

ТРУДЫ ТГТУ

Выпуск 13

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И
ОБОРУДОВАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ

Сборник научных статей
молодых ученых и студентов

Основан в 1997 году

Тамбов
◆ ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ ◆
2003

T78

Утверждено Ученым советом университета

Редакционная коллегия: проф. В. Ф. Калинин (*ответственный редактор*); доц. В. Я. Борщев (*зам. ответственного редактора*);
проф. С. И. Дворецкий; проф. В. Н. Долгунин; проф. В. И. Леденев; проф. М. Н. Макеева; проф. В. Ф. Першин; проф. С. В. Пономарев;
О. Г. Иванова (*ответственный секретарь*); Н. Н. Мочалин; М. А. Евсейчева

Труды ТГТУ: Сборник научных статей молодых ученых и студентов. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2003. Вып. 13. 276 с.
ISBN 5-8265-0094-8

В сборнике представлено 70 статей молодых ученых и студентов по направлениям университета: технологические процессы и оборудование, автоматизация технологических процессов, машиностроение и металловедение.

Материалы могут быть полезны преподавателям, аспирантам, студентам-исследователям, а также инженерно-техническим работникам различных отраслей промышленности.

ISBN 5-8265-0094-8

© Тамбовский государственный
технический университет (ТГТУ), 2003

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

ТРУДЫ ТГТУ

Выпуск 13

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ
АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
МАШИНОСТРОЕНИЕ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ**

Сборник научных статей молодых ученых и студентов

Редактор З. Г. Чернова

Инженер по компьютерному макетированию М. Н. Рыжкова

Подписано в печать 04.03.2003.

Гарнитура Times New Roman. Формат 60 × 84 / 16.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Объем: 16,04 усл. печ. л.; 17,0 уч.-изд. л.

Тираж 100 экз. С. 149

Издательско-полиграфический центр

Тамбовского государственного технического университета

392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

УДК 532.6: 53.082.32

А. В. Ефиманова, М. М. Мордасов

**ПНЕВМОДИНАМИЧЕСКИЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ
ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ЖИДКИХ ВЕЩЕСТВ**

Эффекты, возникающие при аэродинамическом воздействии струи газа на поверхность жидкости, используются в методах контроля поверхностного натяжения [1, 2]. Действие газовой струи сопровождается образованием углубления (лунки) и переходом ее кинетической энергии в потенциальную, которая однозначно определяется поверхностными F_σ и архимедовыми F_A силами.

В установившемся режиме взаимодействия

$$F_c = F_\sigma + F_A, \quad (1)$$

где

$$F_\sigma = 2\pi R\sigma; \quad F_A = (\rho_{ж} - \rho_{г})gV; \quad F_c = k\pi R_{тр}^2 \rho_{г} w^2, \quad (2)$$

R – радиус углубления, м; $\rho_{ж}, \rho_{г}$ – плотность жидкости и газа, соответственно, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; V – объем углубления, м³; $R_{тр}$ – радиус струйной трубки, м; w – скорость газа на выходе из трубки, м/с, k – коэффициент, позволяющий учесть полное действие газовой струи.

Подставляя (2) в (1), после преобразования получим

$$w = \sqrt{\frac{2R}{kR_{тр}^2 \rho_{г}} \sigma + \frac{Vg}{k\pi R_{тр}^2 \rho_{г}} (\rho_{ж} - \rho_{г})}. \quad (3)$$

Для деформации поверхности на постоянную величину h_y для различных жидкостей требуется различная скорость газа.

Одним из перспективных путей развития методов контроля является получение в результате их реализации информативного сигнала в виде отрезка времени, определяющего контролируемую величину. Времяимпульсное представление сигнала позволяет без потери информации передавать его на расстояние, а также измерять с высокой точностью.

На рис. 1 представлена схема устройства для реализации пневмодинамического метода измерения плотности жидких веществ.

Пуск устройства осуществляется тумблером 18 и подачей давления питания сжатым воздухом $P_{пит}$, а также подключением к линии питания источника света 1 и других электронных устройств и элементов схемы.

В начальный момент времени глубина лунки $h = 0$. Световой поток от источника света 1, отражаясь от точки А недеформированной поверхности, попадает на светоприемник 2, сигнал $U_2 = 1$ с которого подается на вход 5 триггера с отдельными входами 7. Сигнал $U_8 = 1$ с прямого выхода 8 триггера 7 подается на измеритель времени 9, а напряжение с инверсного выхода 10 триггера 7 на вход электропневматического преобразователя 11, где преобразуется в давление P_{11} и поступает на управляющий вход 30 генератора линейно изменяющегося расхода 20 (в камеру 12 одноконтантного клапана 13). При давлении $P_{11} = 0$ сопло 15 клапана 13 закрыто, благодаря действию давления подпора, поданного в камеру 14. Генератор линейно изменяющегося расхода 20 увеличивает во времени расход газа в струйную трубку 29.

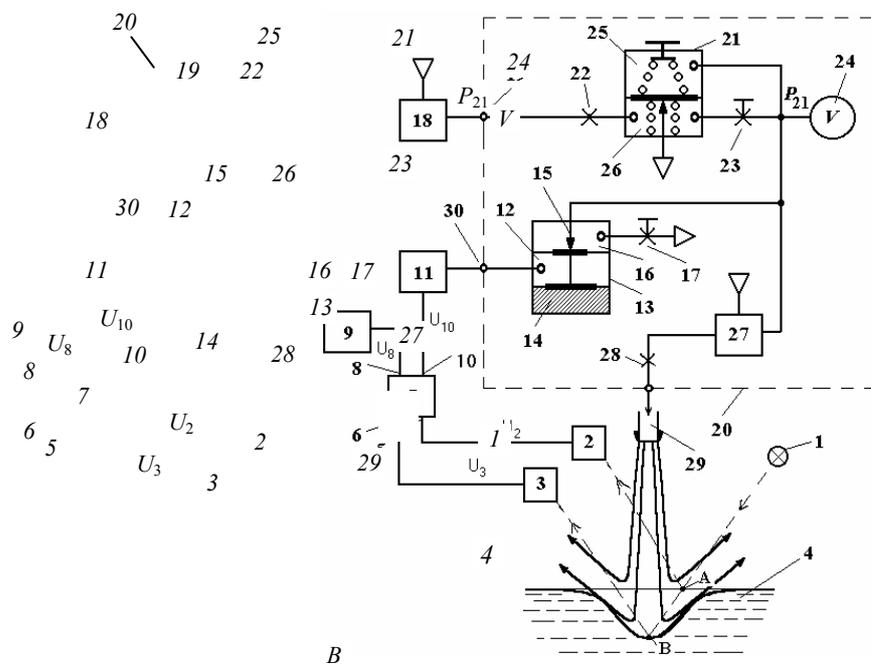


Рис. 1 Пневмодинамическое бесконтактное устройство контроля поверхностного натяжения

Как только деформация поверхности достигнет заданного значения h , отраженный от точки B световой поток поступит на светоприемник 3. Сигналом $U_3 = 1$ с выхода светоприемника 3 триггер 7 переключится в новое положение, при котором напряжение $U_8 = 0$ на прямом выходе 8. Этим сигналом отключается измеритель времени 9, а сигнал $U_{10} = 1$ с инверсного выхода 10, сформирует давление $P_{12} = 1$ в камере 12, что повлечет перемещение мембранного блока пневмоклапана 13 вниз. Сопло 15 откроется и через него произойдет сброс в атмосферу выходного сигнала с генератора линейно изменяющегося расхода 20, т.е. расход газа, подаваемый в струйную трубку 29, станет равным нулю.

На выходе генератора 20 линейно изменяющегося расхода при $U_{10} = 1$ формируется сигнал нулевого уровня, под действием которого поверхность контролируемой жидкости 4 принимает исходное состояние. Отраженный световой поток вновь поступит на светоприемник 2, сигнал которого переключит триггер 7, после чего включится измеритель времени 9.

При условии, что результирующая сила F_n , развиваемая пружинами, стремится закрыть сопло сброса в атмосферу, состояние равновесия пневматического повторителя 21 описывается уравнением

$$P_{25} + \frac{F_n}{S_M} = P_{26}, \quad (4)$$

где P_{26} – давление в камере 26; S_M – площадь мембраны пневматического повторителя 21; P_{25} – давление в камере 25.

Так как давление в камеру 25 поступает из емкости пневматического инерционного звена первого порядка (дрозсель 23, емкость 24), входным давлением для которого является P_{26} , то изменение давления P_{25} будет описываться дифференциальным уравнением

$$\tau \frac{dP_{25}}{dt} + P_{25} = P_{26}, \quad (5)$$

где $\tau = \frac{V_{24}}{RT\beta_{23}}$ – постоянная времени инерционного звена; V_{24} – объем емкости 24; β_{23} – проводимость дрозселя 23.

С учетом (4) уравнение (5) примет вид

$$\tau \frac{dP_{25}}{dt} = \frac{F_n}{S_M}. \quad (6)$$

Решая дифференциальное уравнение (6) относительно P_{25} , получим

$$P_{25} = \frac{1}{\tau} \frac{F_{\Pi}}{S_M} t. \quad (7)$$

Расход газа G_{29} по струйной трубке 29, проводимость которой $\alpha_{29} \rightarrow \infty$, определяется расходом газа G_{28} по пневматическому сопротивлению 28 и при линейном режиме течения

$$G_{29} = G_{28} = \alpha_{28} (P_{27} - P_{\text{атм}}), \quad (8)$$

где α_{28} – проводимость пневматического сопротивления 28; $P_{27} = P_{25}$ – давление на выходе повторителя-усилителя мощности 27.

Учитывая (7), из уравнения (8) при $P_{\text{атм}} = 0$ получим

$$G_{29}(t) = \frac{\alpha_{28}}{\tau} \frac{F_{\Pi}}{S_M} t. \quad (9)$$

С другой стороны, расход газа G_{29} может быть определен в виде

$$G_{29}(t) = w(t) \rho_{\Gamma} S_{29}, \quad (10)$$

где $S_{29} = \pi R_{29}^2$ – площадь поперечного сечения струйной трубки 29.

Из (9) и (10) скорость $w(t)$ истечения газа можно представить в виде

$$w(t) = \frac{G_{29}(t)}{\rho_{\Gamma} S_{29}} = \frac{\alpha_{28}}{\tau} \frac{F_{\Pi}}{S_M} \frac{1}{\rho_{\Gamma} S_{29}} t, \quad (11)$$

где α_{28} , ρ_{Γ} , τ , F_{Π} , S_M , S_{29} – постоянные величины; R_{29} – радиус струйной трубки 29.

Из уравнения (11) видно, что скорость истечения газа из трубки линейно возрастает с ускорением

$$a = \frac{\alpha_{28}}{\tau} \frac{F_{\Pi}}{S_M} \frac{1}{\rho_{\Gamma} S_{29}}. \quad (12)$$

Из (3) с учетом (11) и (12) при условии, что $\rho_{\text{ж}} \gg \rho_{\Gamma}$, получим уравнение, согласно которому

$$\tau = \sqrt{\frac{2R}{ka^2 R_{29}^2 \rho_{\Gamma}} \sigma + \frac{Vg}{ka^2 \pi R_{29}^2 \rho_{\Gamma}} \rho_{\text{ж}}}.$$

Одним из основных условий реализации метода является наличие информации о плотности жидкости.

Таким образом, поверхностное натяжение определяют по времени τ , за которое линейно нарастающий расход газа изменяет глубину лунки на поверхности контролируемой жидкости на заданную величину, h .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Мордасов М. М., Мищенко С. В., Мордасов Д. М. Физические основы измерения плотности и поверхностного натяжения пневматическими методами. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 1999. 76 с.
- 2 Лаптев В. И. Барботажно-пьезометрические методы контроля физико-химических свойств жидкостей. М.: Энергоиздат, 1984. 79 с.

*В. Я. Борщев, Г. А. Деев, А. С. Пучнин, Р. А. Шубин**

**Взаимодействие частиц при
сдвиговых деформациях в зернистой среде**

В МЕХАНИКЕ СЫПУЧИХ СРЕД ИЗВЕСТНО ДВА ИДЕАЛИЗИРОВАННЫХ РЕЖИМА ТЕЧЕНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ: БЫСТРЫЕ СДВИГОВЫЕ ТЕЧЕНИЯ И "МЕДЛЕННОГО" СДВИГА [1]. В НАСТОЯЩЕЙ РАБОТЕ ИССЛЕДУЕТСЯ, ТАК НАЗЫВАЕМЫЙ, РЕЖИМ "МЕДЛЕННОГО" СДВИГА, ДЛЯ КОТОРОГО ХАРАКТЕРНО ТО, ЧТО СДВИГОВЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРОТЕКАЮТ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ СКОЛЬЗЯЩЕМ КОНТАКТЕ ЧАСТИЦ ДРУГ С ДРУГОМ, А СООТВЕТСТВУЮЩИЕ НАПРЯЖЕНИЯ НЕ ЗАВИСЯТ ОТ СКОРОСТИ СДВИГА. СДВИГОВЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ЗЕРНИСТОЙ СРЕДЫ, ИМЕЮЩИЕ МЕСТО В РАЗЛИЧНОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ (СУШИЛКИ, ГРАНУЛЯТОРЫ И ДР.), ЯВЛЯЮТСЯ ПРИЧИНОЙ ЭФФЕКТОВ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ И СЕГРЕГАЦИИ ЧАСТИЦ ОБРАБАТЫВАЕМОГО МАТЕРИАЛА. ПРОИСХОДЯЩЕЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТИЦ МОЖЕТ ОКАЗЫВАТЬ ЗНАЧИТЕЛЬНОЕ ВЛИЯНИЕ НА КИНЕТИКУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И КАЧЕСТВО ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ. ОДНАКО, В СВЯЗИ С НЕДОСТАТОЧНОЙ ИЗУЧЕННОСТЬЮ ПРОГНОЗИРОВАТЬ ЭТО ВЛИЯНИЕ, В БОЛЬШИНСТВЕ СЛУЧАЕВ, ВЕСЬМА ЗАТРУДНИТЕЛЬНО. НАСТОЯЩАЯ РАБОТА ПОСВЯЩЕНА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМУ ИССЛЕДОВАНИЮ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧАСТИЦ ПРИ СДВИГОВЫХ ДЕФОРМАЦИЯХ В ЗЕРНИСТОЙ СРЕДЕ.

Экспериментальные исследования проведены на установке [2], в которой обеспечиваются условия взаимодействия частиц в режиме длительного скользящего контакта друг с другом в широком диапазоне скорости сдвига. Основным рабочим элементом установки является ленточный конвейер с рабочим органом из резиноканевой ленты. Нижняя ветвь конвейера проходит в желобе прямоугольного сечения. Сдвиговые деформации в слое зернистого материала, движущегося в зазоре между лентой и основанием желоба, создаются за счет их шероховатости, равной половине диаметра частиц сыпучего материала. Тем самым обеспечиваются условия прилипания частиц зернистого материала на верхней и нижней границах слоя.

Методика проведения экспериментального исследования эффектов взаимодействия частиц зернистого материала при сдвиговых деформациях основана на использовании индикаторного метода и описана ранее [2]. В качестве модельного материала применяются керамические шары диаметром $d = 6,6 \cdot 10^{-3}$ м.

В результате экспериментального исследования получено распределение частиц индикатора по длине l и толщине y слоя материала в желобе (рис. 1).

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. В. Н. Долгунина.

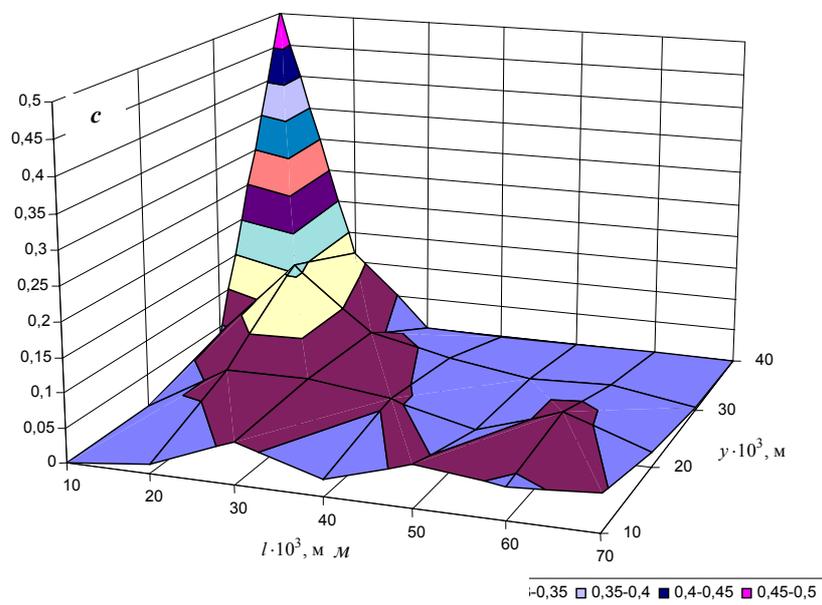


Рис. 1 Распределение концентрации частиц c индикатора по длине l и толщине y слоя зернистого материала

По полученным данным определяется среднестатистическая координата смещения частиц индикатора в каждом i -м элементарном подслое

$$\Delta l_i = \frac{1}{\bar{c}_i} \int_0^l c_i(l) dl,$$

где Δl_i – среднестатистическая координата смещения частиц индикатора; $c_i(l)$ – текущая концентрация; \bar{c}_i – средняя концентрация индикатора.

По известной координате смещения частиц индикатора в каждом элементарном подслое Δl_i и времени этого смещения τ (равного времени деформации) определяется средняя скорость движения частиц материала в каждом подслое. На рис. 2 приведен профиль скорости частиц по толщине y слоя сыпучего материала. Дифференцированием полученного профиля определяется скорость сдвига по толщине слоя сыпучего материала (рис. 3). Экспериментальные данные свидетельствуют о наличии достаточно обширной области двухмерного сдвигового потока в пространстве между шероховатыми поверхностями.

Рис. 2 Профиль скорости движения частиц индикатора по толщине слоя зернистого материала

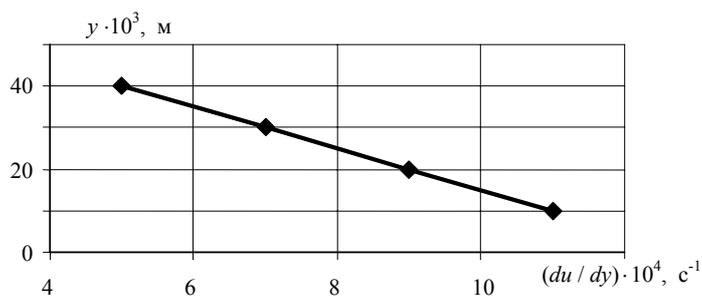
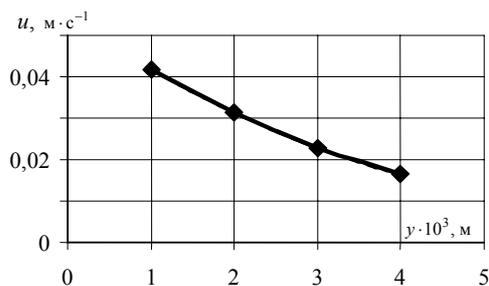


Рис. 3 Изменение скорости сдвига по толщине слоя сыпучего материала

Полученные экспериментальные данные могут быть использованы для разработки математического описания эффектов перемешивания и сегрегации частиц сыпучего материала при сдвиговых деформациях на основе анализа динамики их взаимодействия в условиях потока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Голованов Ю. В., Ширко И. В. Обзор современного состояния механики быстрых движений гранулированных материалов. М.: Мир, 1985. Кн.: Механика гранулированных сред. 280 с.
- 2 Иванов П. А., Борщев В. Я. Установка для экспериментального исследования эффектов взаимодействия частиц при сдвиговых деформациях в зернистой среде // Труды ТГТУ. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. тех. ун-та, 2001. Вып. 8. С. 185–188.

Кафедра "Технологическое оборудование и прогрессивные технологии"

УДК 532.545

*А. Н. Ананьев, А. Н. Куди**

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ТЕЧЕНИЯ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОТОКА ЗЕРНИСТОЙ СРЕДЫ НА ВИБРОСКАТЕ

ПРИ ССЫПАНИИ ЗЕРНИСТОГО МАТЕРИАЛА ПО ВИБРИРУЮЩЕМУ ШЕРОХОВАТОМУ СКАТУ, В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИИ, НАБЛЮДАЮТСЯ РАЗЛИЧНЫЕ РЕЖИМЫ ТЕЧЕНИЯ. ЦЕЛЬЮ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ТЕЧЕНИЯ ЯВЛЯЕТСЯ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОФИЛЕЙ СКОРОСТИ И ПОРОЗНОСТИ СЛОЯ. УКАЗАННЫЕ ПАРАМЕТРЫ СЛОЯ НЕОБХОДИМЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ВИБРАЦИИ НА ТЕЧЕНИЕ МАТЕРИАЛА ПО НАКЛОННОМУ СКАТУ И ОБЪЯСНЕНИЯ НАБЛЮДАЕМЫХ ПРИ ЭТОМ ЭФФЕКТОВ СЕГРЕГАЦИИ. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАВИТАЦИОННОГО ТЕЧЕНИЯ СТАЛКИВАЕТСЯ СО ЗНАЧИТЕЛЬНЫМИ ТРУДНОСТЯМИ, ВОЗНИКАЮЩИМИ ВСЛЕДСТВИЕ ИСКЛЮЧИТЕЛЬНОЙ "ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ" – АКТИВНОЙ РЕАКЦИИ ПОТОКА НА МАЛЕЙШЕЕ ВНЕШНЕЕ ВОЗМУЩЕНИЕ. ПОЭТОМУ ИССЛЕДОВАНИЕ БАЗИРУЕТСЯ НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКОМ МЕТОДЕ [1], ИСПОЛЬЗУЮЩЕМ АНАЛИЗ ФАЗЫ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ ЧАСТИЦ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕЧЕНИЯ НА ПОРОГЕ ССЫПАНИЯ. В ДАННОЙ РАБОТЕ УКАЗАННЫЙ МЕТОД АДАПТИРУЕТСЯ ДЛЯ УСЛОВИЙ ТЕЧЕНИЯ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА ПО ВИБРОСКАТУ.

В соответствии с предлагаемым методом экспериментальная установка (рис. 1) состоит из наклонного канала прямоугольного сечения, установленного с возможностью регулирования угла наклона. Изменение частоты и амплитуды вибрации производится с помощью вибропривода ВЭС-10. Постоянная подача материала в наклонный канал осуществляется с помощью тарельчатого питателя.

ПУЛЬТОМ УПРАВЛЕНИЯ 4 ИМПУЛЬСНЫЙ СИГНАЛ ЗАДАННОЙ ЧАСТОТЫ ПОДАЕТСЯ НА ЭЛЕКТРОМАГНИТ ВИБРОПРИВОДА 3, НА КОТОРОМ ЖЕСТКО ЗАКРЕПЛЕНА РАМКА, УСТАНОВЛЕННАЯ С ПОМОЩЬЮ ПРУЖИН НА ОСНОВНОЙ РАМЕ 2. НА РАМКЕ УСТАНОВЛЕН НАКЛОННЫЙ СКАТ С МЕХАНИЗМОМ РЕГУЛИРОВКИ УГЛА НАКЛОНА СКАТА 1. КЮВЕТА ДЛЯ ПРИЕМА ССЫПАЮЩЕГОСЯ МАТЕРИАЛА 5, РАЗДЕЛЕНА ПОПЕРЕЧНЫМИ ПЕРЕГОРОДКАМИ С ШАГОМ 15 ММ НА ЯЧЕЙКИ.

