоваться зависимостями для шахтных

сушилок зерна, а также результатами работ [4, 5]. Исходя из выше изложенного, оценка нестационарности следует из характеристик самого объекта и из анализа переходных процессов.

В процессе сушки солода происходят такие же тепло- и массообменные процессы, как и в зерне. Проанализируем работу [6], посвященную повышению эффективности процесса сушки. Изменение коэффициентов, описывающих тепло- и массообменные процессы, протекающие в камерах сушилки отражают ее нелинейные свойства.

В работе было предложено алгоритм идентификации модельных коэффициентов для реализации стационарного процесса сушки зерен ржи. Значение модельных коэффициентов были получены для широких пределов изменения начальных характеристик зернового вороха и параметров, которые задаются режимами сушки, достаточно полно учитывают условия эксплуатации сушилок. Из данных таблиц видно, что значения коэффициентов различны не только для разных типов сушилок, но и для различных начальных условий сушки зерна. Каждый из режимов сушки характеризуется собственным набором модельных коэффициентов, что является отражением нелинейности процесса.

В таблице 1 приведены пределы изменения коэффициентов математической модели сушки зерна, а на рис. 2, 3 их зависимости от рассчитанных начальных условий сушки. Видно, что значения коэффициентов ( $\alpha$ – теплообмена, Вт / м<sup>2</sup>К;  $\beta$ – массообмена, с<sup>-1</sup>) находятся в нелинейной зависимости от начальных условий сушки зерна и изменяются в широких пределах.

Таблица 1

Пределы изменения коэффициентов математической модели зерна

Тип сушарки	Пределы изменения значений коэффициентов			
	$k_{\beta} \cdot 10^{-5}$	$k_{\alpha}^c$	$k_{\alpha}^y$	$k_{\delta}$
Шахтная	0,24...0,46	0,86...2,00	123,20...209,90	-
Барабанная	0,17...0,51	1,32...4,03	54,80...250,70	-0,21...0,00

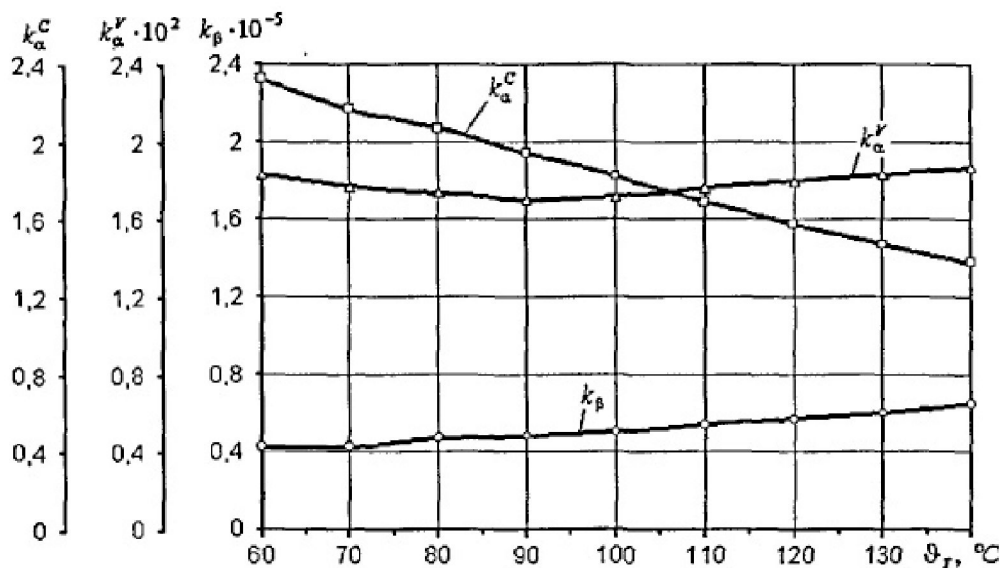


Рис. 2. Зависимость коэффициентов математической модели сушки зерна в шахтной сушилке от температуры теплоносителя