Эксперимент заключается в следующем. После установки требуемых величин угла наклона α плоскости ската, длины скатывания, которая устанавливается выдвиганием хобота тарельчатого питателя 7 и толщины слоя, смесь частиц подают в канал. При установившемся течении открывают доступ сыпучего материала к ячейкам кюветы. Регистрируют время ссыпания

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. В. Н. Долгунина.

смеси в кювету τ и высоту слоя на пороге ссыпания h . Содержимое каждой ячейки взвешивают, просеивают и определяют функции распределения материала $G(x_1)$ и целевого компонента $G_k(x_1)$. При исследовании гравитационного течения была использована смесь стеклянных шариков следующего состава: 3,25 ... 3,5 мм – 88 % и 3,6 ... 3,75 мм – 12 %.

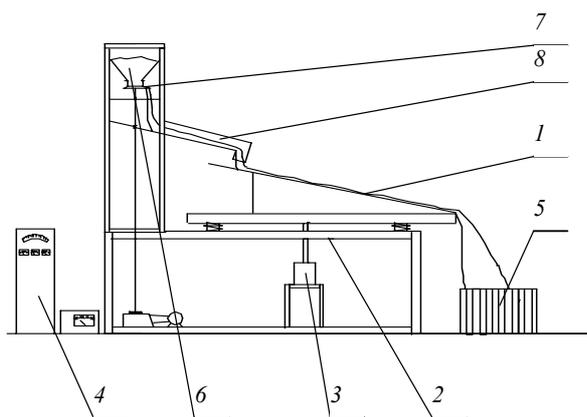


РИС. 1 СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ:

1 – НАКЛОННЫЙ КАНАЛ; 2 – РАМА; 3 – ВИБРОПРИВОД; 4 – ПУЛЬТ УПРАВЛЕНИЯ;
5 – КЮВЕТА; 6 – БУНКЕР; 7 – ТАРЕЛЬЧАТЫЙ ПИТАТЕЛЬ; 8 – ХОБОТ ПИТАТЕЛЯ

Параметры течения слоя по виброскату в виде профилей скорости и порозности определяются путем решения системы уравнений, полученных в соответствии с законом падающего тела и балансом между потоком частиц, покидающих слой, и массой материала, распределенного по ячейкам:

$$u = \frac{(x_1 - y \sin \alpha)}{\cos \alpha \sqrt{[H + y \cos \alpha - (x_1 - y \sin \alpha) \operatorname{tg} \alpha] 2g^{-1}}}, \quad (1)$$

$$u \rho^* = G(x_1). \quad (2)$$

Еще одним уравнением системы является уравнение взаимосвязи между удельным свободным объемом зернистой среды $\bar{\varepsilon}$ – дилатансией потока, энергией хаотических колебаний u и аналогом гидростатического давления $P_{\text{ст}}$. Данная взаимосвязь имеет вид

$$\bar{\varepsilon} = kU / P_{\text{ст}}, \quad (3)$$

где k – коэффициент, зависящий от физико-механических свойств частиц зернистой среды. Аналог гидростатического давления $P_{\text{ст}}$ определяется согласно [2].

Температура среды U находится как сумму температур, которые приобретает среда вследствие действия на поток сил гравитации U_g и вибрирующего ската U_V , т. е.

$$U(y) = U_g + U_V. \quad (4)$$

С учетом выражения (4) уравнение (3) можно записать в виде

$$P(y)E(y) = \varphi U(y). \quad (5)$$

За счет направленных виброколебаний основы с частотой f_0 при виброколебании $a \gg g$ частицы переходят в состояние виброкипящего слоя. При условии доминирования виброускорений над гравитационным ускорением ($a \gg g$) представляется возможным предположить, что условие генерирования виброколебаний у основания слоя и их распространения в его объеме полностью определяется условиями наложения вибрации.

Температуру зернистой среды у основания слоя $U_V(0)$ можно определить, зная параметры вибрации основания (частоту, ускорение и направление вибрации). Используя комбинированную λ - f гипотезу ко-

того удара [3], скорость частиц непосредственно взаимодействующих с вибрирующим основанием, определим с учетом наиболее вероятного угла столкновения β :

$$V'(h) = \mu(1+k)v_- \sin^2 \beta + \lambda u_- \cos^2 \beta, \quad (6)$$

где $\beta \approx \alpha$; α – угол ската.

Предударные значения скорости вычислим как

$$v_- = 2Af \sin \alpha; \quad u_- = 2Af \cos \alpha. \quad (7)$$

Тогда температура среды у нижней границы слоя примет вид:

$$U_v(h) = (V'(h))^2 m / 2. \quad (8)$$

"ТЕПЛОЙ" ПОТОК, ГЕНЕРИРУЕМЫЙ ВИБРИРУЮЩИМ ОСНОВАНИЕМ ЗЕРНИСТОЙ СРЕДЫ, ОЧЕВИДНО, ПРОПОРЦИОНАЛЕН КОНЦЕНТРАЦИИ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ У ОСНОВАНИЯ СЛОЯ И ЧАСТОТЕ СОУДАРЕНИЯ КАЖДОЙ ИЗ ЧАСТИЦ С ПОДНОЖКОЙ:

$$Q(h) = b^{-2}(h)d^{-2}(h)U_v(h)F(h), \quad (9)$$

где $F(h)$ – частота столкновения частиц у подножки ($F \approx f$).

Вследствие диссипации механической энергии температура зернистой среды убывает в направлении от основания к открытой поверхности слоя. Для определения "температуры" зернистой среды в произвольном сечении слоя рассчитывается соответствующий "тепловой" поток:

$$Q(y) = Q(h) - \int_{h-y}^h \Delta Q(y) dy, \quad (10)$$

где

$$\Delta Q(y) = E(y)(bd)_y^{-3} F(y). \quad (11)$$

Опыты проводились при различных углах наклона виброската, который изменялся в пределах 25 ... 35° (угол естественного откоса для бисера равен 27°), при различных значениях частоты вибрации от 10 до 150 Гц и при виброускорении 1 ... 8 g. По полученным результатам экспериментов были построены профили порозности и скорости. На рис. 2, а представлены профили порозности и скорости при частоте вибрации 50 Гц и виброускорении 4g. На рис. 2, б представлены профили скорости и порозности при виброускорении 7g и частоте вибрации 100 Гц. Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что характер профилей порозности под воздействием вибрации имеет более "естественный" вид, а характер профилей, определенных по тем же исходным данным, но без учета вибрации не соответствует наблюдаемой картине сдвигового течения материала на виброскате.

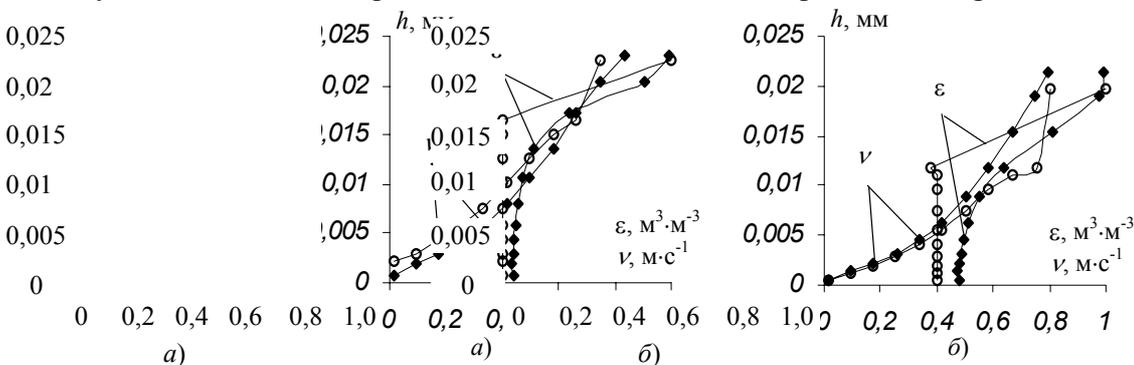


Рис. 2 Профили порозности и скорости для угла наклона ската 28°:

а) о – при частоте вибрации 50 Гц и виброускорении 4g, ♦ – без вибрации;

б) о – ПРИ ЧАСТОТЕ ВИБРАЦИИ 100 ГЦ И ВИБРОУСКОРЕНИИ 7G, ♦ – БЕЗ ВИБРАЦИИ

1 DOLGUNIN V. N., UKOLOV A. A., BORSCHOV V. J. MODEL OF SEGREGATION IN SHEARED FLOW OF PARTICULATE SOLIDS AND MULTIFUNCTIONAL MODULES FOR PROCESSES WITH SEPARATION // INT. CONGRESS OF CHEMICAL ENGINEERING, CHEMICAL EQUIPMENT DESIGN AND AUTOMATION, CHISA-90. PRAHA, 1990. P. 36.

2 КУДИ А. Н. МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕГРЕГАЦИИ ПРИ ГРАВИТАЦИОННОМ ТЕЧЕНИИ ЗЕРНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ И РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА: ДИС. ... КАНД. ТЕХН. НАУК. ТАМБОВ, 1993.

3 DOLGUNIN V. N., UKOLOV A. A., ALLENOV D. N., IVANOV O. O. SURFACE AND RESILIENCE EFFECTS OF PARTICLES UNDERGOING RAPID SHEAR FLOW // 4 WORLD CONGRESS ON PARTICLE TECHNOLOGY, SYDNEY, AUSTRALIA, FULL TEXTS OF PAPERS IN CD. 2002.

КАФЕДРА "ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ"

УДК 534.422

В. М. Червяков, Ю. В. Воробьев, А. В. Вахлис

ИЗМЕНЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ В МОДУЛЯТОРЕ РОТОРНОГО АППАРАТА

ОСНОВНОЕ ВЛИЯНИЕ НА ИНТЕНСИФИКАЦИЮ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РОТОРНЫХ АППАРАТАХ ОКАЗЫВАЮТ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАБОТЫ ВАЖНЕЙШЕЙ ИХ ЧАСТИ – МОДУЛЯТОРА. ПОЭТОМУ ОПРЕДЕЛЕННЫЙ ИНТЕРЕС ВЫЗЫВАЕТ ИЗУЧЕНИЕ ПЕРЕМЕННОГО ДИНАМИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ В МОДУЛЯТОРЕ.

На рис. 1 приведена роторного аппарата.

принципиальная конструкция модулятора

УРАВНЕНИЕ БЕРНУЛЛИ [1] В СЕЧЕНИЯХ 1 И 2

ДЛЯ НЕСТАЦИОНАРНОГО ПОТОКА КАНАЛА РОТОР-СТАТОР

$$\beta \rho l \frac{dv_2}{dt} + \alpha_2 \frac{\rho v_2^2}{2} - \alpha_1 \frac{\rho v_1^2}{2} + \xi_{\Sigma} \frac{\rho v_2^2}{2} = P_1 - P_2, \quad (1)$$

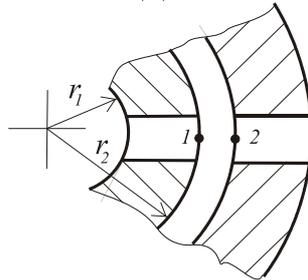


Рис. 1 Разрез модулятора:

r_1 – безразмерный внутренний

радиус ротора; r_2 – безразмерный
наружный радиус ротора

коэффициент количества движения; α_1, α_2
коэффициенты кинетической энергии; ξ_{Σ}

где β – нестационарный
– нестационарные

– суммарный нестационарный коэффициент гидравлического сопротивления; v_1, v_2 – радиальные скорости потока на выходе из канала ротора и на входе в канал статора; l – длина канала ротора; ρ – плотность обрабатываемой среды; P_1 – давление в канале ротора, равное давлению, создаваемому насосом; P_2 – давление на входе в канал статора, т.е. в модуляторе.

Из уравнения (1) можно определить переменное давление P_2 , принимая давление P_1 постоянной величиной. Используя результаты работ [1–3], в первом приближении, коэффициенты $\beta, \alpha_1, \alpha_2$ можно принять равными единице.

ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ КОЭФФИЦИЕНТОВ МЕСТНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ УЧИТЫВАЕМ, ЧТО ИХ МОЖНО ПРИНЯТЬ КВАЗИСТАЦИОНАРНЫМИ [1], [2], [4]. ВСЛЕДСТВИЕ МАЛОЙ ДЛИНЫ КАНАЛА ПОТЕРЯМИ ПО ДЛИНЕ ПРЕНЕБРЕГАЕМ:

$$\xi_{\Sigma} = \xi_{\text{вх}} + \xi_{\text{д}}(\bar{t}), \quad (2)$$

где $\xi_{\text{вх}} = 0,5$ – оценивает потери при резком сужении на входе в канал ротора [4]; $\xi_{\text{д}}(\bar{t})$ – оценивает потери в модуляторе; \bar{t} – безразмерное время.

Коэффициент сопротивления $\xi_d(\bar{t})$ принимаем согласно работе [3], как для диафрагмы переменного поперечного сечения

$$\xi_d(\bar{t}) = \left(\frac{1}{\varepsilon \bar{S}(\bar{t})} - 1 \right)^2, \quad (3)$$

где ε – коэффициент сжатия струи [2]; $\bar{S}(\bar{t})$ – безразмерная площадь проходного сечения модулятора [5].

Для определения скорости потока несжимаемой жидкости в модуляторе используем уравнение неразрывности при постоянном расходе через каналы ротора и статора. Ввиду малости радиального зазора между ротором и статором

$$v_2 = v_1 \bar{S}(\bar{t}). \quad (4)$$

Безразмерная скорость v_1 жидкости на выходе из канала ротора определяется из уравнения, полученного в работе [6], при $r = r_2 = 1$. Тогда скорость жидкости на выходе из канала ротора, можно представить в виде

$$v_1 = \bar{v}_1 V, \quad (5)$$

где V – масштаб скорости.

Для получения уравнения (1) в безразмерном виде введем безразмерное время \bar{t} , тогда

$$t = \bar{t} T, \quad (6)$$

где T – масштаб времени [6].

Подставив (4), (5), (6) в уравнение (1) и, после несложных преобразований, получим выражение для определения переменного динамического давления в модуляторе

$$P_2 = P_1 - \rho l \frac{V}{T} \frac{d[\bar{v}_1 \bar{S}(\bar{t})]}{d\bar{t}} + \rho V^2 \frac{\bar{v}_1^2}{2} [1 - \bar{S}(\bar{t})^2 - \xi_\Sigma \bar{S}(\bar{t})^2]. \quad (7)$$

Для приведения уравнения (7) к безразмерному виду введем следующие критерии подобия:

$$\text{Sh} = \frac{l}{VT} \text{ – критерий Струхалия,} \quad (8)$$

$$\text{Eu} = \frac{P_1 - P_2}{\rho V^2} \text{ – критерий Эйлера.} \quad (9)$$

Окончательно уравнение (7) преобразуем к виду

$$\text{Eu} = \text{Sh} \frac{d[\bar{v}_1 \bar{S}(\bar{t})]}{d\bar{t}} - \frac{\bar{v}_1^2}{2} [1 - \bar{S}(\bar{t})^2 - \xi_\Sigma \bar{S}(\bar{t})^2]. \quad (10)$$

Преимуществом полученного решения является то, что в нем учитываются особенности динамики жидкости во вращающемся канале ротора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

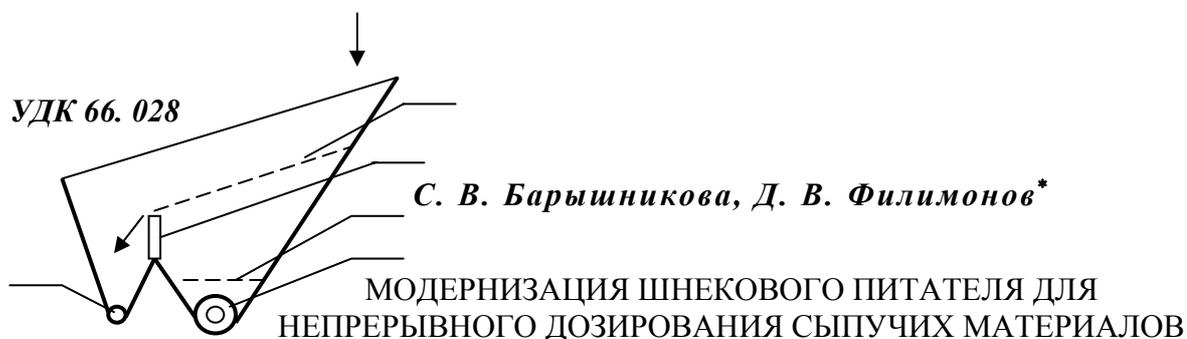
- 1 Попов Д. Н. Нестационарные гидромеханические процессы. М.: Машиностроение, 1982. 240 с.
- 2 Балабышко А. М., Зимин А. И., Ружицкий В. П. Гидромеханическое диспергирование. М.: Наука, 1998. 331 с.
- 3 Чугаев Р. Р. Гидравлика (техническая механика жидкости). Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982. 672 с.

4 Балабышко А. М., Юдаев В. Ф. Роторные аппараты с модуляцией потока и их применение в промышленности. М.: Недра, 1992. 176 с.

5 Червяков В. М., Вахлис А. В., Глазатов Д. В. Проходное сечение модулятора роторного аппарата при малых зазорах между ротором и статором // Труды ТГТУ. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2002. Вып 11. С. 21–24.

6 Червяков В. М., Галаев В. И., Коптев А. А. Нестационарное течение жидкости во вращающихся каналах роторного аппарата // Вестник ТГТУ. 2000. Т. 6, № 4. С. 611–616.

Кафедра "Теория механизмов машин и деталей машин"



С. В. Барышникова, Д. В. Филимонов*

МОДЕРНИЗАЦИЯ ШНЕКОВОГО ПИТАТЕЛЯ ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО ДОЗИРОВАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Ранее, для реализации двухстадийной технологии, применительно к дозированию плохосыпучих материалов, нами был предложен питатель с двумя шнеками [1]. Основной шнек большего диаметра и обеспечивающий большую производительность был расположен в нижней части бункера. Дополнительный шнек располагался в верхней части бункера. Процесс работы дозатора можно рассматривать, как последовательность циклов преобразования отдельных порций сыпучего материала в непрерывный поток. Если в течение одного цикла производительность основного шнека имела отклонение от требуемого значения в меньшую сторону, то после подачи следующей порции, сыпучий материал в бункере располагался выше дополнительного шнека и подавался в непрерывный поток этим шнеком. Результаты экспериментальных исследований различных режимов работы дозатора показали, что отклонения производительности основного шнека, которые возникали в течение одного цикла, компенсировались за несколько циклов. Кроме этого, конструкция не позволяет варьировать объемом отдельной порции при оптимизации режимных параметров работы дозатора.

Для устранения указанных недостатков дозатор был модернизирован. Новое устройство (рис. 1) содержит бункеры основного 1 и дополнительного 2 шнеков. Бункеры имеют общую стенку с подвижной перегородкой 3. Первоначально в бункер основного шнека засыпается сыпучий материал в количестве, достаточном для того, что-

РИС. 1 СХЕМА ШНЕКОВОГО ПИТАТЕЛЯ

бы шнек был полностью закрыт (линия А). Верхний край подвижной перегородки 3 устанавливается на таком уровне, чтобы объем между линиями А и В был равен объему ΔV отдельной порции весом ΔP . Линия В наклонена к горизонту под углом трения движения сыпучего материала. После этого, загружа-

* Работа выполнена под руководством проф. В. Ф. Першина.

ется порция материала в основной бункер (место загрузки показано стрелкой) и включается привод основного шнека. Через промежуток времени ΔT в бункер основного шнека загружается очередная порция материала. Если на предыдущем цикле производительность основного шнека имела отклонение в большую сторону от среднего значения, то весь материал очередной порции расположится в основном бункере между линиями A и B . Если производительность была меньше указанной величины, то к моменту подачи очередной порции открытая поверхность материала в основном бункере будет лежать выше линии A .

В этом случае, после загрузки порции, часть материала пересыпется в бункер вспомогательного шнека 2. Объем V_2 этой части материала будет равен $V_2 = \Delta V - Q_p \Delta T$, где Q_p – реальная производительность основного шнека за предыдущий цикл. В течение текущего цикла этот материал вводится в основной поток вспомогательным шнеком 2. Таким образом, за два цикла компенсируются отклонения объемной производительности основного шнека от требуемого значения производительности дозатора.

Экспериментальное определение точности весового дозирования осуществлялось следующим образом. Путем взвешивания на весах (ВЛК-500, предел взвешивания 1 ... 500 г, цена деления 0,05 г) подготавливались отдельные порции материала. Для искусственного создания экстремальных условий работы дозатора, в ряде экспериментов все порции имели максимальные отклонения в большую или меньшую стороны.

При включенных приводах шнеков отдельные порции материала загружались в бункер основного шнека через промежутки времени ΔT . После выхода дозатора на установившийся режим работы (после загрузки трех–пяти порций), начинали отбирать пробы. Каждая проба отбиралась в течение времени ΔT из непрерывного потока после соединения основного и дополнительного потоков. После отбора пробы взвешивались.

Результаты статистической обработки показали, что максимальные отклонения весовой производительности дозатора от заданного значения не превышают удвоенных значений отклонений веса отдельных порций, т.е. $Q_p \Delta T \leq 2 \delta P$.

РАЗРАБОТАНА МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ РЕЖИМНЫХ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ШНЕКОВЫХ ДОЗАТОРОВ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ДВУХСТАДИЙНОЙ ТЕХНОЛОГИИ НЕПРЕРЫВНОГО ВЕСОВОГО ДОЗИРОВАНИЯ ПЛОХОСЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ:

- 1 Экспериментальное определение угла и коэффициента трения движения сыпучего материала.
- 2 Расчет веса ΔP и объема ΔV отдельной порции:

$$\Delta P = 30G_3,$$

где G_3 – максимальная заданная весовая производительность, $г \cdot с^{-1}$;

$$\Delta V = \Delta P / \rho_n,$$

где ρ_n – насыпная плотность материала, $г \cdot м^{-3}$.

Расчет выполнен при условии, что $\Delta T = 30 с$.

- 3 Расчет требуемой объемной производительности основного шнека

$$Q_V = 0,95 (\Delta V - \delta V) / \Delta T,$$

где δV – максимальное отклонения объема отдельной порции от заданного значения, $м^3$.

Численное значение δV рассчитывается исходя из точности порционного дозатора, которая может характеризоваться максимальным отклонением δP веса отдельной порции от требуемого значения ΔP , $\delta V = \delta P / \rho_n$.

- 4 **РАСЧЕТ ТРЕБУЕМОЙ ОБЪЕМНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ШНЕКА**

$$Q_V = 1,05 (\delta V + \delta Q_V) / \Delta T,$$

ГДЕ δQ_V – МАКСИМАЛЬНОЕ ОТКЛОНЕНИЕ ОБЪЕМНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОСНОВНОГО ШНЕКА ОТ ТРЕБУЕМОГО ЗНАЧЕНИЯ (НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОЖНО ПРИНЯТЬ $\delta Q_V = 0,05 Q_V$).

5 РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОСНОВНОГО И ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ШНЕКОВ ИЗ УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАВЕНСТВА В ЗАВИСИМОСТИ (1), КОТОРАЯ ПРИВЕДЕНА В РАБОТЕ [1]. ЧИСЛЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВХОДЯЩИХ В ЗАВИСИМОСТЬ (1) ОПРЕДЕЛЯЮТСЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДОЗИРОВАНИЯ КОНКРЕТНОГО СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА НА ЛАБОРАТОРНОМ ШНЕКОВОМ ПИТАТЕЛЕ.

6 РАСЧЕТ ОБЪЕМА РАБОЧЕЙ ЧАСТИ (ОБЪЕМ, РАСПОЛОЖЕННЫЙ МЕЖДУ ЛИНИЯМИ А И В) V_1 БУНКЕРА ОСНОВНОГО ШНЕКА $V_B = \Delta V - \delta V$.

7 РАСЧЕТ ОБЪЕМА V_{II} БУНКЕРА ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ШНЕКА (ОБЪЕМ ДОЛЖЕН БЫТЬ НА 10 ... 15 % БОЛЬШЕ, ЧЕМ МАКСИМАЛЬНЫЙ ОБЪЕМ МАТЕРИАЛА, КОТОРЫЙ МОЖЕТ ССЫПАТЬСЯ В ЭТОТ БУНКЕР ИЗ БУНКЕРА ОСНОВНОГО ШНЕКА) $V_{II} = 1,15 (\delta V + \delta Q_{V_{TP}})$.

В СООТВЕТСТВИИ С ПРЕДСТАВЛЕННОЙ МЕТОДИКОЙ РАЗРАБОТАНА ПРОГРАММА РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ШНЕКОВОГО ДОЗАТОРА НА ПЭВМ. РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЕЙ ОСНОВНОГО И ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ШНЕКОВ ПОКАЗАЛИ, ЧТО ОКОНЧАТЕЛЬНАЯ ОТЛАДКА ДОЗАТОРА И НАСТРОЙКА НА ЗАДАННУЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ДОЛЖНЫ БЫТЬ ВЫПОЛНЕНЫ ПОСЛЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ УСТАНОВКИ. УЧИТЫВАЯ ЭТО, ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ НЕОБХОДИМО ПРЕДУСМОТРЕТЬ ВОЗМОЖНОСТЬ РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ ОСНОВНОГО И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ШНЕКОВ В ДИАПАЗОНЕ 0,8 ... 1,2 ОТ РАСЧЕТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Филимонов Д. В., Барышникова С. В. Использование двухстадийной технологии для дозирования плохосыпучих материалов // Труды ТГТУ. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2001. Вып. 8. С. 73–77.

КАФЕДРА "ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА И СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ"
УДК 53.082.36:681.12

А. В. Иванов, С. А. Трофимов

СТРУЙНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ

Существует ряд методов для измерения вязкости и поверхностного натяжения жидкости, использующих взаимодействие газовой струи с поверхностью жидкости [1]. Предложен метод измерения вязкости жидкостей, использующий динамический режим, возникающий при воздействии вертикальной струи газа на поверхность жидкости.

При действии газовой струи на поверхности жидкости образуется углубление, объем которых увеличивается в процессе действия струи. С одной стороны на углубление действует сила давления газа, с другой стороны ей противодействуют силы вязкости, поверхностного натяжения и архимедова сила, которая увеличивается по мере роста объема углубления. В определенный момент времени сила давления струи и сила поверхностного натяжения и архимедова сила приходят в равновесие и рост углубления прекращается.

При отключении расхода газа равновесие сил в системе нарушается, и начинается уменьшение объема углубления под действием силы поверхностного натяжения и архимедовой силы, которым противодействует вязкость жидкости. Скорость уменьшения объема углубления определяется плотностью, вязкостью и поверхностным натяжением жидкости. Такая зависимость положена в основу предлагаемого метода определения вязкости жидкости по скорости уменьшения объема углубления.

В предложенном методе осуществляются следующие активные действия:

- воздействуют вертикальной газовой струей на поверхность жидкости;
- формируют устойчивое углубление на поверхности жидкости;
- прекращают воздействие газовой струи;
- начинают отсчет времени в момент снятия воздействия;

- прекращают отсчет времени;
- определяют интервал времени от момента снятия воздействия газовой струи до момента исчезновения углубления;
- судят о вязкости жидкости по полученному временному интервалу.

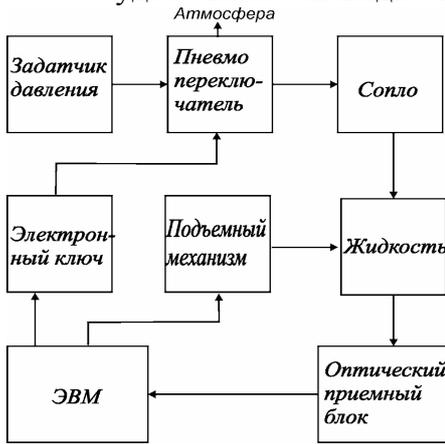


Рис. 1 Структурная схема устройства

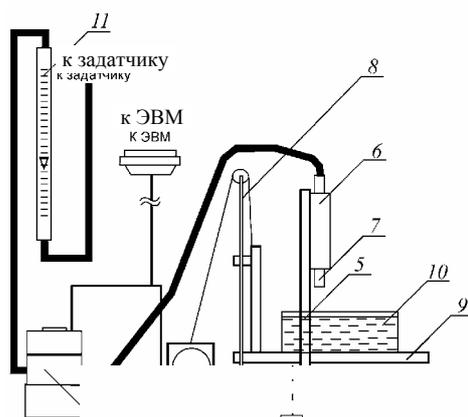
На основании метода разработано устройство для его реализации (рис. 1).

В НАЧАЛЬНЫЙ МОМЕНТ ВРЕМЕНИ ДАВЛЕНИЕ ПИТАНИЯ ПОПАДАЕТ В СОПЛО. СТРУЯ ВОЗДУХА ВОЗДЕЙСТВУЕТ НА ПОВЕРХНОСТЬ ЖИДКОСТИ, ВЫЗЫВАЯ ОБРАЗОВАНИЕ УГЛУБЛЕНИЯ. ПО ИСТЕЧЕНИИ ОПРЕДЕЛЕННОГО ВРЕМЕНИ, КОТОРОЕ ВЫБИРАЕТСЯ НЕСКОЛЬКО БОЛЬШИМ, ЧЕМ ВРЕМЯ ОБРАЗОВАНИЯ СТАБИЛЬНОГО УГЛУБЛЕНИЯ, РАСХОД ГАЗА ОТКЛЮЧАЕТСЯ И НАЧИНАЕТСЯ ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕНИ. ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕНИ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ ДО ТЕХ ПОР, ПОКА ПОВЕРХНОСТЬ ЖИДКОСТИ НЕ ВЫРАВНИВАЕТСЯ, ЧТО ФИКСИРУЕТСЯ ПРИЕМНЫМ УСТРОЙСТВОМ. ПРИ ЭТОМ ОТСЧЕТ ВРЕМЕНИ ЗАВЕРШАЕТСЯ, ПОЛУЧЕННОЕ ЗНАЧЕНИЕ ЗАПИСЫВАЕТСЯ В ПАМЯТЬ. УСТАНОВКА ГОТОВА К СЛЕДУЮЩЕМУ ЦИКЛУ ИЗМЕРЕ-

НИЯ.

Для автоматической установки расстояния от сопла до поверхности жидкости в устройстве предусмотрена подъемная площадка. Контроль уровня ЭВМ осуществляет по программе, ориентирующейся по сигналу, поступающему с приемного устройства. Уровень жидкости изменяется путем поднятия или опускания кюветы. В начальный момент времени подъемная площадка находится в нижнем положении. На нее устанавливается кювета с исследуемой жидкостью. Затем оператор запускает программу установки уровня. Программа включает электромотор, который через редуктор связан с подъемной площадкой. Начинается подъем кюветы с жидкостью со скоростью $10 \dots 20 \cdot 10^{-6}$ м/с и продолжается до тех пор, пока поверхность жидкости не окажется на расстоянии срабатывания приемного устройства. При получении единичного сигнала с приемного устройства программа останавливает мотор, и подъем кюветы прекращается.

Струйное устройство (рис. 2) состоит из основания 1 на котором закреплен электронный блок 2, пневмопереключатель 3, подъемный механизм 4, состоящий из коллекторного электродвигателя с шестеренным редуктором, Г-образная пластина 5, на которой закреплены датчик 6 и сопло 7. Также на основании установлены направляющие 8, по которым передвигается подъемная площадка 9. На подъемной площадке установлена кювета с исследуемой жидкостью 10. Расстояние от сопла до поверхности жидкости может изменяться в диапазоне $0 \dots 40 \cdot 10^{-6}$ мм. Давление питания билирированного таметр 11. подается на установку со статисточника $P = 0,1 \dots 0,2$ МПа через ро-



Приемный блок выполнен в виде рассеивающего под углом к симметрично

4, с таким расчетом, жидкости луч попадал наклон светоприемника и равен 30° относительно оси жидкости выбиралась из большей высоте приводит к нарушению соответственно,

СИГНАЛ С ПРИЕМ-

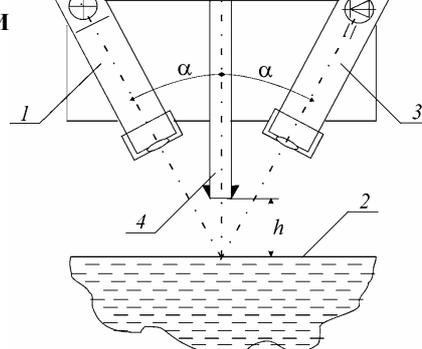


РИС. 3. ОПТИЧЕСКИЙ ПРИЕМ-

(рис. 3) состоит из светоизлучателя 1, трубки, линзы, источника света и экрана. Светоизлучатель располагается поверхности жидкости, таким образом, луча на поверхность жидкости 2 фокусном расстоянии от линзы ($f =$ Светоприемник 3 располагается светоизлучателю, относительно оси сопла чтобы отраженный от поверхности в приемную линзу ($f = 50$ мм). Угол светоизлучателя к поверхности жидкости сопла. Высота сопла над поверхностью диапазона $15 \dots 30$ мм, так как при необходимо увеличивать расход газа, что стабильности углубления и, результатов измерения. **НОГО БЛОКА ЧЕРЕЗ**

ТРАНЗИСТОРНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ И БУФЕРНЫЙ ЛОГИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ ПОДАЕТСЯ В ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ ПОРТ ЭВМ (LPT1). УПРАВЛЕНИЕ МОТОРОМ ПОДЪЕМНОГО МЕХАНИЗМА И ПНЕВМОПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЕМ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ ЧЕРЕЗ ТОТ ЖЕ ПОРТ ПОСРЕДСТВОМ КЛЮЧЕВЫХ УСТРОЙСТВ, ВЫПОЛНЕННЫХ НА ТРАНЗИСТОРНЫХ УСИЛИТЕЛЯХ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ РЕЛЕ.

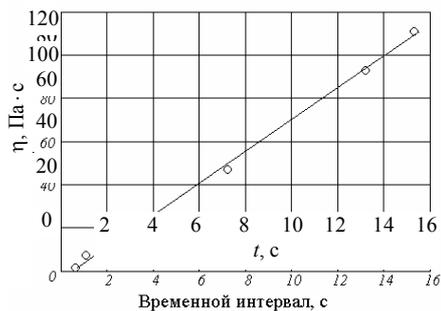


Рис. 4 Ста-

Эксперимент проводился с эпоксидными смолами. По его результатам получены экспериментальные точки, по которым построена статическая характеристика устройства (рис. 4).

Таким образом, разработано устройство, осуществляющее струйный бесконтактный метод измерения вязкости жидкости с погрешностью, не превышающей восемь процентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Гализдра В. И., Мордасов М. М. Двухфазная система "Струя газа– жидкость" в измерении вязкости жидких сред // Вестник ТГТУ. 1999. Т. 5. № 2. С. 218–227.

Кафедра "Автоматизированные системы и приборы"

УДК 621.00124

Ю. В. Родионов, В. А. Максимов, В.Е. Шестаков*

**РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ДВУХСТУПЕНЧАТЫХ
ЖИДКОСТНОКОЛЬЦЕВЫХ ВАКУУМ-НАСОСОВ**

В настоящее время трудно назвать отрасль промышленности, науки и техники, на развитие которой не оказало прогрессивного влияния использование вакуума, поэтому разработка и изготовление вакуумных насосов занимает важное место в машиностроении.

Ряд процессов в химической, газовой, нефтяной, кожевенной, пищевой, целлюлозно-бумажной промышленности требуют создание вакуума от 15 до 2 кПа. Экономически выгодно получать заданный диапазон вакуума двухступенчатыми жидкостнокольцевыми вакуум-насосами (ЖВН), которые отличаются простотой конструкции, надежно-

стью, меньшей пульсацией вакуума (по сравнению с одноступенчатыми ЖВН). Однако насосы данной конструкции практически не изготавливаются отечественной промышленностью.

Для Тамбовской области, имеющей большое количество фермерских хозяйств, такой насос может быть использован для создания мини доильных установок.

На основании методики, предложенной [1, 2] на кафедре ТММ и ДМ, разработана конструкция опытно-промышленного образца двухступенчатого насоса ЖВН 2.01 с расчетными параметрами:

Производительность,	м ³ /час	6
.....		
Уровень создаваемого вакуума, мм. рт. ст.		740 ...
.....		750
Мощность,	кВт	1,2

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. Ю. В. Воробьева.

.....
Частота вращения выходного вала, об/мин 2950
.....

Электрическое питание, Гц 380, 50
.....

Спроектированный вакуум-насос технологически полностью возможно изготовить на таких предприятиях области, как ОАО "ВНИРТ-Маш", ЗАО "Электроприбор", ОАО "Полимермаш", ОАО "Завод Комсомолец им. Н. С. Артемова".

Вакуум-насос (рис. 1) состоит из двух корпусов, являющихся модулями первой и второй ступеней. Отличительная особенность корпуса второй ступени заключается в том, что в нем установлена промежуточная камера *A*. Она предназначена для стабилизации газового потока за счет дополнительных впускного *B* и нагнетательного *C* отверстий. Внутри корпусов эксцентрично установлены два сборных ротора. Вал 7 установлен в двух шариковых подшипниках, которые размещены в корпусах 11, 12, прикрепленных к торцовым крышкам 5, 6; в них выполнены входы впускного *L* и выпускного *M* патрубков, а также впускное отверстие *K* первой ступени и нагнетательное отверстие *N* второй ступени. На валу установлены уплотнения, которые вынесены из рабочей зоны насоса, что предотвращает утечку газа из насоса во время работы. Уплотнения выполнены из антифрикционного материала и подпружиниваются в осевом направлении, что позволяет свободно производить регулировку вала. Подшипниковые узлы охлаждаются подачей рабочей жидкости, если это вода, или дополнительной подачей воды. Так как существенное значение на работу вакуум-насоса оказывает способ подачи рабочей жидкости, то в конструкции предусмотрены несколько вариантов: сверху и с торцов; снизу со всасывающей стороны и наиболее часто используемый и рациональный способ – для пополнения жидкостного кольца со стороны нагнетания в точке *K*, которая находится на радиусе, проведенном через высшую точку нагнетательного отверстия.

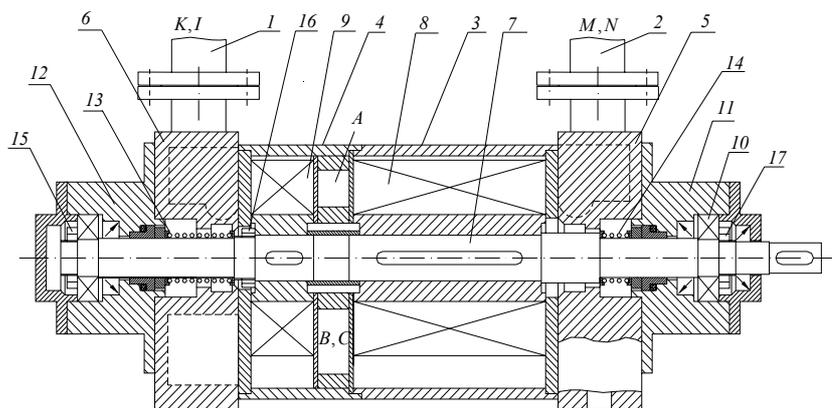


Рис. 1 Конструкция двухступенчатого жидкостнокольцевого вакуум-насоса ЖВН 2.01:

1 – впускной патрубок; 2 – выпускной патрубок; 3 – корпус первой ступени;
4 – корпус второй ступени; 5 – торцовая крышка правая; 6 – торцовая крышка левая; 7 – вал; 8 – ротор первой ступени в сборе; 9 – ротор второй ступени в сборе; 10 – шарикоподшипник; 11, 12 – корпус подшипника в сборе; 13, 14 – уплотнение осевое в сборе; 15, 16, 17 – стопорные и регулировочные гайки

Создана экспериментальная лабораторная установка, которая позволяет:

- измерять потребляемую мощность, кВт;
- измерять температуру в различных точках, как насоса, так и вспомогательного оборудования, °С;
- измерять быстроту действия насоса (производительность, м³/час);
- измерять величину вакуума в системе, кПа;
- измерять расход жидкости, м³/ч;
- изменять конструктивные элементы опытно-промышленного образца насоса;
- снимать индикаторную диаграмму.

Насос выполнен таким образом, что возможно использовать:

- различные роторы второй ступени по ширине;

- роторы второй и первой ступени с различными углами наклона ($\beta = 90^\circ, 135^\circ, 150^\circ$);
- предусмотрено автоматическое регулирование размеров нагнетательных и всасывающих окон.

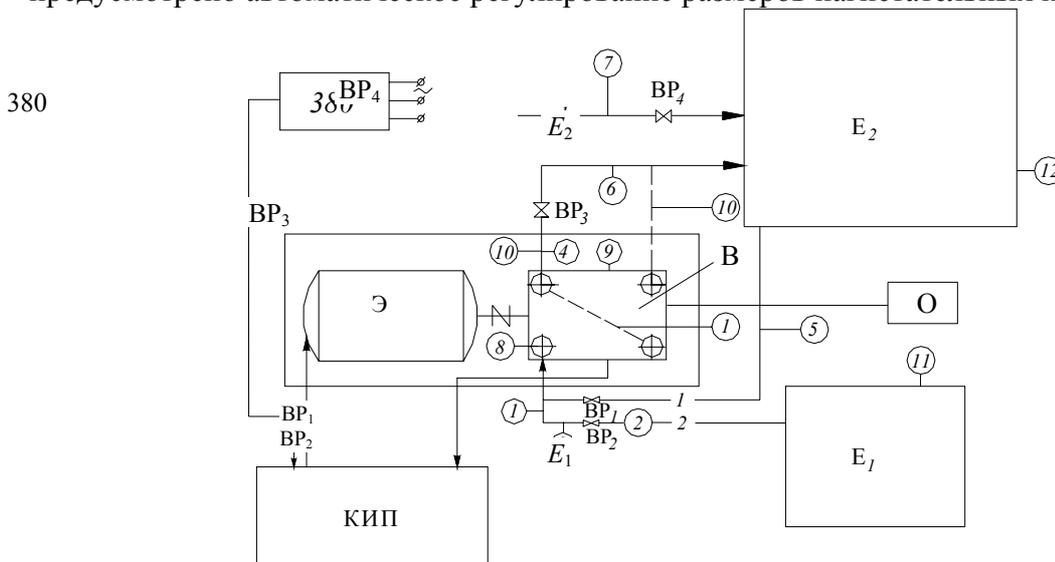


РИС. 2 СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ
ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ВАКУУМ-НАСОСОВ:

Э – ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ; **КИП** – КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ;
В – ДВУХСТУПЕНЧАТЫЙ ЖВН 2-01; **E₁, E₂** – ЕМКОСТИ; **О** – ОСЦИЛЛОГРАФ;
ВР₁₋₄ – ВЕНТИЛИ РЕГУЛИРОВОЧНЫЕ;

Точки замера и контроля: **1** – давления разряжения; **2** – расхода воздуха;
3–12 – температуры; —**1**— – вода; —**2**— – воздух

СОЗДАНА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА (РИС. 2) ДЛЯ ЗАМЕРА БЫСТРОТЫ ДЕЙСТВИЯ НАСОСА ПРИМЕНЯЕТСЯ РОТАЦИОННЫЙ ГАЗОВЫЙ СЧЕТЧИК СГБ G4-1, УСТАНОВЛЕННЫЙ ЗА НАСОСОМ НА РАССТОЯНИИ 1,5 М ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ИСКАЖЕНИЯ ПОКАЗАНИЙ. РАЗРЯЖЕНИЕ РЕГУЛИРУЕТСЯ ЗАПОРНЫМ ВЕНТИЛЕМ, РАСПОЛОЖЕННЫМ МЕЖДУ НАСОСОМ И ГАЗОВЫМ СЧЕТЧИКОМ. ВЕЛИЧИНА ВАКУУМА В СИСТЕМЕ ЗАМЕРЯЕТСЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ МАНОМЕТРОМ ДТ-50, КОТОРЫЙ НАХОДИТСЯ МЕЖДУ ВАКУУМ-НАСОСОМ И ГАЗОВЫМ СЧЕТЧИКОМ. ПОТРЕБЛЯЕМАЯ НАСОСОМ МОЩНОСТЬ ЗАМЕРЯЕТСЯ С ПОМОЩЬЮ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКТА, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТОКА, НАПРЯЖЕНИЯ В ОДНОФАЗНОЙ И ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПЯХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ПРИ РАВНОМЕРНОЙ И НЕРАВНОМЕРНОЙ НАГРУЗКАХ. ТЕМПЕРАТУРА НАСОСА ЗАМЕРЯЕТСЯ ТЕРМОПАРАМИ. ПРИМЕНЕННАЯ КОНСТРУКЦИЯ КОРПУСА ГОРЯЧЕГО СПАЯ ТЕРМОПАРЫ – ПЛАСТИНЧАТАЯ. ДЛИНА ХРОМЕЛЕВЫХ И КОПЕЛЕВЫХ ТЕРМОЭЛЕКТРОДОВ ОТ ГОРЯЧИХ ДО ХОЛОДНЫХ СПАЕВ 3 ... 4 М. ДЛЯ СОЗДАНИЯ СООТВЕТСТВУЮЩЕЙ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ПРИ ЗАМЕРАХ ТЕМПЕРАТУРЫ ВСАСЫВАЮЩЕГО И ВЫХЛОПНОГО ГАЗА ОТВЕРСТИЕ МЕЖДУ ТЕРМОПАРОЙ И ТРУБОПРОВОДОМ УПЛОТНЯЕТСЯ РЕЗИНОВЫМИ ПРОКЛАДКАМИ. С ЦЕЛЬЮ УМЕНЬШЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ НА ПОКАЗАНИЯ ПРИБОРА ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ТЕРМОПАРЫ ИЗОЛИРУЕТСЯ ОТ КОРПУСА НАСОСА ВТУЛКОЙ ИЗ ТЕКСТОЛИТА. В КАЧЕСТВЕ ВТОРИЧНОГО ПРИБОРА ДЛЯ ТЕРМОПАР ПРИМЕНЯЕТСЯ ПОТЕНЦИОМЕТР ПИ-1, ЗАПИСЫВАЮЩИЙ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ.

Для измерения частоты вращения вала насоса используется счетчик оборотов ЦАТ-3М.

Для измерения расхода воды применяется водяной счетчик ВСКМ 5/20 с максимальной подачей 2,5 м³/ч.

Для снятия индикаторной диаграммы насоса применяется осциллограф МПО-2.