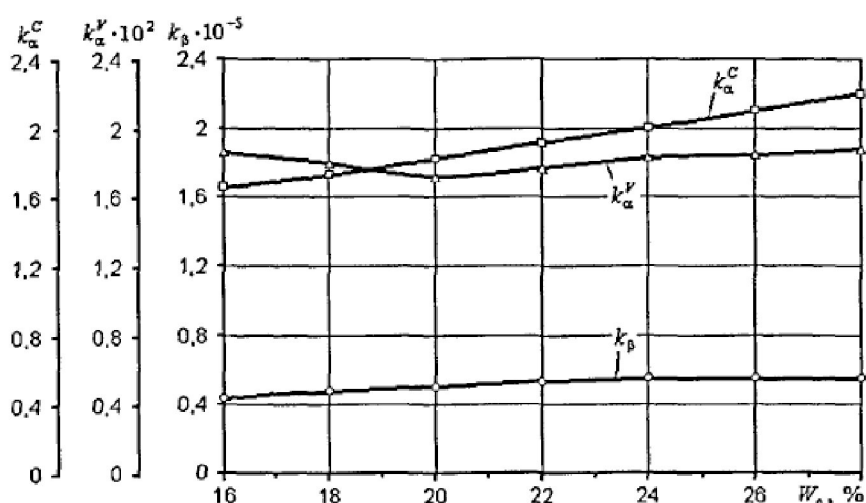


Рис. 3. Зависимость коэффициентов математической модели сушки зерна в шахтной сушилке от его начальной влажности

С учетом вышеуказанного, анализ математической модели сушки зерна сводится к определению коэффициентов, соответствующих начальным условиям сушки в сушильной камере. Изменения параметров математической модели приводят к необходимости применения адаптивных систем [2] или специальных регуляторов. Изменение коэффициентов в широком диапазоне (40–45%) позволяет рассчитывать модель процесса сушки зерна с получением достоверных результатов. Параметры настройки регулятора зависят от изменения коэффициентов математической модели объекта.

#### Библиографический список

1. Пупков К.А. Нестационарные системы автоматического управления: анализ, синтез и оптимизация / К.А. Пупков, Н.Д. Егупова. – М.: МГТУ им. Баумана, 2007. – 632 с.
2. Патент №89465UA, МПК C12C 1/00 (2014.01) Система адаптивного управления сушилкой солода на основании нечеткого подхода / Ладанюк А.П., Герасименко Т.М., Смитюх Я.В.; Национальный университет пищевых технологий; опубликовано 25.04.2014, Бюл. № 8.
3. Сасин Н.Д. Разработка и исследование автоматической системы пневмогазовой сушильной установкой в производстве: дисс. канд. техн. наук: 05.13.07 / Н.Д. Сасин // КТИПП.–К., 1973.–228с.
4. Вылегжанин А.Н. Разработка высокоэффективной процесса сушки пивоваренного солода: дисс. канд. техн. наук: 05.18.12, 05.18.07 / А.Н. Вылегжанин // КТИПП.–К., 1987. – 188 с.
5. Кашурин А.Н. Исследование конвективной сушки светлого солода с целью повышения эффективности работы солодосушилок: Автореф. Дис. канд. техн. наук. Киев, 1977. – 24 с.
6. Андрианов Н.М. Повышение эффективности процесса сушки путем совершенствования рабочих органов, системы контроля и управления зерновых сушилок: дисс. докт. техн. наук: 05.20.01 / Н.М. Андрианов // Большой Новгород. – НГУ им. Я.Мудрого. – 2005. – 360 с.

Статья поступила в редакцию 25.11.2014.

*ГЕРАСИМЕНКО Татьяна Михайловна* – ассистент кафедры автоматизации процессов управления, Национальный университет пищевых технологий (Украина).

*ЛАДАНЮК Анатолий Петрович* – доктор технических наук, профессор кафедры автоматизации процессов управления, Национальный университет пищевых технологий (Украина).

*САВЧУК Ольга Викторовна* – ассистент кафедры автоматизации процессов управления, Национальный университет пищевых технологий (Украина).

UDC 664.7

*T.M. Herasymenko, O.V. Savchuk, A.P. Ladanyuk*

### **AUTOMATION OF MALT DRYER IN THE CLASS OF NON-STATIONARY SYSTEMS**

*This article deals with the issue of increase of energy economy and quality of the malt drying process as non-stationary object. For that mathematical model for a shaft malt dryer was developed and the methods of solutions of this problem were proposed.*

**Keywords:** *shaft malt dryer, dryer, system of automatic control.*