Список литературы

1 РОДИОНОВ Ю. В. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУХСТУПЕНЧАТЫХ ЖИДКОСТНОКОЛЬЦЕВЫХ ВАКУУМ-НАСОСОВ: ДИС. ... КАНД. ТЕХН. НАУК. ТАМБОВ: ИЗД-ВО ТАМБ. ГОС. ТЕХН. УН-ТА, 2000.

2 РОДИОНОВ Ю. В., ШЕСТАКОВ В. Е., ВОРОБЬЕВ Ю. В. К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ШИРИНЫ ВТОРОЙ СТУПЕНИ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ВАКУУМ-НАСОСА МОДУЛЬНОГО ТИПА // ТРУДЫ ТГТУ. ТАМБОВ: ИЗД-ВО ТАМБ. ГОС. ТЕХН. УН-ТА, 2001. ВЫП. 8. С. 56–59.

КАФЕДРА "ТЕОРИЯ МАШИН, МЕХАНИЗМОВ И ДЕТАЛЕЙ МАШИН"

УДК 53.082.32:531.756

Л. В. СОБОЛЕВА, Д. М. МОРДАСОВ

Эволюция пневмометрических методов измерения плотности жидкости

В эволюционном преобразовании известные методы и устройства подвергаются позитивным изменениям, при этом сохраняется преемственность по целому ряду признаков. Следует отметить, что эволюционные преобразования инициируются в первую очередь развитием промышленности и науки, с их потребностями в новых методах и средствах контроля.

Качественные успехи в автоматизации производственных процессов, а также решении задач контроля показателей качества неразрывно связаны с достижениями в области измерительной техники.

Для инициирования эволюционного процесса необходимы соответствующие побуждающие факторы (эволюционные признаки), к которым можно отнести: повышение точности измерений; обеспечение измерительного процесса в условиях действующего производства. Кроме того, в настоящее время большое значение имеют экономические проблемы.

Эволюция технических средств может идти либо вслед за новой элементной базой; либо с учетом развития известных и использование новых принципов измерения, т.е. на физической основе путем целенаправленного изучения явлений, эффектов, свойств, их физико-математических моделей с использованием математических методов и средств, включая методы и средства вычислительной техники.

Посредством анализа влияния неконтролируемых величин на результат измерения, получаемый вследствие какого-либо физического эффекта, формируются при необходимости пути развития, направленные на повышение точности.

Преобразования различных методов по одному и тому же признаку могут осуществляться несколькими путями. При этом, некоторые из вновь разработанных методов завоевывают прочное место в номенклатуре методов и средств контроля. Однако отбрасывать новации не нашедшие широкого использования нельзя, так как при дальнейшем развитии направления возможно использование концептуальных новаций прототипа.

Рассмотрим эволюцию пневмометрических методов измерения плотности (рис. 1). Начало все пневмометрические методы берут с колокольного (рис. 1, а).

В колокольном методе контролируемая жидкость оказывает воздействие на сжатый воздух, размещенный под колоколом. Гидростатическое давление $P_r = \rho_{ж} g H$ и давление P_a над поверхностью жидкости формируют давление P_k в измерительном элементе (под колоколом) в соответствии с уравнением гидростатики

$$P_k = \rho_{ж} gH + P_a,$$

где g – ускорение свободного падения; H – глубина погружения колокола.

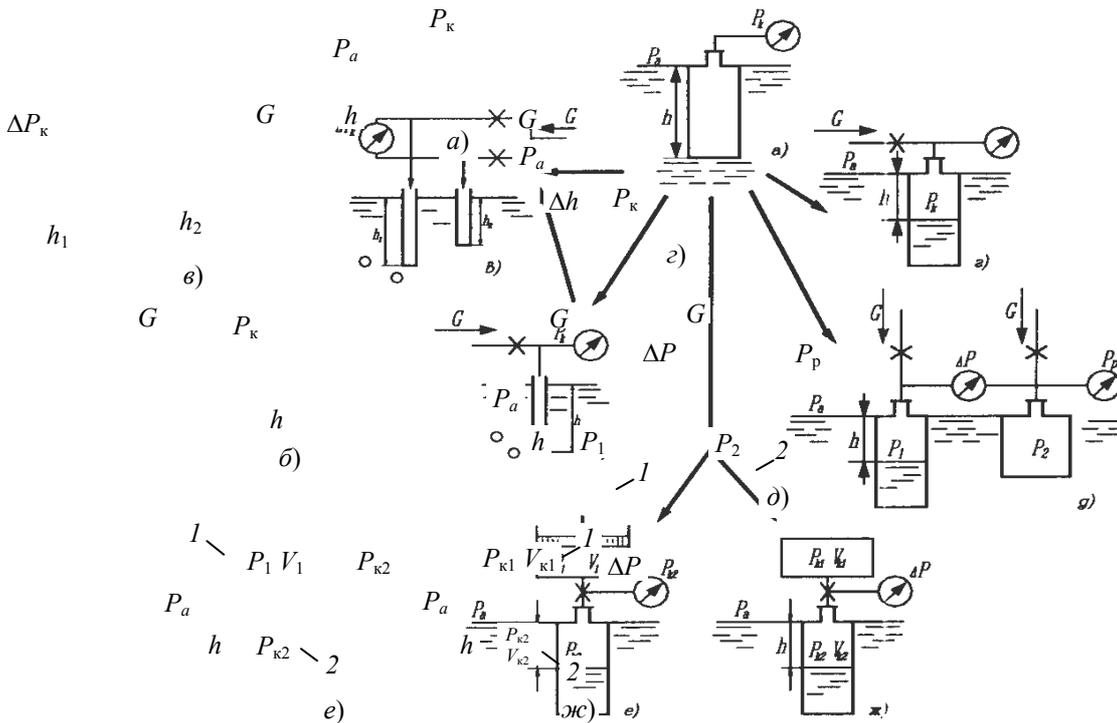


Рис. 1 Эволюция пневмометрических методов контроля плотности жидкости

Достоинство колокольного метода – простота. Однако на точность измерения существенное влияние оказывает то, что воздух, размещенный под колоколом, растворяется в контролируемой жидкости; возможны утечки газа; не учитывается сжимаемость воздуха. Указанные причины приводят к изменению уровня жидкости под колоколом, вследствие чего давление P_k уменьшится и будет равно $P_k = \rho_{ж} g(H - \Delta H) + P_a$. Для исключения влияния указанных факторов требуется введение дополнительного источника воздуха.

Первым шагом развития пневматических методов измерения плотности стал переход к барботажному методу (рис. 1, б). На вход погруженной в жидкость трубки подается газ, который в виде пузырьков поступает в жидкость. Давление газа в трубке P_k определяется различными параметрами: давление над поверхностью жидкости P_a , поверхностное натяжение жидкости σ , гидростатическое давление P_r :

$$P_k = P_r + P_a + \frac{2\sigma}{r}, \quad (1)$$

где r – радиус барботажной трубки; $P_r = \rho_{ж} gh$; h – глубина погружения трубки.

Для исключения влияния поверхностного натяжения σ на P_k необходимо увеличить диаметр барботажной трубки.

При реализации колокольного и барботажного методов на результат измерения оказывает влияние колебание уровня контролируемой жидкости и изменение давления P_a над ее поверхностью. Если постоянство этих величин не может быть обеспечено, используют дифференциальный пневмометрический метод контроля (рис. 1, в), согласно которому

$$\Delta P_k = \rho_{ж} g(h_1 - h_2),$$

где ΔP_k – разность давлений в барботажных трубках, погруженных на глубину h_1 и h_2 .

Барботажный метод, несмотря на очевидные достоинства, имеет и ряд недостатков. При увеличении диаметра трубки пузырьки газа, выходящего из нее будут иметь большой диаметр. Надежность такой системы будет невысокой, так как метод предполагает погружение барботажной трубки на посто-

янную глубину, а в данном случае глубина h будет складываться из длины трубки l и величины h' , изменяющейся в пределах от 0 до диаметра пузырьков газа.

Контроль плотности в средах с повышенной вязкостью имеет сложности, так как продувка жидкости газом искажает показания плотномера из-за насыщения жидкости газом и приводит к загрязнению контролируемого вещества пузырьками газа.

Недостатки колокольного и барботажного методов исключены в импульсном пневмодинамическом методе (рис. 1, z), в котором о плотности судят по времени t_1 изменения уровня контролируемой жидкости в трубке на $\Delta h = h_2 - h_1 = \text{const}$ при подаче газа с постоянным расходом G и температурой T :

$$\rho_{\text{ж}} = \frac{t_1 G R T - P_a S (h_2 - h_1)}{S g (h_2^2 - h_1^2)}, \quad (2)$$

где S – площадь сечения трубки; R – универсальная газовая постоянная.

Как видно из (2), на результат измерений оказывает влияние непостоянство G , T , P_a , поэтому следующий этап развития должен состоять в создании методов, исключаящих отрицательное влияние указанных неконтролируемых величин.

Решить задачу уменьшения методической погрешности на точность измерения плотности можно путем использования пневмометрического метода с составным измерительным элементом (рис. 1, d).

Равновесное давление в измерительном элементе $P_p = P_1 = P_2$ является мерой плотности $\rho_{\text{ж}}$, т.е.

$$\rho_{\text{ж}} = \frac{S_1}{V_2 g} (P_p - P_a), \quad (3)$$

где S_1 – площадь сечения измерительной емкости I ; V_2 – объем емкости 2 постоянного объема.

Таким образом, как видно из (3) равновесное давление P_p пропорционально плотности жидкости $\rho_{\text{ж}}$ и не зависит от температуры T .

Выполнение основного условия реализации метода – постоянства соотношений расходов газа, поступающего на входы измерительного элемента – представляет собой сложную техническую задачу.

Дальнейшее развитие пневмометрических методов пошло по пути исключения влияния расхода на результат измерения.

Если измерительный элемент выполнить в виде двух последовательно соединенных емкостей I и 2 (рис. 1, e) и объем одной емкости I изменять от V_1 до 0, то при этом за счет вытеснения газа из емкости I по дросселю α происходит вытеснение жидкости из емкости 2 , погруженной на постоянную глубину H , сопровождаемое изменением давления $P_{\text{к}2}$, при этом

$$\rho_{\text{ж}} = (P_{\text{к}2}^2 - 2P_{\text{к}2} P_a) \frac{S_2}{V_1 P_1 g}, \quad (4)$$

где S_2 – площадь сечения емкости 2 .

При погружении емкости 2 в контролируемую среду на постоянную глубину H и соединении ее через дроссель α с емкостью I постоянного объема $V_{\text{к}1}$, содержащей заданное количество газа (рис. 1, $ж$), давление в общем объеме определяет плотность $\rho_{\text{ж}}$ контролируемой жидкости:

$$\rho_{\text{ж}} = \frac{S_2 (P_{\text{к}2}^{\text{к}} - P_{\text{к}2}^{\text{н}}) (P_{\text{к}2}^{\text{к}} + P_{\text{к}2}^{\text{н}} - P_a)}{V_1 g (P_{\text{к}1}^{\text{н}} - P_{\text{к}2}^{\text{к}})}, \quad (5)$$

где S_2 – площадь сечения емкости 2 ; $P_{\text{к}2}^{\text{н}}$, $P_{\text{к}2}^{\text{к}}$ – начальные и конечные давления в емкости 2 ; $P_{\text{к}1}^{\text{н}}$ – начальное давление в емкости I .

Сравнение пневмометрических методов с переменной емкостью (рис. 1, *е*) и с емкостью постоянно-го объема (рис. 1, *ж*) показывает, что первый менее точен, так как имеет дополнительную погрешность из-за наличия в своем составе механических элементов. В то же время в этом методе плотность определяется только изменением давления $P_{к2}$ в емкости 2, погруженной в контролируемую среду. А во втором методе для определения плотности нужно измерить начальные давления в обеих емкостях, а также давление в общем объеме.

Эволюционный переход к новым методам (рис. 1, *е*, *ж*) не отменяет предыдущих (рис. 1, *а–д*), так как в некоторых случаях целесообразно их использование.

КАФЕДРА "АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ И ПРИБОРЫ"

УДК 66.047

А. Н. Шикунов, Н. Ц. Гатапова, Д. В. Козлов, А. Н. Пахомов

К КИНЕТИКЕ СУШКИ КРИСТАЛЛООБРАЗУЮЩИХ РАСТВОРОВ

Базой для анализа и классификации процессов сушки по методике, используемой в исследованиях школы профессора В.И. Коновалова [1], является образование или вырождение площадок на температурных кинетических кривых. Особенности температурных площадок при сушке влажных пористых материалов, органических растворителей и водных дисперсий показаны в [2–4]. Специальный интерес представляет она при сушке кристаллообразующих растворов, широко применяемой в производстве многих неорганических, органических, пищевых и прочих продуктов. Разработанные ранее физические модельные представления включают: 1) температуру мокрого термометра T_{wb} , являющуюся по своей природе кинетической величиной, определяемой соотношением коэффициентов теплоотдачи α_{wb} и массоотдачи β_{wb} на первой площадке из $q_{wb} = \alpha_{wb} (T_a - T_{wb}) = \beta_{wb} (C_s(T_{wb}) - C_a) r_{wb}$; здесь C_s , C_a – объемная концентрация пара у поверхности при насыщении и во внешней среде соответственно; 2) термодинамическую по природе температуру адиабатического насыщения T_{as} , определяемую из баланса как $T_{as} = T_a - (r_{as} (x_{as} - x_a) / (c_g + c_p x_a))$, где x_{as} , x_a – влагосодержания при насыщении и в среде в расчете на сухой газ; c_g , c_p – массовые энтальпии сухого газа и пара; 3) температуру плавления (замерзания) T_m и 4) температуру кипения T_b , которые являются физическими свойствами вещества. Принципиальными особенностями сушки растворов, которые ранее в расчетах не учитывались, являются: 1) наличие предельной концентрации насыщения раствора x_{ss} , зависящей от температуры жидкости; в тонких слоях и при наличии достаточно большого числа центров кристаллизации пересыщением можно пренебречь; таким образом, при достижении концентрации x_{ss} на подложке будут образовываться кристаллы, а концентрация раствора в процессе сушки будет меняться в соответствии с зависимостью $x_{ss}(T)$; 2) изменение давления паров над раствором p_p по сравнению с чистой жидкостью и базовых температур для растворов – адиабатического насыщения T_{as} , плавления T_m и кипения T_b . Изменяются также теплофизические свойства растворов, влияющие на кинетику сушки.

Эксперименты проводились по отработанной на кафедре ПАХТ ТГТУ методике. На специальную рамку с образцом (твердая монолитная или сетчатая подложка) наносилась жидкая дисперсия, затем эту рамку помещали параллельно потоку горячего воздуха в большую циркуляционную сушилку (БЦС), где состав обезвоживался до постоянного веса. Перед процессом сушки и после него образец с исследуемой дисперсией взвешивался на электронных весах. Во время сушки при помощи электронных весов снимались температурная и влажностная кривые с записью на приборах типа КСП-4. Подложки размером 45 × 35 мм были изготовлены из фторопласта, алюминия и капроновой сетки. Термопара (ХК, $d = 0,15$ мм) крепилась по центру подложки. Скорость обдува образца изменялась в пределах 3 ... 11 м/с, температура 80 ... 180 °С. Дисперсии представляли собой коллоидные растворы свекловичного сахара и пищевой поваренной соли в дистиллированной воде; их концентрации изменяли в пределах 10 ... 50 % (по массе на сухой остаток). Одновременно с сушкой проводилось визуальное наблюдение структуры высушенного остатка, его цвета и пр. После экспериментов данные заносились в бланки отчета и обрабатывались на компьютере.

На рис. 1 и 2 приведены все характерные и наблюдаемые типы кинетических кривых: а) с двумя площадками T_{wb} и T_b ; б) с одной площадкой T_{wb} при температурах воздуха ниже $100\text{ }^\circ\text{C}$; в) то же в области $T_a > 100\text{ }^\circ\text{C}$; г) с одной площадкой T_b ; д) и е) с вырождением площадок для температурных областей ниже и выше $100\text{ }^\circ\text{C}$. Во всех случаях, естественно, наблюдается выпадение кристаллов и повышение температур T_{wb} и T_b . Изменения ΔT увеличиваются с увеличением температурной депрессии. Особо большие отклонения должны быть для некоторых солей и щелочей (для сравнения, температуры кипения насыщенных растворов при атмосферном давлении составляют: для органических продуктов – сахара $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ и мочевины (карбамида) $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ – около 120 ; для неорганических веществ – NaCl – 107 , MgCl_2 – около 140 , CaCl_2 – 180 , NH_4NO_3 – 220 , KOH и NaOH – около $300\text{ }^\circ\text{C}$).

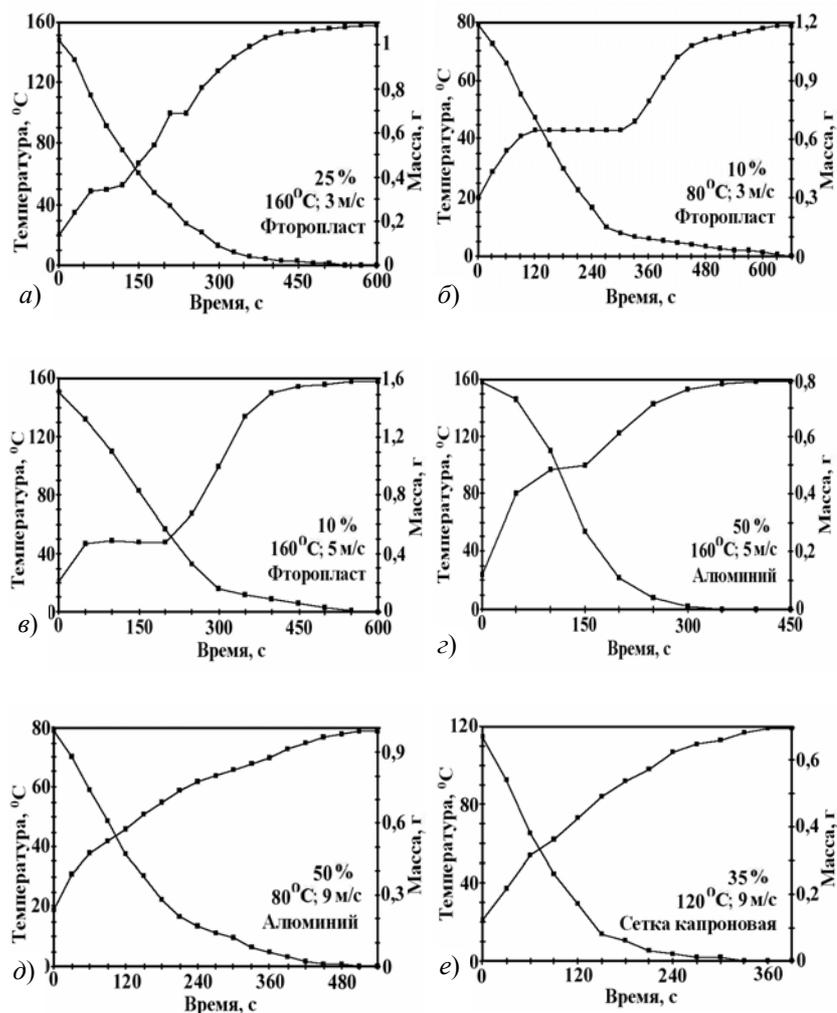


Рис. 1 Примеры экспериментальных температурных и влажностных кривых сушки раствора свекловичного сахара на различных подложках

Как видно из рис. 1, для раствора свекловичного сахара обнаружены все кинетические типы, причем большинство из них выявилось на монолитных подложках, а тип без температурных площадок

при высоких температурах появился при сушке на сетчатой подложке из-за интенсивного испарения влаги с обеих сторон образца (рис. 1, е). Прекращение убыли влаги во всех случаях, примерно, совпадает с достижением слоев температуры сушильного агента. Видно снижение времени сушки при повышении температуры процесса (рис. 1, г, е). Площадки температуры кипения T_b появляются только на монолитных подложках (рис. 1, а, г).

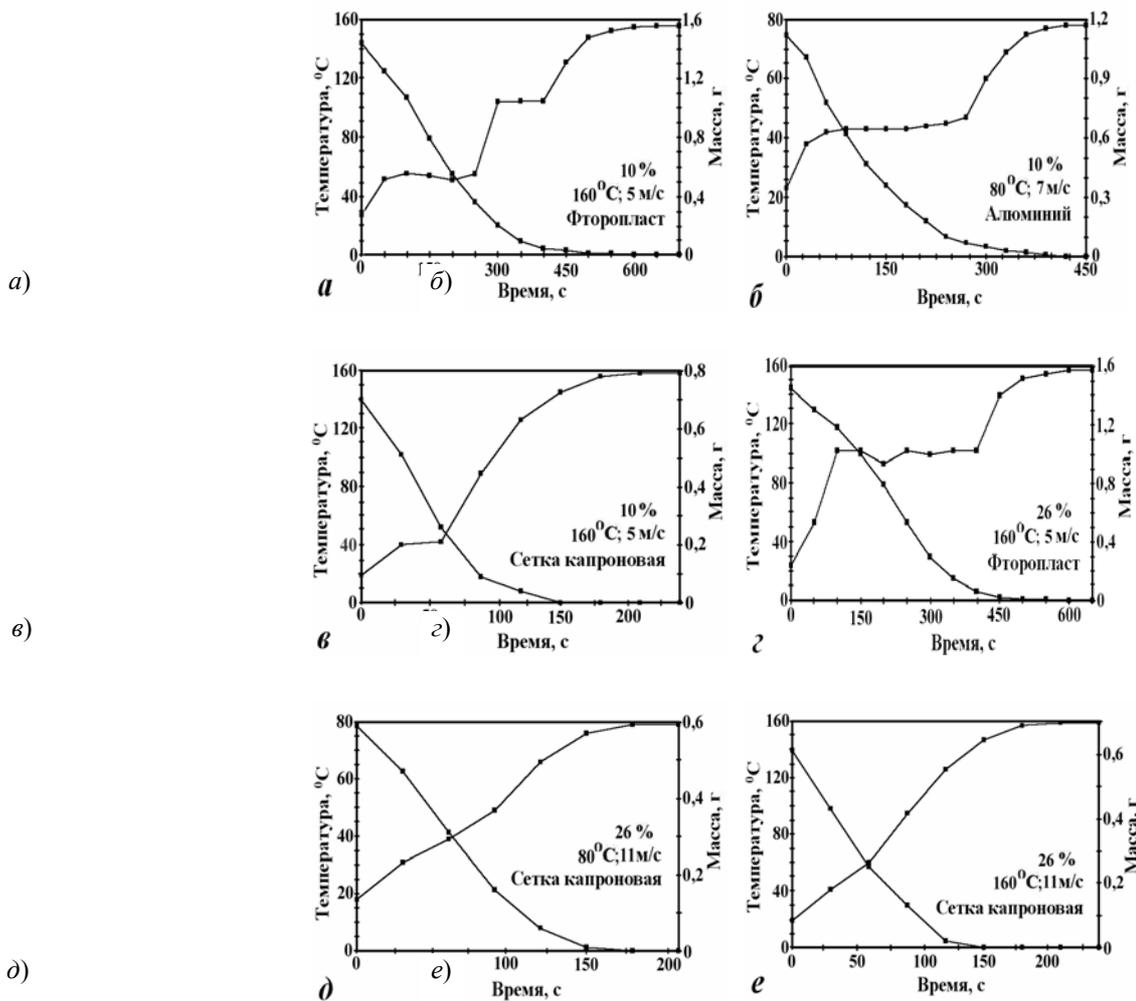


Рис. 2 Примеры экспериментальных температурных и влажностных кривых сушки раствора NaCl на различных подложках

При низких температурах теплоносителя (80 °С) скорость сушки существенно не отличается для разных подложек, даже несмотря на разность концентраций раствора и скоростей обдува (рис. 1, б, д). Быстрее всего раствор сахара обезвоживался на сетчатой подложке, а медленнее – на фторопластовой, что объясняется наихудшей (из трех видов материалов подложек) теплопроводностью фторопласта. Остаток после сушки (кристаллы) имеет полупрозрачный вид, твердый, блестящий, с немногочисленными трещинами (2 ... 6 мм).

На рис. 2 приведены экспериментальные температурные и влажностные кривые сушки раствора пищевой поваренной соли. Здесь также обнаружены все кинетические типы, но половина из них – на сетчатой подложке (рис. 2, в, д, е).

Прекращение убыли влаги также во всех случаях, примерно, совпадает с достижением слоев температуры сушильного агента. Площадки температуры кипения T_b появляются только на монолитных подложках (рис. 2, а, г), причем T_b часто идет с локальными понижениями (из-за интенсивного кипения и прорыва образующихся пузырей). Увеличение скорости обдува и концентрации сказываются на скорости процесса в меньшей степени, чем у раствора сахара. Остаток после обезвоживания бело-прозрачный, плотный, порошкообразный, без трещин и пузырей. Легко смывается с подложки водой и соскабливается.

Физическое описание, математическое моделирование и разработка инженерных методов учета особенностей кинетики сушки кристаллообразующих растворов являются дальнейшими задачами проводимых исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

2 Konovalov V. I., Tugolukov E. N., Gatapova N. Z., Netchaev V. M. Modeling of drying with the application of temperature-time and temperature-moisture relationships // Proc. of the 9th IDS'1994. Australia, Aug. 1-4, 1994. V. A. P. 291-305.

3 Konovalov V. I., Gatapova N. Z. External heat and mass transfer during convective drying and heating // Keynote Lecture. Proc. of the 11-th IDS'1998. Greece, Aug. 19-22, 1998. V. A. P. 23-34.

4 Gatapova N. Z., Shikunov A. N., Utrobin A.N., Konovalov V. I., Pachomov A. N., Leontyeva A. I. Drying kinetics of liquid dispersions from thin organic syntheses on various substrates // Proc. of the 13th IDS'2002. China, Aug. 27-30, 2002. V. A. P. 226-231.

Кафедра "Процессы и аппараты химической технологии"

УДК 66.047

Е. А. Сергеева, А. Б. Мозжухин, Н. Ц. Гатапова

К ВОПРОСУ ОБ ИНЖЕНЕРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ АППРОКСИМАЦИИ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛО-МАССОПЕРЕНОСА В ПРОЦЕССАХ ИСПАРЕНИЯ И СУШКИ

Многие задачи химической технологии требуют для своего решения применения различных схем и возможностей инженерной аппроксимации кинетических характеристик тепло-массообмена.

Конкретные задачи аппроксимации в области сушки, испарения и тепло-массообмена включают, в частности, основные группы характеристик: 1) $u(\tau)$, $T(\tau)$, $T(u)$; 2) $N(\tau)$, $N(u)$, $N(T)$; 3) $\theta(\tau)$, $\theta(u)$, $\theta(T)$, $\theta(N)$;

4) $\alpha(u)$, $\alpha(T)$, $\alpha(\tau)$; 5) $\beta(u)$, $\beta(T)$, $\beta(\tau)$, где u – влагосодержание; T – температура; τ – время; α , β – коэффициенты тепло- и массоотдачи; $N = -du / d\tau$, $\theta = dT / d\tau$ – соответствующие дифференциальные кривые.

Основные используемые аппроксимационные схемы делятся на беспараметрические ("жесткие"), с одним-тремя и (редко) большим числом варьируемых параметров. Чем больше параметров, тем схема универсальнее, но сложнее и менее надежна. Для большого числа научных и инженерных задач особо важными являются наглядные, малопараметрические, возможно более универсальные схемы, в основе которых лежат простые модельные представления о лимитирующих "базовых" характеристиках процесса.

В практике работ кафедры ПАХТ ТГТУ применяются известные и специально разработанные схемы различного типа и сложности в зависимости от вида аппроксимируемой характеристики [1-2]. В частности, для характеристик, имеющих S- или Z-образную форму, была разработана простейшая двухдуговая симметричная схема, удобная для аппроксимации равномерно изменяющихся в зонах второго периода сушки зависимостей $T(u)$ или коэффициентов теплоотдачи $\alpha(u)$ [3]. При более сложном, несимметричном виде этих зависимостей предлагаются два варианта схем: со смещением точки перегиба (А) и с изменением радиусов кривизны аппроксимирующих окружностей (Б).

А Схема со смещением точки перегиба (однопараметрическая). В качестве аппроксимируемой функции для примера выбрана зависимость $\alpha(u)$.

Центры аппроксимирующих окружностей находятся на ординатах; стык – на диагонали (рис. 1). Точка стыка делит диагональ, а также отрезки Δx и Δy в отношении $m : n$.

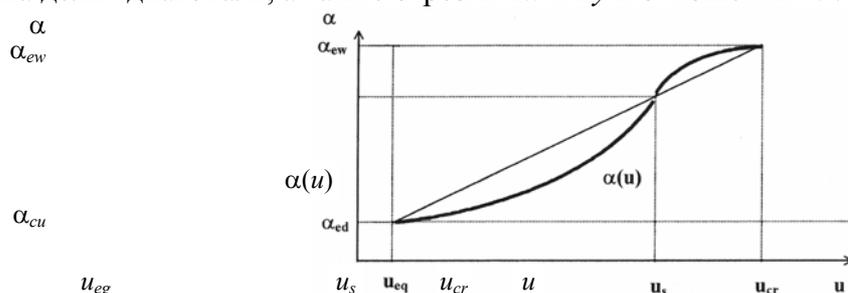


Рис. 1 Аппроксимируемая зависимость $\alpha(u)$

Выбираем для упрощения вывода и анализа $\Delta x = x_2 - x_1 = 1$ и $\Delta y = y_2 - y_1 = 1/\sqrt{3}$. При таком соотношении легко найти коэффициенты аффинного преобразования (при отношении $\Delta x / \Delta y \leq 1$ производная функции $y = y(x)$ будет иметь разрывы).

Центр первой аппроксимирующей окружности находится в точке O' ($0; y_{01}$), центр второй – в точке O'' ($1; y_{02}$), рис. 2.

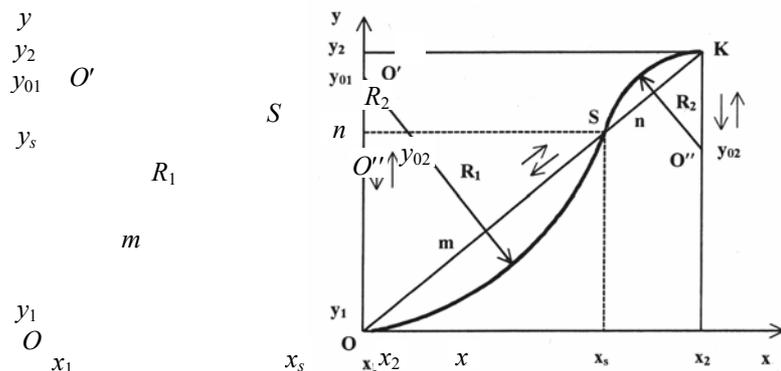


Рис. 2 Аппроксимация по схеме со смещением точки перегиба

Из геометрических соображений определяются радиусы окружностей и координаты их центров:

$$y_{01} = R_1; \quad R_1 = \frac{2m}{\sqrt{3}(m+n)}; \quad y_{02} = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{m-n}{m+n}; \quad R_2 = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{n}{m+n}.$$

Получим множители аффинного преобразования a_y , a_x и формулы перехода от координат $y-x$ к координатам $\alpha-u$. Для произвольной точки на кривой $\alpha(u)$ и соответствующей точки на кривой $y(x)$ имеем:

$$\alpha_y = \frac{\alpha_{ew} - \alpha}{y_2 - y} = \frac{\alpha_{ew} - \alpha_{ed}}{y_2 - y_1} = \sqrt{3} (\alpha_{ew} - \alpha_{ed}); \quad y = \frac{1}{\sqrt{3}} + \frac{\alpha - \alpha_{ew}}{a_y};$$

$$a_x = \frac{u - u_{eq}}{x - x_1} = \frac{u_{cr} - u_{eq}}{x_2 - x_1} = u_{cr} - u_{eq}; \quad x = \frac{u - u_{eq}}{a_x}.$$

Записав уравнения для $y(x)$ в областях $(u_{eq}-u_s)$ и (u_s-u_{cr}) и перейдя к оригиналам, получим аппроксимирующие зависимости для $\alpha(u)$:

- на участке $(u_{eq}-u_s)$

$$\alpha(u) = \alpha_{ew} + a_y \left(\frac{m-n}{\sqrt{3}(m+n)} \sqrt{\frac{4m^2}{3(m+n)^2} - \left(\frac{u - u_{eq}}{a_x} \right)^2} \right);$$

- на участке (u_s-u_{cr})

$$\alpha(u) = \alpha_{ew} - a_y \left(\frac{2n}{\sqrt{3}(m+n)} - \sqrt{\frac{4n^2}{3(m+n)^2} - \left(\frac{u - u_{eq}}{a_x} \right)^2} \right).$$

Рассмотренный вариант имеет тот недостаток, что каждое конкретное отношение $m : n$ однозначно определяет радиусы аппроксимирующих дуг с центрами, расположенными на ординатах.

Б Схема с изменением радиусов аппроксимирующих дуг (двухпараметрическая). Центры аппроксимирующих дуг расположены на перпендикулярах к диагонали, то величины радиусов и, соответственно, кривизну аппроксимирующих дуг можно варьировать. Таким образом, центры аппроксимирующих окружностей находятся на перпендикулярах к диагонали; стык – на диагонали (рис. 3). Точка стыка

делит диагональ в отношении $m : n$. Центр первой аппроксимирующей окружности находится в точке O' ($x_{01}; y_{01}$), центр второй – в точке O'' ($x_{02}; y_{02}$).

Проведя преобразования, аналогичные предыдущим, найдем аппроксимирующие зависимости для $\alpha(u)$:

- на участке ($u_{eq}-u_s$)

$$\alpha(u) = \alpha_{ew} +$$

$$+ a_y \left[y_{01}^2 - \frac{1}{\sqrt{3}} - \sqrt{y_{01}^2 - \left(\frac{u-u_{eq}}{a_x}\right)^2} + \left(\frac{4m}{3(m+n)} - \frac{2}{\sqrt{3}} y_{01}\right) \left(\frac{u-u_{eq}}{a_x}\right) \right].$$

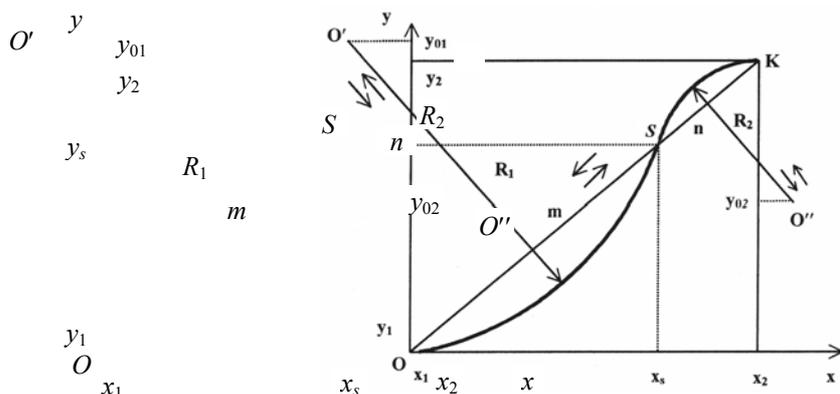


Рис. 3 Аппроксимация по схеме с изменением радиусов окружностей

- на участке (u_s-u_{cr})

$$\alpha(u) = \alpha_{ew} +$$

$$+ a_y \left[y_{02} + \frac{4}{3} + \frac{4}{9} \left(\frac{2m+n}{m+n}\right)^2 - \frac{4}{3} \left(\frac{2m+n}{m+n}\right) - \frac{4}{3\sqrt{3}} \left(\frac{2m+n}{m+n}\right) y_{02} + \right.$$

$$\left. + \frac{4}{3} y_{02}^2 - \left(\frac{2}{3} \frac{2m+n}{m+n} - \frac{y_{02}}{\sqrt{3}} - \frac{u-u_{eq}}{a_x}\right)^2 - \frac{1}{\sqrt{3}} \right]^{1/2}.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Коновалов В.И., Коваль А.М. Пропиточно-сушильное и клеепрома-зочное оборудование. М.: Химия, 1989. 224 с. (См. рецензию в "Drying Technology", An Intern. Journal. 1990, V. 8, N. 1, P. 225–226).

2 Коновалов В. И. и др. Серия статей по расчету сушильных процессов на базе соотношений теплопереноса в ТОХТ 1975 – 1978 гг: 9 (2), С. 203–209; (4), С. 501–510; (6), С. 834–843; 11 (5), С. 769–771; 12 (3), С. 337–346.

3 К расчету внутреннего тепло- и массопереноса и кинетики сушки и нагрева волокнистых материалов / В. И. Коновалов, Е. Н. Туголуков, Н. Ц. Гатапова и др. // Вестник ТГТУ. 1997. Т. 3. № 3. С. 224–236.

Кафедра "Процессы и аппараты химической технологии"

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА
СМЕШЕНИЯ В ОДНОВАЛЬНОМ ЛОПАСТНОМ СМЕСИТЕЛЕ

ОДНИМ ИЗ ВОЗМОЖНЫХ ПУТЕЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СМЕСИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ ЯВЛЯЕТСЯ ПРИМЕНЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ СМЕСИТЕЛЕЙ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ УПОРЯДОЧЕННОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЧАСТИЦ ВНУТРИ КАМЕРЫ СМЕШЕНИЯ, А ТАКЖЕ РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ РЕЖИМНЫХ И КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ДАННЫЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЧАСТИЦ И СТАБИЛЬНОЕ ДОСТИЖЕНИЕ ТРЕБУЕМОГО КАЧЕСТВА СМЕСИ. ВОЗМОЖНОСТЬЮ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ СМЕШЕНИЯ, УНИВЕРСАЛЬНОСТЬЮ, ВЫСОКОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ, БЫСТРОЙ И НЕСЛОЖНОЙ ПЕРЕНАЛАДКОЙ ДЛЯ РАБОТЫ С РАЗЛИЧНЫМИ СЫПУЧИМИ МАТЕРИАЛАМИ ОБЛАДАЮТ ЛОПАСТНЫЕ СМЕСИТЕЛИ.

С ЦЕЛЬЮ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДОВ РАСЧЕТА И КОНСТРУКЦИЙ ЛОПАСТНЫХ СМЕСИТЕЛЕЙ ПРЕДЛОЖЕНО МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА СМЕШЕНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ В ОДНОВАЛЬНОМ ЛОПАСТНОМ СМЕСИТЕЛЕ. ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ЗАМЕНЯЕМ ВСЕ РЯДЫ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СМЕСИТЕЛЯ СООТВЕТСТВУЮЩИМ КОЛИЧЕСТВОМ ЯЧЕЕК СМЕШЕНИЯ (СИСТЕМА СОСТОИТ ИЗ k ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ОБЪЕМОВ (РИС. 1)) [1]. ОСНОВНОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ЧАСТИЦ, ОПРЕДЕЛЯЮЩЕЕ ПРОЦЕСС СМЕШЕНИЯ В ОДНОВАЛЬНОМ

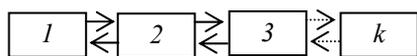


Рис. 1 Схема перемещения материала в одновальном лопастном смесителе

ЛОПАСТНОМ СМЕСИТЕЛЕ, БУДЕМ РАССМАТРИВАТЬ В ОСЕВОМ НАПРАВЛЕНИИ. ЗА ОДИН ПЕРЕХОД БУДЕМ СЧИТАТЬ ТАКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ СИСТЕМЫ, ПРИ КОТОРОМ ЛОПАСТЬ ЛЮБОГО РЯДА РАБОЧИХ ОРГАНОВ (ОТДЕЛЬНО ОДНА ИЛИ ОДНОВРЕМЕННО НЕСКОЛЬКО) ПРИВЕДЕТ К ПЕРЕМЕЩЕНИЮ ЧАСТИЦ МАТЕРИАЛА ИЗ ОДНОГО РЯДА В СОСЕДНИЕ С

НИМ РЯДЫ РАБОЧИХ ОРГАНОВ.

Согласно предложенной частице [2] при движении лопасти поток, обтекающий лопасть, по внешней границе "застойной" поток V_4^* внутри нее. За лопастью соседних рядов – V_6^* , V_8^* . Поток удаления от лопасти и связан с движущейся лопастью. Объем материала, переместившийся в потоках V_1^* и V_3^* из i -го ряда рабочих органов в соседние ряды, можно представить в виде функциональной зависимости

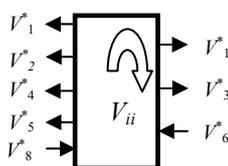


Рис. 2 Схема перемещения

физической модели перераспределения в слое сыпучего материала основной разделяется на потоки V_2^* , V_3^* , V_5^* (рис. 2) зоны, образующейся перед лопастью, и образуются потоки, состоящие из частиц V_1^* состоит из частиц перемещающихся на образовании зоны уплотнения перед потоках (рис. 2) из

$$V_j^* = K_{ij} f(\Gamma_l, \alpha, \Phi, n, \Gamma_{cm}), \quad (1)$$

где K_{ij} – экспериментальные коэффициенты; Γ_l – геометрические параметры лопасти, м; Γ_{cm} – геометрические параметры смесителя, м; Φ – физико-механические свойства смешиваемых компонентов; n – число оборотов вала, мин^{-1} ; α – угол поворота лопасти относительно оси вращения вала, град.; j – номер потока.

Суммарный объем, переместившегося в соседние ряды материала, для рассмотренного случая направления поворота лопасти (рис. 2) определяется по формулам

$$V_{i(i-1)}^m = V_1^* + V_2^* + V_4^* + V_5^*, \quad (2)$$

$$V_{i(i+1)}^m = V_1^* + V_3^*. \quad (3)$$

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. В. Ф. Першина.

Объем материала, оставшийся в ряду после прохождения в нем лопасти

$$V_{ii}^m = V^{1*} - 2V_1^* - V_2^* - V_3^* - V_4^* - V_5^* + V_6^* + V_8^*. \quad (4)$$

Для математического описания используем общеизвестный подход, т.е. состояние системы после m -перехода определяется вектором состояния $E(m)$. Координаты вектора есть концентрация ключевого компонента в элементарном объеме после m -перехода:

$$\begin{aligned} E(1) &= E(0)P_1; \\ E(2) &= E(1)P_2; \\ \dots & \dots \dots \dots \\ E(m) &= E(m-1)P_m. \end{aligned} \quad (5)$$

Для определения вектора состояния была составлена матрица переходных вероятностей

$$P_m = \begin{array}{c} \left| \begin{array}{ccccccc} P_{11} & P_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & P_{32} & P_{33} & P_{34} & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & P_{(k-1)(k-2)} & P_{(k-1)(k-1)} & P_{(k-1)k} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & P_{k(k-1)} & P_{kk} \end{array} \right|. \end{array} \quad (6)$$

За малый промежуток времени Δt , находившаяся в i -й ячейке частица ключевого компонента либо останется в ней, либо перейдет в следующую по направлению потока ячейку.

$$\Delta t_m = \frac{\gamma^m}{360^\circ} \frac{60}{n}, \quad (7)$$

где γ^m – угол между соседними лопастями поочередно участвующими в перемещении в слое материала, град.; n – число оборотов вала, мин⁻¹.

Общее время процесса смешения определяется как сумма малых промежутков времени Δt , в течение которого произошел переход системы из начального в требуемое конечное состояние (от $E(0)$ до $E(m_k)$).

Элементы матрицы переходных вероятностей определяются с учетом объемов переместившегося материала, т.е.

$$P_{i(i+1)} = \frac{V_{i(i+1)}^m}{V_i^{(m-1)}}, \quad (8)$$

$$P_{i(i-1)} = \frac{V_{i(i-1)}^m}{V_i^{(m-1)}}, \quad (9)$$

$$P_{ii} = \frac{V_{ii}^m}{V_i^{(m-1)}}, \quad (10)$$

где $V_{i(i+1)}^m$, $V_{i(i-1)}^m$, V_{ii}^m определяются по формулам (2)–(4).

Зная регламент загрузки исходных компонентов, легко определяется вектор начального состояния, т.е. концентрация ключевого компонента в ячейках в начале процесса смешения.

Если считать каждую ячейку пробой, то вся смесь в смесителе в любой момент времени может быть оценена с помощью известного коэффициента неоднородности, учитывающего первоначальную концентрацию ключевого компонента C_0 , концентрацию ключевого компонента в i -й пробе смеси C_i и ко-

личество проб n_p . Произведя оценку однородности распределения ключевого компонента по ячейкам в произвольные моменты времени, можно получить зависимость $V_c = f(t)$, характеризующую изменение однородности смеси в модели во времени. Достигнув заданного значения однородности, фиксируется значение времени процесса смешения и считается, что система достигла конечного требуемого состояния.

При идентификации параметров математической модели экспериментально определяются коэффициенты K_i с использованием экспериментальных данных переместившихся объемов (V_2^* , V_3^* , V_4^* , V_5^* , V_6^* , V_8^*) для смешиваемых материалов. В результате проверки адекватности математической модели реальному процессу получена удовлетворительная сходимость теоретического и экспериментального времени смешения. С помощью предложенной математической модели определяются оптимальные углы поворота лопастей, которым соответствует минимальное время смешения при заданном качестве смеси.

Предложенная математическая модель позволяет учитывать характерные особенности конструкции однолопастного смесителя и физико-механические свойства смешиваемых материалов, наглядно показывает возможности несложного и быстрого управления процессом смешения и является основой для расчета нового, модернизации существующего смесительного оборудования и прогнозирования качества смеси на промышленных установках [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Макаров Ю. И. Аппараты для смешения сыпучих материалов. М.: Машиностроение, 1973. 216 с.
- 2 Першин В. Ф., Демин О. В. Расчет однолопастного смесителя сыпучих материалов // Тез. докл. XI Междунар. науч.-практ. конф. / ВИМ. М., 2002. Т. 142. Ч. 2. С. 18–23.

Кафедра "Прикладная механика и сопротивление материалов"

УДК 66.028

*Д. К. КАЛЯПИН, А. А. ОСИПОВ, С. В. БАРЫШНИКОВА**

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДВУХСТАДИЙНОГО ДОЗИРОВАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

РАНЕЕ ПРЕДЛОЖЕНА КОНСТРУКЦИЯ ВИБРАЦИОННОГО ПИТАТЕЛЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ДВУХСТАДИЙНОГО НЕПРЕРЫВНОГО ДОЗИРОВАНИЯ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА [1]. РАЗРАБОТАНА МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ПОРЦИЙ В НЕПРЕРЫВНЫЙ ПОТОК. СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ТОЧНОСТИ ДОЗАТОРА ПО ПРЕДЛОЖЕННОЙ МОДЕЛИ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ДАННЫМИ ПОКАЗАЛО, ЧТО МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АДЕКВАТНО ОПИСЫВАЕТ РЕАЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС ПРИ ОТСУТСТВИИ КОЛЕБАНИЙ ВДОЛЬ НАКЛОННОЙ ПЛАСТИНЫ. ПРИ НАЛИЧИИ УКАЗАННЫХ КОЛЕБАНИЙ РАСХОЖДЕНИЯ МЕЖДУ РАСЧЕТНЫМИ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ЗНАЧЕНИЯМИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ, ОПРЕДЕЛЯЕМОЙ ЗА КОРОТКИЕ (МЕНЬШЕ, ЧЕМ Δt) ПРОМЕЖУТКИ ВРЕМЕНИ, ДОСТИГАЛИ 20 ... 30 %.

Визуальные наблюдения, а также результаты анализа видеосъемки позволили сделать вывод о наличии движения части материала вверх по наклонному вибрирующему лотку, при определенных значениях режимных параметров.

РАССМОТРИМ РАВНОВЕСИЕ ТВЕРДОГО ТЕЛА НА НАКЛОННОЙ ПОВЕРХНОСТИ СОВЕРШАЮЩЕЙ КОЛЕБАНИЯ В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ (РИС. 1).

На тело действует сила веса mg и сила инерции $P_{ин}$. Уравнение равновесия тела на наклонной плоскости имеет вид

$$mg \sin \alpha_{л} = f_{тр.д} m g \cos \alpha_{л} + m \omega^2 A \sin \alpha_{л} + f_{тр.д} m \omega^2 A \cos \alpha_{л}, \quad (1)$$

* Работа выполнена под руководством проф. В. Ф. Першина

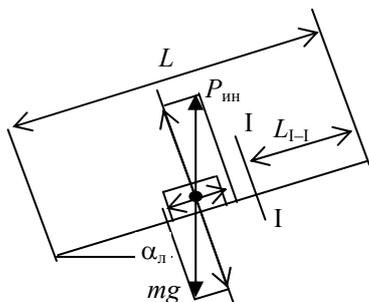


Рис. 1 Схема действия сил

где g – ускорение свободного падения; $f_{тр. д}$ – коэффициент трения движения тела по поверхности вибрирующего лотка; ω , A – соответственно, частота и амплитуда колебаний.

При выполнении данного равенства тело будет находиться в состоянии равновесия, т.е. его ускорение равно нулю. Если левая часть больше правой, то тело будет ускоренно двигаться вниз, а если правая часть больше левой, то – вверх. При постоянной частоте колебаний и неизменном угле наклона пластины к горизонту, выполнение равенства (1) для конкретного материала зависит только от амплитуды колебаний. Поскольку в данной конструкции один край пластины шарнирно закреплен, амплитуда колебаний изменяется линейно по длине лотка. Максимальная амплитуда колебаний на загрузочном краю, а минимальная – на разгрузочном. Учитывая, что частота колебаний переменного тока равна 50 с^{-1} , в дальнейших исследованиях именно с этой частотой осуществлялись колебания лотка. Численное значение амплитуды $A_{кр}$ колебаний в сечении I–I при котором выполняется равенство (1), можно определить следующим образом:

$$A_{кр} = (\sin \alpha_{л} - f_{тр. д} \cos \alpha_{л}) / [\omega^2 (\sin \alpha_{л} + f_{тр. д} \cos \alpha_{л}) / g].$$

Амплитуду колебаний в сечении I–I можно выразить через амплитуду верхнего края лотка $A_{вх}$:

$$A_{I-I} = A_{вх} L_{I-I} / L.$$

В процессе проведения экспериментов установлено, что если в некотором сечении I–I на расстоянии L_{I-I} от загрузочного края, выполняется равенство (1), то после загрузки порции материала в лоток, часть материала, находящегося выше сечения I–I совершает сложное движение. Часть этого материала, находящаяся ближе к поверхности лотка, движется вверх, а другая часть материала, находящаяся ближе к открытой поверхности движется вниз. В результате этого образуется циркуляционный контур, объем которого уменьшается по мере пересечения частицами, движущимися по открытой поверхности, сечения I–I

(рис. 2). Материал, который после загрузки порции располагался ниже сечения I–I движется все время вниз. При загрузке отдельных порций через равные промежутки времени, часть материала задерживается в верхней части лотка. Таким образом, циркуляционный контур способствует более равномерному распределению сыпучего материала по длине вибрирующего лотка и, в конечном итоге, уменьшает отклонения производительности на выходе из дозатора от ее среднего значения.

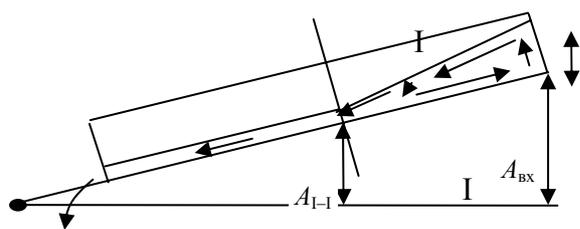


РИС. 2 СХЕМА ДВИЖЕНИЯ МАТЕРИАЛА НА ВИБРИРУЮЩЕМ ЛОТКЕ

В математическую модель процесса преобразования отдельных порций материала в непрерывный поток [1] внесены соответствующие дополнения, учитывающие наличие потока материала, движущегося от разгрузочного края к загрузочному. Основная проблема использования модернизированной модели заключается в расчете критической амплитуды колебаний по формуле (1), поскольку нет достоверной информации о значении коэффициента трения движения сыпучего материала, находящегося на вибрирующем лотке.

Результаты экспериментальных исследований показали, что для практических целей можно использовать следующую последовательность расчетов. Для некоторого сечения I–I экспериментально определяется значение амплитуды $A_{вх}$, при котором выполняется равенство (1), т.е. визуально наблюдается движение материала вверх и вниз от данного сечения. Из равенства (1) рассчитывается численное значение коэффициента трения, которое используется при оптимизации режимных и геометрических параметров вибрационного дозатора.

Экспериментально реализованы три разных режима преобразования отдельных порций материала в непрерывный поток при постоянной производительности дозатора $G = \Delta P / \Delta T = 1 \text{ г} \cdot \text{с}^{-1}$.

При реализации первого режима амплитуда колебаний лотка и угол его наклона к горизонту выбраны такими, чтобы в момент подачи очередной порции материала на лоток, на нем не оставался материал от предыдущей порции. В данном случае точность дозирования при отборе проб в промежутки времени ΔT между подачей порций была равна точности порционного дозирования. Изменение производительности дозатора в промежутке времени ΔT при отборе проб в течение пяти секунд показано на рис. 3, а.

При реализации второго режима вибрация осуществлялась в направлении перпендикулярном к оси лотка, и весь материал двигался вниз по лотку. С использованием математической модели, представленной в работе [1] рассчитаны амплитуда колебаний и угол наклона лотка к горизонту, при которых отклонения производительности от среднего значения были минимальны (рис. 3, б). Следует отметить, что точность дозирования при отборе проб в течение ΔT снизилась, по сравнению с первым режимом, но точность дозирования при отборе проб в течение пяти секунд повысилась.

При реализации третьего режима, вибрация осуществлялась в вертикальном направлении и обеспечивалось движение материала вверх и вниз по лотку. С использованием модернизированной математической модели рассчитаны амплитуда колебаний и угол наклона лотка к горизонту при которых равномерность непрерывного потока была максимальной (рис. 3, в). По сравнению со вторым режимом существенно повысилась точность дозирования при отборе проб за пять секунд, при незначительном снижении точности при отборе проб в течение ΔT .

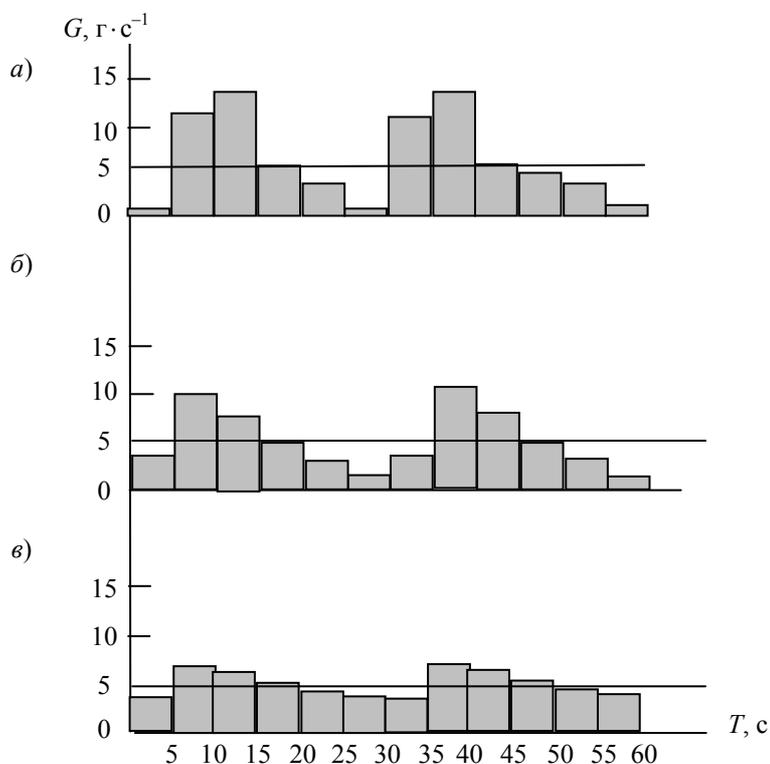


Рис. 3 Диаграммы изменения производительности дозатора

Очевидно, что первый режим не может быть использован для непрерывного дозирования, поскольку практически невозможно обеспечить поток, в котором не будет разрывов между отдельными порциями, и в то же время, не будет наложения материала одной порции на материал другой порции.

Выбор между вторым и третьим режимами определяется требованиями к точности непрерывного дозирования за различные промежутки времени.

И. В. Шашков, М. В. Соколов

СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ ПРИ ЭКСТРУЗИИ РЕЗИНО- ВОЙ СМЕСИ

В работах [1, 2] изложена математическая модель процесса экструзии резиновых смесей в червячной машине при условии получения экструдата с гарантированным качеством.

Для проверки адекватности этой математической модели спроектирована и изготовлена специальная экспериментальная установка (ЭУ) [2], представляющая собой червячную машину с диаметром червяка $D = 0,032$ м, отношением длины нарезки к диаметру $L / D = 10$, углом наклона его нарезки $\varphi = 17^\circ$, глубиной винтового канала $h = 0,003 \dots 0,007$ м, шириной гребня $e = 0,0035$ м, зазором между гребнем червяка и внутренней поверхностью материального цилиндра $\delta = 0,001$ м. Вращение червяка машины происходит от электродвигателя постоянного тока с возможностью регулирования угловой скорости его в пределах $\omega = 0 \dots 7,85$ с⁻¹. ЭУ снабжена системой термостатирования цилиндра, червяка, формующей головки, которая включает термостат, снабженный термопарой и приборами регулирования и контроля температуры теплоносителя (воды). В цилиндре установлена термопара для измерения температуры резиновой смеси. Формующая головка снабжена датчиком давления и термопарой для измерения давления и температуры резиновой смеси на выходе из канала нарезки червяка, соответственно. Управление ЭУ осуществляется с пульта управления. На щите расположены: амперметр – для измерения потребляемого тока в цепи якоря электродвигателя; вольтметр – для измерения потребляемого напряжения.

Измерение потребляемой мощности ЭУ проводили с помощью вольт-амперной характеристики:

$$N = N_{\text{дв}} - N_{\text{хх}}; \quad N_{\text{дв}} = I_{\text{н}} U; \quad N_{\text{хх}} = I_{\text{хх}} U,$$

где N – технологическая мощность, расходуемая на процесс экструзии, Вт; $N_{\text{дв}}$, $N_{\text{хх}}$ – мощность, потребляемая двигателем, и холостого хода двигателя привода червяка, Вт; $I_{\text{хх}}$, $I_{\text{н}}$ – ток холостого хода и нагрузки двигателя, А; U – напряжение на обмотках двигателя, В.

С целью исключения ошибок измерения технологической мощности электрическим методом проводились экспериментальные исследования на установке типа "мотор-весы" (рис 1), состоящей из цилиндра 1 установленного в подшипники 3, 4, 5, с размещенным в нем червяком диаметром $D = 0,06$ м, углом наклона нарезки $\varphi = 0,003 \dots 0,008$ м, шириной червяка и внутренней поверхности цилиндра $\delta = 0,001$ м, глубиной винтового канала $h = 0,003 \dots 0,008$ м, шириной гребня $e = 0,006$ м, зазором между гребнем поверхности материального цилиндра δ и червяком 2 с возможностью изменения угловой скорости в пределах $\omega = 0 \dots 12,56$ с⁻¹.

При вращении передается резиновой отклоняться вокруг

Технологическая

$$N = M_{\text{кр}} \varphi,$$

где $M_{\text{кр}} = Pr$ – крутящий момент на червяке, замеряемый экспериментально, Н · м; $\varphi = 2\pi n$ – угловое перемещение ротора "мотор-весов" за время эксперимента; n – число оборотов червяка, об · с⁻¹.

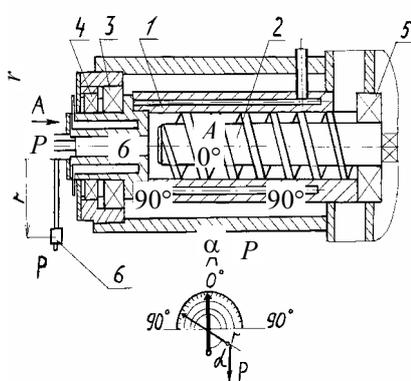


Рис. 1 Экспериментальная установка для определения мощности привода червяка механическим методом:

1 – цилиндр; 2 – червяк;

3, 4, 5 – подшипники; 6 – груз

17°, глубиной винтового канала $h = 0,003 \dots 0,008$ м, шириной гребня $e = 0,006$ м, зазором между гребнем поверхностью материального цилиндра δ и червяком 2 с возможностью изменения угловой скорости в пределах $\omega = 0 \dots 12,56$ с⁻¹.

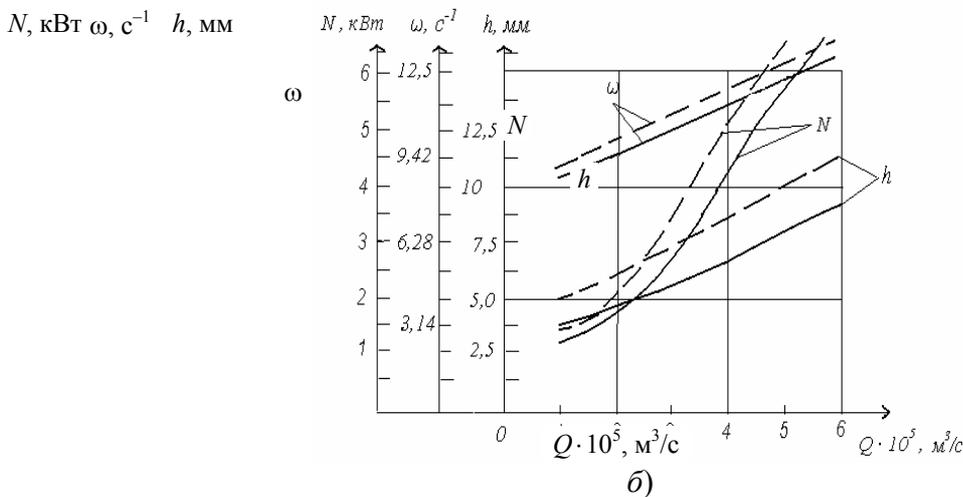
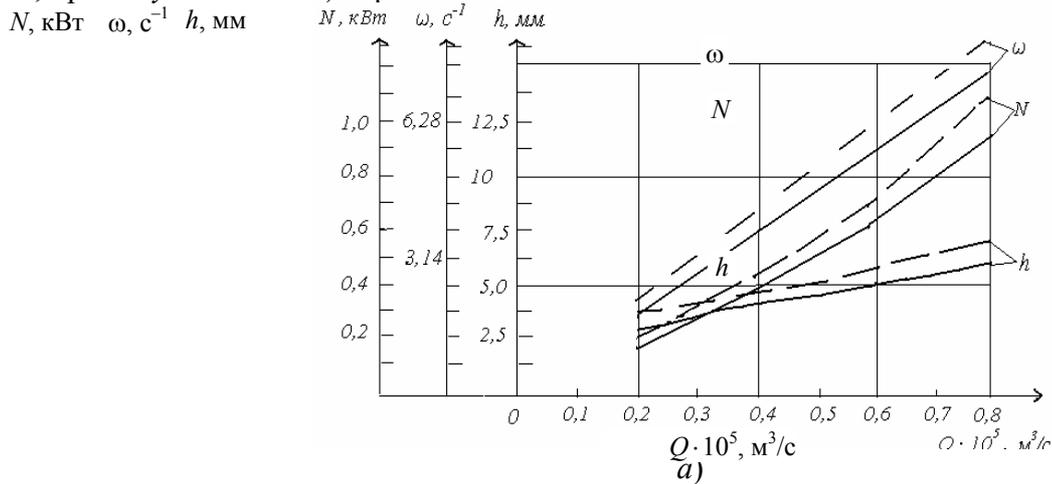
червяка 2 момент сопротивления смесью на цилиндр 1 и заставляет его своей оси на некоторый угол α .

мощность рассчитывается по уравнению

Для измерения крутящего момента на валу червяка использован способ установки корпуса червячного цилиндра l в подшипники 3, 4, 5 (так называемое устройство "мотор-весы"). Величина реактивного момента корпуса цилиндра может быть определена по рис. 1 (вид А): где P – вес груза, H ; r – длина стержня рычага, м.

Адекватность решения задачи оптимизации процесса и оборудования экструзии резиновых смесей, позволяющей определять оптимальные технологические и конструктивные параметры процесса экструзии и червячного оборудования с учетом минимизации технологической мощности и получения качественного экструдата, также проверялась с помощью экспериментальных исследований на опытных установках.

Для трех червяков одного и того же диаметра, но разной глубины винтового канала получены зависимости критерия оптимизации (технологической мощности) от величины расхода при заданном давлении и перепаде температуры (рис. 2), а также ограничения на качество экструдата ($JB < 0,5 \%$) и прочность материала ($\sigma_{\text{ЭКВ}} \leq 320$ МПа, прогиб $y \leq 5 \cdot 10^{-4}$ м) червяка.



**Рис. 2 Сравнение экспериментальных (- - -) и теоретических (---) значений технологической мощности N и оптимальных параметров h, ω при различной производительности Q для $\Delta P = 10$ МПа, $\Delta T_{\text{см. вых}} = 60 \dots 80$ °С:
а – электрический метод; б – механический метод**

АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ (РИС. 2) ПОКАЗАЛ ИХ РАСХОЖДЕНИЕ НЕ БОЛЕЕ 14 %, ЧТО ПОДТВЕРЖДАЕТ АДЕКВАТНОСТЬ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ЭКСТРУЗИИ РЕАЛЬНОМУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ ПРОЦЕССУ, ПРАВИЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕННОГО МЕТОДА ОПТИМИЗАЦИИ (МСД) И ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЧЕРВЯЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Клинков А. С., Соколов М. В., Кочетов В. И. Определение оптимальных технологических и конструктивных параметров червячных машин для переработки эластомеров // Химическое и нефтегазовое машиностроение. М., 2000. № 8. С. 15–16.

2 Соколов М. В. Исследование и оптимизация процесса и оборудования экструзии резиновых смесей // Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Тамбов, 2001. 16 с.

КАФЕДРА "ПОЛИМЕРНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ"

УДК 678.053.3

С.П. ХРУЩЕВ, М.П. БЕЛЯЕВ

КОНСТРУКЦИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ КАМЕРЫ НАБУХАНИЯ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Известно, что использование в технологическом процессе производства высоковязких клеевых композиций стадии предварительного набухания каучуков и резиновых смесей позволяет значительно сократить время приготовления клея, снизить энергозатраты и увеличить производительность установки [1].

Ранее на кафедре "Полимерное машиностроение" ТГТУ разработана камера набухания периодического действия, представляющая собой емкость с ворошителем, в которую загружается каучук или резиновая смесь и растворитель. По истечении заданного времени набухшая масса подавалась в загрузочную зону двухшнекового смесителя. В процессе клееприготовления по непрерывной схеме использовались две камеры набухания, работа которых осуществлялась поочередно [2]. Экспериментально доказано, что работа камер набухания периодического действия имеет ряд существенных недостатков, которые влияют на стабильность качества получаемого клея и производительность смесительной установки. Это, прежде всего, значительные пульсации набухшей массы, вследствие ее зависания в загрузочном бункере смесителя, а также налипание массы каучука на стенки камеры и ворошителя. Все это сказывалось в конечном итоге на качестве готового клея.

ДЛЯ УСТРАНЕНИЯ ЭТИХ НЕДОСТАТКОВ РАЗРАБОТАНА И ИЗГОТОВЛЕНА КАМЕРА НАБУХАНИЯ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ, КОТОРАЯ ПРЕДСТАВЛЯЕТ СОБОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИЙ ЦИЛИНДР 2 С ВХОДНЫМ БУНКЕРОМ 3 И ВЫХОДНЫМ ПАТРУБКОМ 4, ВНУТРИ КОТОРОГО ВРАЩАЕТСЯ ТРАНСПОРТИРУЮЩИЙ ЧЕРВЯК 1 (РИС. 1).

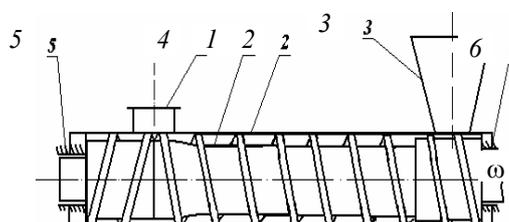


Рис. 1 Шнековая

камера набухания:

1 – составной червяк;

2 – цилиндр;

3 – загрузочный бун-

кер;

4 – выходное отвер-

стие;

Привод червяка осуществляется от электродвигателя АОЛ 11/4, мощностью 0,5 кВт и встроенного в него вариатора через одноступенчатый червячный редуктор. Мотор-вариатор позволяет в широком диапазоне изменять число оборотов червяка, которое определяет время нахождения гранулированного каучука или резиновой крошки, что, в свою очередь, сказывается на времени набухания гранул.

Внутрь корпуса подается растворитель (бензин, этилацетат, ацетон и др.). Для предотвращения вытекания бензина через подшипниковые узлы 5 и 6 в корпусе камеры набухания предусмотрено сальниковое уплотнение. Для проведения эксперимента были взяты следующие исходные материалы и приспособления: натуральный каучук (время пластикации 1 мин); бензин – растворитель; бюксы для взятия и хранения проб набухших гранул каучука; сушильный шкаф с вакуум-насосом поддерживающим разрежение (до 0,07 МПа) в закрытом шкафу; емкость стеклянная, закрывающаяся для статического набухания; аналитические весы (с точностью измерения до $1 \cdot 10^{-4}$ г).

Проведены сравнительные экспериментальные исследования процесса набухания при различных технологических режимах в периодической и шнековой камере набухания с целью определения оптимального времени, при котором достигается заданная степень набухания.

Для проведения экспериментов в периодической камере набухания предварительно обработанный на вальцах и измельченный каучук помещался в камеру набухания, в которую заливалась заданная порция растворителя. На навеску каучука массой 90 г заливалось 750 мл нефраса "С", который при времени набухания за два часа полностью поглощался каучуком, при этом степень набухания $\alpha = 6$, где α определяется по соотношению

$$\alpha = \frac{m - m_0}{m_0},$$

где m – навеска набухшего каучука; m_0 – навеска сухого остатка.

Образцы гранул каучука для набухания имеют форму пластинок с размерами $3 \times 3 \times 2$ мм.

Одновременно с постановкой опыта в статике гранулы каучука тех же размеров и такой же массы загружали в шнековую камеру предварительного набухания. Для камеры набухания выбирали число оборотов вращения червяка и определяли время нахождения гранул каучука внутри камеры.

Таким образом, гранулы каучука, загруженные одновременно и в емкость (статические условия) и в шнековую камеру, проходят процесс набухания за время, величину которого определяли временем выхода гранул из шнековой камеры набухания. После прохождения гранул через камеру набухания измеряли время набухания, отбирали пробы в бюксы из камеры и из емкости.

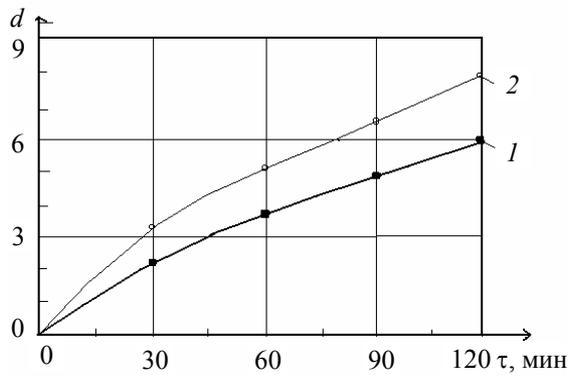
По описанной методике исследования проводили ряд опытов с различным временем нахождения гранул в шнековой камере, для выявления характера зависимости степени набухания от числа оборотов червяка.

Пробы в бюксах взвешивали, после чего в открытом виде помещали в термический шкаф, где поддерживалась постоянная температура 60 °С и создавалась с помощью насоса вакуум до 0,07 МПа. Через определенные интервалы времени (30, 60, 120 мин и т.д. до полного высушивания) пробы из шкафа изымались и взвешивались. Выпаривание в шкафу проводилось до постоянной массы. По сухому остатку и массе взятой пробы набухших гранул определили степень набухания.

По результатам экспериментальных исследований построена графическая зависимость степени набухания от времени (рис. 2).

Рис. 2 Кинетические кривые набухания натурального каучука в нефрасе "С":

1 – в периодической камере;
2 – в шнековой камере



На основании проведенных исследований можно сделать следующие обобщающие выводы:

- применение шнековой камеры набухания непрерывного действия позволяет стабилизировать процесс загрузки смесителя непрерывного действия в отличие от периодической камеры набухания;

- **ВРЕМЯ ДОСТИЖЕНИЯ НЕОБХОДИМОЙ СТЕПЕНИ НАБУХАНИЯ КАУЧУКА В КИНЕТИКЕ ДОСТИГАЕТСЯ В 1,5 РАЗА БЫСТРЕЕ.**

Использование камеры шнекового типа позволяет осуществлять технологические процессы производства высоковязких клеевых композиций как по периодическому, так и по непрерывному режимам с высокой производительностью и качеством получаемого клея.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Белозеров Н. В. Технология резины. М.: Химия. 1967. 660 с.
- 2 Исследование процесса приготовления высоковязких композиций и разработка конструкций смесителя непрерывного действия. Отчет НИР / О. Г. Маликов, В. А. Муравьев, С. Н. Хабаров, С. П. Хрущев; ВНИИРТмаш. Тамбов, 1990. С. 90.

Кафедра "Полимерное машиностроение"

УДК 677.46.021.97.677.554

Н. В. Амелина, М. В. Соколов

ДВИЖЕНИЕ ЛАТЕКСНЫХ НИТЕЙ В ВАННАХ ПРОМЫВКИ

В технологической цепочке изготовления резиновых нитей из латекса методом выдавливания после ванны коагуляции предусматривается их вытяжка и промывка. Вытяжка позволяет регулировать величину поперечного сечения нити, получать более качественные нити при уменьшении расхода латекса.

После выхода из ванны коагуляции нить в виде латексного геля можно представить материалом, обладающим вязко-упругими свойствами [1–5], характерными, например, для модели Кельвина-Фогта. В соответствии с этой моделью напряжение, возникающее в нити при вытяжке

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2, \quad (1)$$

где σ_1 и σ_2 – напряжения, возникающие в упругом и вязком элементе, соответственно:

$$\sigma_1 = E\varepsilon, \quad \sigma_2 = \mu \frac{d\varepsilon}{d\tau}, \quad (2)$$

где E – модуль упругости; ε – деформация; μ – вязкость; $\frac{d\varepsilon}{d\tau}$ – скорость деформации сдвига.

Деформация нити при работе валков натяжения

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l}, \quad (3)$$

где $l = \pi D_2 n_2$ – длина нити, проходящей через второй валок; $l_0 = \pi D_1 n_1$ – длина нити, проходящей через первый валок; D_1, D_2, n_1, n_2 – соответственно, диаметры и числа оборотов первого и второго валков.

Подставим все значения величин в формулу (1) и проинтегрируем в пределах от нуля до τ , где τ – время промывки в ванне [6]. Получим выражение для напряжения в нити

$$\sigma = \frac{E \left(\frac{D_2 n_2}{D_1 n_1} - 1 \right)}{1 - \exp \left(-\frac{E\tau}{\mu} \right)} \leq \sigma_{\text{доп}} . \quad (4)$$

Уравнение (4) описывает напряженное состояние латексной нити при вытяжке и может быть использовано для расчета конструктивных и эксплуатационных параметров узла вытяжки в зависимости от допускаемого напряжения в геле применяемой латексной смеси. На рис. 1 представлены графические зависимости, просчитанные по уравнению (4).

Промывка нитей от мономера, уксусной кислоты и др. представляет по своей физической природе водный синерезис геля. При промывке гель уплотняется, сечение нити уменьшается и повышается ее прочность. Рассмотрим закономерность изменения радиуса нити при промывке как показано на рис. 2.

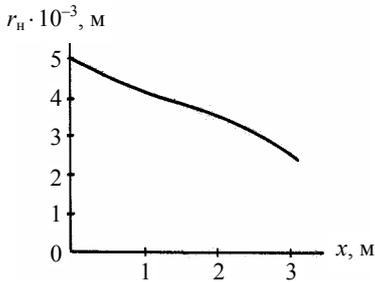


Рис. 1 Изменение радиуса нити от длины ванны

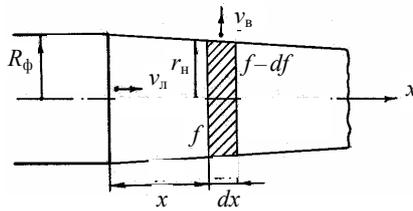


Рис. 2 Схема изменения радиуса нити при промывке

Выделим в нити элемент объема длиной dx . Баланс объемного расхода на этом участке:

$$V_1 - V_2 = V_b , \quad (5)$$

где V_1 – объемный расход нити при вытекании в выделенный элемент; V_2 – объемный расход нити при вытекании из элемента объема; V_b – количество выделенной из элемента объема межглобулярной жидкости.

За бесконечно малое время сечение нити уменьшится на df .

Объемный расход нити при вытекании

$$V_1 = \vartheta_n f , \quad f = \pi r_n^2 , \quad (6)$$

где ϑ_n – скорость истечения латекса из фильеры; r_n – радиус нити.

Объемный расход нити при вытекании

$$V_2 = \vartheta_n (f - df) , \quad df = 2\pi r_n dr_n . \quad (7)$$

Количество выделенной из элемента жидкости

$$V_b = \vartheta_b f_b ,$$

где ϑ_b – скорость течения жидкости по капиллярам (порам); f_b – живое сечение пор.

С целью упрощения вывода сделаем допущение о том, что на поверхности нити живое сечение пор неизменно и определяется зависимостью

$$f_b = \varepsilon_1 2\pi r_n x , \quad (8)$$

где ε_1 – коэффициент порозности.

Подставив значение (8), (7) и (6) в (5), получим

$$V_{\text{л}} df = \vartheta_{\text{в}} f_{\text{в}} . \quad (9)$$

Скорость движения жидкости через поры можно определить, используя уравнение Навье-Стокса [7] для случая действия только капиллярных сил. Считаем, что гель представляет собой капиллярно-пористое тело, состоящее из сферических глобул одинакового размера, находящихся в состоянии плотной упаковки. Тогда интегрирование уравнения Навье-Стокса дает решение

$$V_{\text{в}} = -\frac{r^2}{8\mu} \frac{\partial P}{\partial r_{\text{н}}} , \quad (10)$$

где $r_{\text{н}}$ – радиус капилляра; $\frac{dP}{dr_{\text{н}}}$ – градиент давления в радиальном направлении.

При $\frac{dP}{dr_{\text{н}}} = \text{const}$ его можно заменить на $\frac{P}{r_{\text{н}}}$.

где P – капиллярное давление, определяемое [7] равенством

$$P = \frac{12,9\sigma_{\text{w,a}}}{R} , \quad (11)$$

где $\sigma_{\text{w,a}}$ – поверхностное натяжение на границе жидкость-полимер; R – радиус глобулы.

Из [7] $R = r / 0,155$, подставим в (11), (11) в (10) и (10) в (9). Тогда будем иметь

$$V_{\text{л}} dr_{\text{н}} = -\varepsilon_1 \frac{r \sigma_{\text{w,a}}}{4\mu r_{\text{н}}} dx . \quad (12)$$

Проинтегрируем полученное выражение в пределах изменения $r_{\text{н}}$ от $R_{\text{ф}}$ до $r_{\text{н}}$ и x от 0 до x . Получим выражение для изменения радиуса нити при отмывке

$$r_{\text{н}} = \sqrt{R_{\text{ф}}^2 - \varepsilon_1 \frac{r \sigma_{\text{w,a}} x}{4\mu \vartheta_{\text{л}}}} , \quad (13)$$

где $R_{\text{ф}}$ – радиус фильеры.

На рис. 3 представлены графические зависимости, полученные при расчете по уравнению (13).

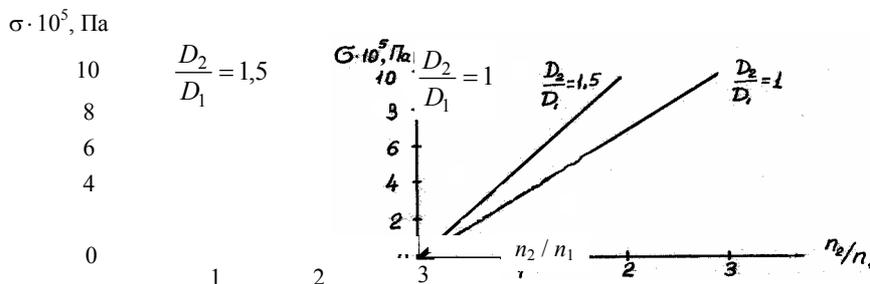


Рис. 3 Зависимость напряжения в нити от рабочих параметров:

$$\varepsilon_1 = 0,3; \quad \mu = 10^{-3} \text{ Па с}; \quad \sigma_{\text{w,a}} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}; \\ r = 0,8 \cdot 10^{-8} \text{ м}; \quad R_{\text{ф}} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad v_{\text{л}} = 0,1 \text{ м/с}$$

Уравнение (13) может быть использовано для предварительного расчета длины ванны промывки, исходя из радиуса нити и скорости ее получения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Торнер Р. В. Теоретические основы переработки полимеров. М.: Химия. 1977. С. 28.
- 2 Райнер М. Деформация и течение. М., 1963, С. 376.
- 3 Гуль В. Е., Кулезнев В. А. Структура и механические свойства полимеров. М.: Высшая школа, 1966. С. 99.
- 4 Алфрей Т. Механические свойства высокополимеров. 1952.
- 5 Догадкин Б. А., Бартедьев Г. М., Резниковский М. М. Исследования в области высокомолекулярных соединений. М.: Изд-во АН СССР, 1949.
- 6 Горбунов В. П., Кульков Ю. И., Несмеянов М. В. Изготовление резиновых нитей из латекса // Оборудование для переработки пластмасс и резины: Обзорная информация. Сер. ХМ-2. М.: ЦИНТИ-ХИМНЕФТЕМАШ, 1989. С. 26.
- 7 Фабрикант Н. З. Аэродинамика. М.–Л., 1949. С. 526.

Кафедра "Полимерное машиностроение"

УДК [502:061].003.13:66.013

В. А. Немтинов, А. Н. Шаров

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАТИВОВ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ СБРОСОВ СТОЧНЫХ ВОД НА ГОРОДСКИЕ ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Промышленные предприятия сбрасывают свои сточные воды в канализацию и транспортируются на сооружения биохимической очистки. Так как пропускная способность очистных сооружений ограничена, необходимо для каждого предприятия установить квоты на сброс сточных вод. Существует методика определения нормативов предельно допустимых сбросов, согласно которой предприятиям выдаются среднесуточные значения расхода сточных вод и концентраций загрязняющих веществ в них. В данной работе предлагается изменить эту методику: вместо среднесуточных значений использовать функции расходов и концентраций загрязняющих веществ от времени. Это позволит добиться постоянного суммарного расхода сточных вод и суммарных концентраций загрязняющих веществ на входе в очистные сооружения, так как значительные колебания расхода приводят к нестабильной работе, а резкие колебания могут привести к выходу из строя очистных сооружений.

Формализуем задачу определения предельно допустимых сбросов сточных вод. Исходные данные включают в себя перечень предприятий, перечень загрязняющих веществ и их предельно допустимые концентрации в природном водоеме, количество бытовых сточных вод и концентрации загрязняющих веществ в них, пропускную способность очистных сооружений и их параметры.

Первым этапом решения данной задачи является распределение квот, результатом которого являются объемы квот. На этом этапе решается проблема постоянства суммарного расхода, для промышленных сточных вод определяемого по формуле

$$Q_{\Sigma}(t) = [Q] - Q_{\text{быт}}(t), \quad (1)$$

где $[Q]$ – пропускная способность очистных сооружений; $Q_{\text{быт}}(t)$ – расход бытовых сточных вод.

Далее рассчитывается расход сточных вод для каждого предприятия

$$Q_i(t) = k_i Q_{\Sigma}(t), \quad i = 1, \dots, n, \quad (2)$$

где n – количество предприятий; k_i – коэффициент приоритета при распределении квот i -го предприятия. Использование коэффициента приоритета оправдывается в случае, когда в данном регионе существуют, например, стратегически важные предприятия, чтобы для них устанавливались завышенные

квоты. В случае, когда все предприятия равноправны, всем предприятиям устанавливается одинаковое значение коэффициента приоритета

$$k = \frac{1}{n}. \quad (3)$$

Для учета времени транспортировки сточных вод по канализационным коллекторам формула (2) примет вид

$$Q_i(t - \Delta t_i) = k_i Q_\Sigma(t), \quad i = 1, \dots, n, \quad (4)$$

где Δt_i – время транспортировки сточных вод от i -го до очистных сооружений.

Распределение концентраций осуществляется на основании расчетов по формуле

$$c_{i,j}(t) = \frac{k_i ([Q] c_{\max j} - Q_{\text{быт}}(t) c_{\text{быт } j})}{Q_i(t)}, \quad i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, m, \quad (5)$$

где m – количество загрязняющих веществ; $c_{\max j}$ – концентрация j -го вещества в сточных водах на входе в очистные сооружения; $c_{\text{быт } j}$ – концентрация j -го загрязняющего вещества веществ в бытовых сточных водах. Концентрация сточных вод на входе в очистные сооружения вычисляется по формуле:

$$c_{\max j} = \frac{[c]_j}{1 - E_j}, \quad j = 1, \dots, m, \quad (6)$$

где $[c]_j$ – предельно допустимая концентрация j -го вещества в природном водоеме; E_j – эффективность очистки j -го вещества очистными сооружениями.

Таким образом, получаем распределение квот на сброс сточных вод для каждого предприятия. Предприятие может распорядиться этими квотами: либо использовать их самому, либо передать (продать) их частично или полностью другим предприятиям. Так решается проблема нехватки и избытка квот и решение этой проблемы осуществляется во втором этапе задачи, в котором осуществляется перераспределение квот.

Найдем разницу выданных и требуемых квот:

$$\Delta Q_i(t) = Q_i(t) - Q_{\text{тp } i}(t), \quad (7)$$

$$\Delta c_{i,j} = c_{i,j}(t) - c_{\text{тp } i,j}(t), \quad (8)$$

где $Q_{\text{тp } i}(t)$ и $c_{\text{тp } i,j}(t)$ – реальные потребности i -го предприятия, соответственно, расхода сточных вод и концентраций загрязняющих веществ в них.

Если функции (7) и (8) для какого-либо предприятия принимают положительные значения на каком-либо промежутке времени, то эти ресурсы предназначены для передачи (такие предприятия становятся поставщиками ресурса). Если функции (7) и (8) для какого-либо предприятия принимают отри-

цательное значение, то необходимо компенсировать отрицательность функций за счет поставщиков (такие предприятия становятся потребителями).

Количество предприятий-поставщиков обозначим через n_1 , количество предприятий-потребителей через n_2 , a_{i1} – запасы ресурса на $i1$ -м предприятии-поставщике ($i1 = 1, \dots, n_1$) и b_{i2} – количество требуемого ресурса на $i2$ -м предприятии-потребителе ($i2 = 1, \dots, n_2$).

Обозначим через $X_{i1,i2}$ – количество единиц ресурса передаваемого из $i1$ -го предприятия $i2$ -му и $cost_{i1,i2}$ – договорная стоимость передачи единицы ресурса из $i1$ -го предприятия $i2$ -му.

В формализованном виде постановка задачи перераспределения квот сброса сточных вод на очистные сооружения заключается в поиске минимума целевой функции

$$R = \min \sum_{i1=1}^{n1} \sum_{i2=1}^{n2} \cos t_{i1,i2} X_{i1,i2}$$

при выполнении ограничений

$$\sum_{i1=1}^{n1} X_{i1,i2} = b_{i2}, \quad \sum_{i2=1}^{n2} X_{i1,i2} = a_{i1}.$$

Являясь задачей линейного программирования она может быть решена с использованием симплекс-метод. Для ее решения выбрана программная геоинформационная система ArcView 3.2, к которой подключается динамическая библиотека, написанная в среде визуального программирования Delphi 5. На рис. 1 показан вид окна программы определения нормативов предельно допустимых сбросов.

Разработанное программное обеспечение апробировано на примере распределения квот сброса сточных вод предприятиями г. Моршанска.

Кафедра "Гибкие автоматизированные производственные системы"

УДК 614.841.41:66

В. Б. Михайлов, А. В. Бояршинов, Е. А. Сергеева

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВСПЫШКИ БИНАРНОЙ СМЕСИ ВЗАИМОРАСТВОРИМЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Температура вспышки является одним из важнейших показателей легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, который указан в справочной литературе для отдельных веществ, но отсутствует для большинства бинарных и многокомпонентных смесей жидкостей. Экспериментальное нахождение температуры вспышки смеси жидкостей требует достаточно сложного оборудования. Поэтому весьма важным является нахождение температуры вспышки смеси жидкостей расчетным путем.

На основании определения температуры вспышки принимаем, что парциальное давление пара легколетучего компонента над смесью взаиморастворимых жидкостей p'_1 при температуре вспышки смеси t'_1 равно давлению насыщенного пара легколетучего компонента P_1 при температуре вспышки однокомпонентной жидкости t_1

$$p'_1 = \gamma'_1 P'_1 x'_1 = P_1, \quad (1)$$

где x'_1 – мольная доля легколетучего компонента в жидкой смеси; γ'_1 – коэффициент активности легколетучего компонента в жидкой смеси при температуре вспышки смеси t'_1 и концентрации x'_1 ; P'_1 – давление насыщенного пара легколетучего компонента при температуре вспышки t'_1 .

После логарифмирования уравнения (1) получили

$$\lg P_1 = \lg \gamma'_1 + \lg P'_1 + \lg x'_1. \quad (2)$$

Давление насыщенного пара P_1 и P'_1 легколетучего компонента при температуре t_1 и t'_1 находили по уравнению Антуана

$$\lg P_1 = A - \frac{B}{t_1 + C_A}; \quad (3)$$

$$\lg P'_1 = A - \frac{B}{t'_1 + C_A}, \quad (4)$$

где A, B, C_A – константы уравнения Антуана (1).

Подставив уравнения (3) и (4) в уравнение (2), получили уравнение для расчета температуры вспышки бинарной смеси взаиморастворимых жидкостей

$$t'_1 = \frac{B}{\lg \gamma'_1 + \lg x'_1 + \frac{B}{t + C_A}} - C_A. \quad (5)$$

По уравнению (5) проделаны три варианта расчетов температуры вспышки смеси ацетон-вода при различной концентрации ацетона в жидкости.

При расчете температуры вспышки по первому варианту приняли, что смесь жидкостей ацетон-вода полностью подчиняется закону Рауля, т.е. $\lg \gamma'_1 = 0$.

$$t'_1 = \frac{B}{\lg x'_1 + \frac{B}{t + C_A}} - C_A, \quad (6)$$

где $B = 1281,721$; $C_A = 237,088$; $t = -18$ °С.

При расчете температуры вспышки по второму варианту приняли, что смесь жидкостей ацетон-вода отклоняется от закона Рауля. Это отклонение учитывали коэффициентом активности γ'_1 , который в данном варианте расчета принимали зависящим только от концентрации легколетучего компонента. Коэффициент активности вычисляли по уравнению Маргулеса 3-го порядка

$$\lg \gamma'_1 = (1 - x'_1)^2 [A_{12} + 2x'_1(A_{21} - A_{12})], \quad (7)$$

где $A_{12} = 0,89$; $A_{21} = 0,65$ [2].

При расчете температуры вспышки по третьему варианту отклонение смеси ацетон-вода от закона Рауля учитывали, принимая, что коэффициент активности γ'_1 зависит не только от концентрации ацетона в жидкости, но и от ее температуры.

Для учета влияния температуры на коэффициент активности составили систему 2-х линейных уравнений вида

$$A_{12} = \frac{A_1}{T} + B_1.$$

Подставив значения A_{12} и T [2] в данные уравнения и решив их относительно A_1 и B_1 , получили:

$$A_{12} = \frac{-103,858}{T} + 1,16834, \quad (8)$$

где $T = 298,15 \dots 373,15$ К.

Для нахождения зависимости коэффициента активности A_{21} составили систему 2-х линейных уравнений вида

$$A_{21} = A_2 T + B_2.$$

Подставив значения A_{21} и T [2] в данные уравнения и решив их относительно A_2 и B_2 , получили

$$A_{21} = -0,0022508 T + 1,39108, \quad (9)$$

где $T = 298,15 \dots 329,25$ К.

Расчет температуры вспышки проводили методом последовательного приближения. Задаваясь температурой вспышки, находили A_{12} и A_{21} по уравнениям (8) и (9). Затем по уравнению (7) находили $\lg \gamma'_1$.

Подставив $\lg \gamma_1$ в уравнение (5), находили температуру вспышки t'_1 смеси. При $\Delta t'_1 = \frac{t'_1 - t_{\text{спр}}}{t_{\text{спр}}} \cdot 100\% > 3\%$ расчет повторяли, задаваясь полученной величиной t'_1 . Относительное отклонение расчетной величины температуры вспышки от справочного значения [3] находили по формуле

$$\delta = \frac{T'_1 - T_{\text{спр}}}{T_{\text{спр}}} \cdot 100\%, \quad (10)$$

где $T'_1 = t'_1 + 273,15$, К; $T_{\text{спр}} = t_{\text{спр}} + 273,15$, К.

Результаты всех вариантов расчетов представлены в таблице.

Среднее относительное отклонение является наибольшим для I варианта и для I-III вариантов составляет 8,81 %; 0,97 % и 0,54 %, соответственно.

Наибольшее относительное отклонение расчетной температуры вспышки смеси ацетон-вода от справочной величины наблюдается для первого варианта расчета и составляет 18,3 %.

Наибольшее относительное отклонение расчетной температуры вспышки от справочной величины для второго и третьего варианта расчетов составляет 2,9 % и 1,8 %, соответственно.

Полученное уравнение позволяет рассчитывать температуру вспышки бинарных взаиморастворимых жидкостей, отклоняющихся от идеальных растворов.

Таблица

X	$t_{\text{спр}},$ °C	I вариант		II вариант		III вариант	
		$t'_1, \text{°C}$	$\delta, \%$	$t'_1, \text{°C}$	$\delta, \%$	$t'_1, \text{°C}$	$\delta, \%$
1,000	– 18,00	– 18,00	0,00	– 18,00	0,00	– 18,00	0,00
0,855	– 19,00	– 15,42	1,41	– 15,81	1,26	– 16,10	1,14
0,637	– 17,00	– 10,41	2,57	– 13,46	1,38	– 14,67	0,91
0,420	– 14,00	–2,92	4,28	– 12,42	0,61	– 13,91	0,03
0,237	– 11,00	8,22	7,33	– 11,31	–0,12	– 11,53	–0,20
0,117	–5,00	23,51	10,63	–6,92	–0,72	–5,25	–0,09
0,072	1,00	35,18	12,47	–1,66	–0,97	0,91	–0,03
0,033	11,00	56,30	15,94	10,05	–0,33	13,31	0,81
0,016	33,00	79,05	15,04	24,03	–2,93	27,33	–1,85
0,009 5	40,00	97,74	18,44	35,81	–1,34	38,79	–0,39

Использование в расчетах логарифмов коэффициентов активности $A_{12} = f(x)$ и $A_{21} = f(x)$ уменьшает относительное отклонение расчетной температуры вспышки смеси от справочной величины. Максимальное относительное отклонение при этом составляет 2,9 %.

Использование в расчетах логарифмов коэффициентов активности $A_{12} = f(x, t)$ и $A_{21} = f(x, t)$ еще более повышает точность. В этом случае максимальное относительное отклонение расчетной температуры вспышки смеси ацетон-вода от справочной величины составляет 1,8 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 12.1.004–76. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
- ДЖ. ПЕРРИ. СПРАВОЧНИК ИНЖЕНЕРА-ХИМИКА. Л.: ХИМИЯ, 1969. Т. 1. 640 с.
- Пожарная опасность веществ и материалов, применяемых в химической промышленности: Справочник / Под ред. И. В. Рябова. М.: Химия, 1970. 336 с.

УДК 662.61

А. А. Баранов

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕЙ КАМЕРЫ НА ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АППАРАТА ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ГОРЕНИЯ С АЭРОДИНАМИЧЕСКИМ КЛАПАНОМ

При проектировании аппаратов пульсирующего горения важнейшей характеристикой является рабочая частота колебаний, которая совпадает с первой собственной акустической частотой сложного резонатора, которым является устройство.

Нами в работе [1] показана возможность, представить аппарат пульсирующего горения с аэродинамическим клапаном (рис. 1, а), как систему с сосредоточенными параметрами, и получена зависимость для определения линейной собственной частоты колебаний в нем, которую можно записать в виде

$$\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c_1}{m_1} + \frac{c_2}{m_2}}, \quad (1)$$

где $c_1 = \frac{\rho a^2}{\gamma V} F_1^2$, $c_2 = \frac{\rho a^2}{\gamma V} F_2^2$ – коэффициенты квазиупругости, выражающие упругую реакцию объема камеры сгорания 3 на перемещения

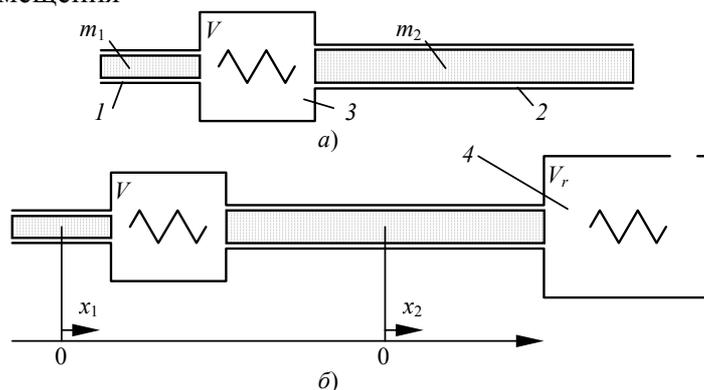


Рис. 1 Расчетные схемы аппарата пульсирующего горения

инерциальных элементов с массой $m_1 = \rho_1 F_1 l_1$ и $m_2 = \rho_2 F_2 l_2$ внутри аэродинамического клапана 1 и резонансной трубы 2. Параметры газа в объеме V камеры сгорания: ρ – плотность, a – скорость звука, γ – показатель адиабаты. Параметры аэродинамического клапана и резонансной трубы определяются геометрическими размерами F_1 , F_2 – площади сечения и l_1 , l_2 – длины, а также плотностями газа в данных элементах ρ_1 , ρ_2 .

Как видно из выражения (1), оно не учитывает геометрических параметров рабочего объема 4 (рис. 1, б), в котором осуществляются химико-технологические процессы, использующие высокотемпературный пульсирующий поток теплоносителя, получаемый на выходе из резонансной трубы. Если геометрические размеры рабочего объема, таковы, что площадь его сечения превосходит площадь сечения резонансной трубы, то в образованной акустической системе можно явно выделить дополнительный элемент, обладающий потенциальной энергией. Понятно, что наличие такого элемента в системе может повлиять на частотные характеристики аппарата. Попытаемся оценить это влияние.

Для расчета изменения давления при смещении какого-либо из инерциальных элементов системы воспользуемся зависимостью [2]:

$$\Delta p = -\frac{\rho a^2}{\gamma V} \Delta V.$$

Пусть в процессе начального возмущения или движения описываемой системы объем камеры сгорания изменился на $\Delta V = V_2 - V_1$, а объем рабочей камеры на $\Delta V_r = V_2$, где $V_2 = F_2 x_2$, $V_1 = F_1 x_1$. Положим, что $\Delta V > 0$. Значит, в объеме камеры сгорания образуется разрежение, и на первую массу будет действовать сила

$$\bar{P}_1 = \frac{\rho a^2}{\gamma V} (V_2 - V_1) F_1 = \frac{\rho a^2}{\gamma V} (F_1 F_2 x_2 - F_1^2 x_1).$$

При этом в рабочей камере происходит рост давления и суммарное силовое воздействие на вторую массу можно представить в виде

$$\bar{P}_2 = -\frac{\rho a^2}{\gamma V} (V_2 - V_1) F_2 - \frac{\rho_r a_r^2}{\gamma_r V_r} V_2 F_2 = \frac{\rho a^2}{\gamma V} (F_1 F_2 x_1 - F_2^2 x_2) - \frac{\rho_r a_r^2}{\gamma_r V_r} F_2^2 x_2.$$

Используя ранее принятые обозначения для c_1 и c_2 , и положив $\frac{\rho a^2}{\gamma V} F_1 F_2 = c_{12}$, $\frac{\rho_r a_r^2}{\gamma_r V_r} F_2^2 = c_3$, можно составить систему уравнений описывающих движение массы газа в аэродинамическом клапане m_1 и резонансной трубе m_2 :

$$\left. \begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 &= c_{12} x_2 - c_1 x_1, \\ m_2 \ddot{x}_2 &= c_{12} x_1 - (c_2 + c_3) x_2. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Решение системы (2) в виде периодических функций $x_1 = A \sin(\omega t + \alpha)$, $x_2 = B \sin(\omega t + \alpha)$ позволило определить две собственные линейные частоты колебаний аппарата пульсирующего горения с аэродинамическим клапаном и рабочей камерой:

$$\nu_{1,2} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{(c_2 + c_3)m_1 + c_1 m_2 \pm \sqrt{m_1^2 (c_2^2 + 2c_2 + c_3^2) + 2m_1 m_2 (c_1 c_2 - c_1 c_3) + c_1^2 m_2^2}}{2m_1 m_2}}, \quad (3)$$

Полученная зависимость позволяет оценить влияние размеров рабочей камеры и параметров газа в ее объеме на частотные характеристики аппарата. На рис. 2 представлено изменение частоты колебаний в зависимости от объема рабочей камеры V_r , в предположении, что свойства газа в ней ρ_r , a_r , γ_r определяются свойствами продуктов сгорания на выходе из резонансной трубы. Расчеты выполнены для экспериментального аппарата пульсирующего горения на дизельном топливе. Теплофизические свойства газа в элементах аппарата определены по методике [3].

Как следует из рис. 2, при увеличении объема рабочей камеры вторая собственная частота падает (кривая 2), асимптотически приближаясь к нулю. Однако снижение рабочей частоты не наблюдается при реальной работе аппарата с рабочей камерой больших размеров. Следовательно, система работает на первой собственной частоте (знак "+" в уравнении (3)). Кривая 1 асимптотически приближается к значению частоты, рассчитанной по формуле (1) без учета рабочей камеры.

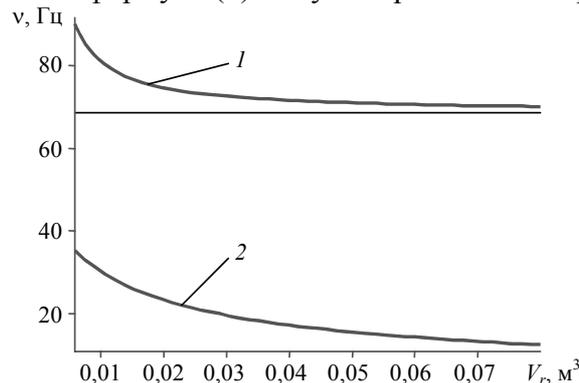


Рис. 2 Зависимость собственных частот колебаний аппарата с рабочей камерой

Для стабильного функционирования аппаратов пульсирующего горения необходимо обеспечить строго определенные рабочие параметры. В частности, диапазон варьирования частоты без изменения геометрических размеров аппарата может составлять $\pm 10 \dots 12 \%$ [4]. Из этих соображений, используя зависимость (3), можно определить минимальные геометрические параметры рабочей камеры, при которых не нарушается автоколебательный режим пульсирующего горения.

Кроме этого, зависимостью (3) можно воспользоваться на этапе проектирования аппаратов пульсирующего горения с аэродинамическим клапаном и рабочей камерой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Баранов А. А., Быченко В. И., Коптев А. А. Определение собственных частот механических колебаний в камере пульсирующего горения с учетом аэродинамического клапана // Труды молодых ученых и студентов ТГТУ. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 1997. С. 83–88.
- 2 Баранов А. А. Кинетика газодинамических и тепловых процессов в аппаратах пульсирующего горения с аэродинамическим клапаном: Автореферат Дис. ... канд. техн. наук. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2000.
- 3 Термодинамические и теплофизические свойства продуктов сгорания. Справочник / В. Е. Алемасов, А. Ф. Дергалин, А. П. Тишин, В. А. Худяков; Под ред. В. П. Глушко. М: АН СССР ВИНТИ, 1971. Т. 1.
- 4 Кацнельсон Б. Д., Мароне И. Я., Таракановский А. А. Исследование сжигания жидкого топлива в пульсирующей горелке. В кн.: Пульсационное горение. Челябинск: НТОЭ и ЭП, 1968. С. 11–17.

Кафедра "Конструирование машин и аппаратов"

УДК 66.021

О. А. Абоносимов, В. Л. Головашин, С. И. Лазарев

ГИДРОДИНАМИКА ПОТОКА РАСТВОРА В МЕМБРАННОМ МОДУЛЕ ОБРАТНООСМОТИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

При разработке, расчете и эксплуатации аппаратов мембранного разделения необходима информация как по физико-химическим свойствам разделяемых сред (растворов) и мембран, так и по механизму и кинетике процессов массопереноса [1].

Гидродинамическая структура потока в мембранном модуле оказывает существенное влияние на процесс массопереноса при обратноосмотическом разделении растворов. В обратноосмотических рулонных модулях потоки жидкостей по своей структуре, как правило, занимают промежуточное положение между двумя предельными идеализированными случаями – полного вытеснения и полного перемешивания.

Для количественной оценки влияния продольного перемешивания на характеристики разделения обратноосмотического модуля необходимы данные о величинах коэффициентов продольного перемешивания [2, 3]. С этой целью было проведено экспериментальное определение коэффициента продольного перемешивания в обратноосмотических модулях методом импульсного ввода трассера. Экспериментальные исследования проводились на промышленной обратноосмотической установке с рулонными разделительными элементами типа ЭРО-Э-6.5/900А и ЭРО-К-92-475 (в модуле устанавливалось либо два элемента первого типа, либо четыре – второго типа). Описание схемы установки и методики проведения экспериментов описаны ранее, в работе [4].

Исследования продольного перемешивания в обратноосмотическом модуле проводили при различных скоростях жидкости в модуле и при различных давлениях. Результаты экспериментов по определению зависимости коэффициента продольного перемешивания от скорости жидкости и давления в модуле для обоих типов элементов представлены графически на рис. 1 а, б.

Как видно из графиков, коэффициент продольного перемешивания значительно увеличивается при увеличении скорости протекания жидкости в модуле. При этом для модуля с элементами типа ЭРО-К-475 коэффициент продольного перемешивания имеет несколько большие значения, что можно объяс-

нить ростом скорости жидкости увеличивается турбулентное перемешивание в межмембранном канале элемента, что является важным фактором интенсивности продольного перемешивания, и к тому же в модуле между элементами находятся дополнительные зоны смешения, вызванные особенностью конструкции соединения элементов между собой. В этих зонах смешения при увеличении скорости жидкости также происходит интенсивная турбулизация потока. Для модуля с элементами ЭРО-Э-6.5/900А таких зон три, а с элементами ЭРО-К-92-475 – пять. Поэтому в модуле с последними элементами происходит более полное перемешивание потока, что и объясняет более высокие значения коэффициента продольного перемешивания.

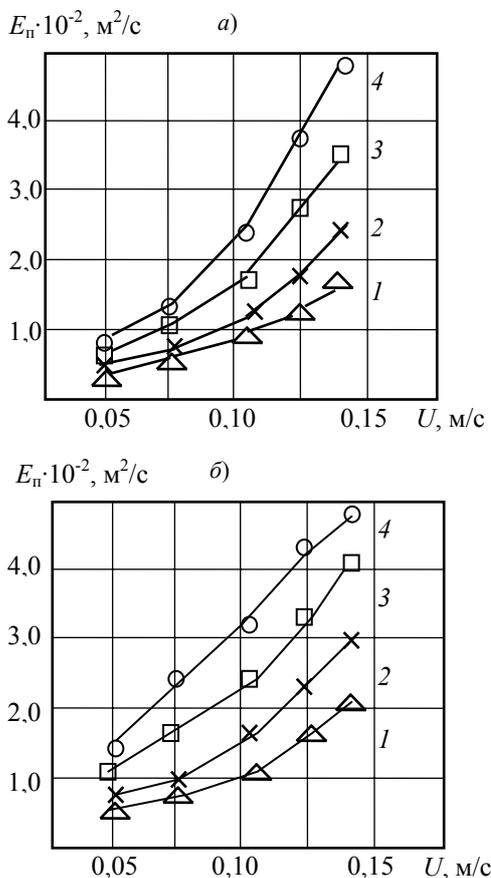


Рис. 1 Зависимость коэффициента продольного перемешивания от скорости жидкости и давления в модуле:

а – элементы ЭРО-Э-6.5/900А; *б* – элементы ЭРО-К-92-475

При рассмотрении графиков зависимости коэффициента продольного перемешивания при различных давлениях в модуле можно также отметить увеличение значений коэффициента с ростом давления в модуле.

При создании давления в модуле возникает дополнительный фактор, влияющий на коэффициент продольного перемешивания. С ростом давления в модуле появляется поток пермеата, который по длине модуля постепенно обедняет основной поток. Поток пермеата направлен из ядра потока в межмембранном канале через мембрану, т.е. перпендикулярно основному потоку. Поэтому за счет потока пермеата происходит дополнительное перемешивание потока жидкости в мембранном модуле. При более высоком давлении поток пермеата увеличивается, что приводит к росту коэффициента продольного перемешивания. Мембранные элементы ЭРО-К-92-475 имеют более высокую производительность по пермеату, чем ЭРО-Э-6.5/900А, и поэтому при одинаковых давлениях имеют несколько большие значения коэффициента продольного перемешивания.

По экспериментальным данным получены аппроксимационные зависимости коэффициентов продольного перемешивания от давления и скорости жидкости в обратноосмотическом модуле для рулонных элементов ЭРО-Э-6.5/900А и ЭРО-К-92-475:

$$E_n = b \operatorname{Re}^n \left(\frac{P}{P_0} \right)^m,$$

где b , n , m – эмпирические коэффициенты; P , P_0 – рабочее давление и давление, принятое равным 0,1 МПа, соответственно. Значения коэффициентов b , n , m приведены в табл. 1.

1 Значения экспериментальных коэффициентов

Мембранный модуль	$b \cdot 10^6$	n	m
ЭРО-Э-6.5/900А	5,67	2,10	0,16
ЭРО-К-92-475	1,59	2,55	0,16

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что в мембранных модулях имеет место существенное продольное перемешивание, величина которого зависит от вида фильтрующего элемента, конструктивных особенностей модуля, гидродинамической обстановки в аппарате и перепада давления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Дытнерский Ю. И. Баромембранные процессы. Теория и расчет. М.: Химия, 1986. 272 с.
- 2 Гельперин В. И., Пebaли В. Л., Костакян А. Е. Структура потоков и эффективность колонных аппаратов химической промышленности. М.: Химия, 1977. 264 с.
- 3 Левеншпиль О. Инженерное оформление химических процессов. М.: Химия, 1969. 621 с.
- 4 Абоносимов О. А., Коробов В. Б. Гидродинамические характеристики обратноосмотических аппаратов с рулонными разделительными элементами // Изв. вузов. Химия и химическая технология. 1999. Т. 42. № 8. С. 131–134.

Кафедра "Информационные технологии в проектировании"

УДК 66.065.51

*В. С. Орехов, А. В. Марков, Н. В. Воякина**

Влияние концентрации серной кислоты на

растворимость сульфатов натрия

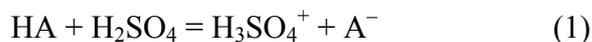
РАЗВИТИЕ СОВРЕМЕННОЙ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ПРЕДЪЯВЛЯЕТ ВСЕ БОЛЕЕ ЖЕСТКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К УЛУЧШЕНИЮ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ. ОПРЕДЕЛЯЮЩИМИ ФАКТОРАМИ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИМИ КАЧЕСТВО ПРОДУКТА, ЯВЛЯЮТСЯ: СОДЕРЖАНИЕ ЦЕЛЕВОГО ВЕЩЕСТВА В ГОТОВОМ ПРОДУКТЕ, СОДЕРЖАНИЕ ПРИМЕСЕЙ, ДИСПЕРСНЫЙ СОСТАВ, КОНЕЧНАЯ ВЛАЖНОСТЬ. В ОСНОВНОМ ЭТИ ПОКАЗАТЕЛИ ФОРМИРУЮТСЯ НА ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫХ СТАДИЯХ ПРОИЗВОДСТВ, ТАКИХ КАК ВЫДЕЛЕНИЕ ЦЕЛЕВОГО ВЕЩЕСТВА ИЗ РЕАКЦИОННОЙ СРЕДЫ, ФИЛЬТРОВАНИИ ПОЛУЧЕННЫХ СУСПЕНЗИЙ, СУШКИ И РАЗМОЛА.

РЕШЕНИЕ ВОПРОСА О ПОВЫШЕНИИ СОДЕРЖАНИЯ ЦЕЛЕВОГО ВЕЩЕСТВА И КАК СЛЕДСТВИЕ УМЕНЬШЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ПРИМЕСЕЙ (ОСНОВНЫХ ПО СОДЕРЖАНИЮ В СУСПЕНЗИИ), ЗАТРУДНЕНО ТЕМ ЧТО, ОТСУТСТВУЮТ ДАННЫЕ О ВЗАИМНОМ ВЛИЯНИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ И ЦЕЛЕВОГО КОМПОНЕНТА НА ИХ РАСТВОРИМОСТЬ, ЧТО НЕ ДАЕТ ДОЛЖНОГО ЭФФЕКТА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРОЦЕССОВ УДАЛЕНИЯ ВОДОРАСТВОРИМЫХ СОЛЕЙ Na_2SO_4 , K_2SO_4 . ОДНИМ ИЗ ТАКИХ ПРОДУКТОВ И ЯВЛЯЕТСЯ ГАММА-КИСЛОТА, В СОСТАВ СУСПЕНЗИИ КОТОРОЙ ВХОДЯТ ЦЕЛЕВОЙ ПРОДУКТ, СУЛЬФАТЫ НАТРИЯ, КАЛИЯ, СЕРНАЯ

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доцента А. И. Леонтьевой и канд. хим. наук Н. П. Утробина.

КИСЛОТА И НЕПРОРЕАГИРОВАВШИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ. ВЛИЯНИЕ НЕПРОРЕАГИРОВАВШИХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ НА РАСТВОРИМОСТЬ СУЛЬФАТОВ НАТРИЯ И КАЛИЯ НАИБОЛЕЕ ПОДРОБНО ИЗУЧЕНО В РАБОТЕ [1]. ПОЭТОМУ НАИБОЛЬШИЙ ИНТЕРЕС ПРЕДСТАВЛЯЛО ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ НА РАСТВОРИМОСТЬ СУЛЬФАТОВ НАТРИЯ.

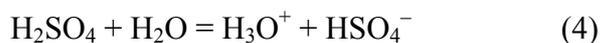
Серная кислота – хороший растворитель для электролитов (в данном случае это раствор сульфатов натрия), поскольку обладает высокой диэлектрической проницаемостью, значительной полярностью молекул, способных к образованию прочных водородных связей [2]. Растворяясь в серной кислоте, электролиты могут проявлять себя как кислоты



или как основания



Процессы, описанные уравнениями (1), (2) объясняются тем, что чистая серная кислота содержит в равновесии ряд частиц [3].



Введение электролитов, имеющих различные свойства, оказывает влияние на смещение равновесий (3)–(6). Поскольку серная кислота обладает высокой кислотностью, большинство электролитов проявляет себя в ней как основания [2].

Отмеченные особенности поведения электролитов в серной кислоте может оказывать влияние на протекание процессов, удаления водорастворимых примесей. В связи с этим представляло интерес исследование влияния концентрации серной кислоты на растворимость сульфатов натрия и калия в присутствии растворенной Гамма-кислоты.

Влияние концентрации серной кислоты на растворимость солей при различных температурах изучали на экспериментальной установке, схема которой представлена на рис. 1.

В трехгорлую колбу, снабженную мешалкой, загружали дистиллированную воду и концентрированную серную кислоту (92,5 %) таким образом, чтобы их общее количество составляло 300 мл. Концентрация серной кислоты в растворе варьировалась в пределах 0 ... 120 г/л. Затем при перемешивании порциями по 10 г в течение 20 мин загружали 350 г Na₂SO₄. В экспериментах при помощи термостата поддерживали температуры 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60 °С. Перемешивание продолжали в течение семи часов до состояния равновесия [4].

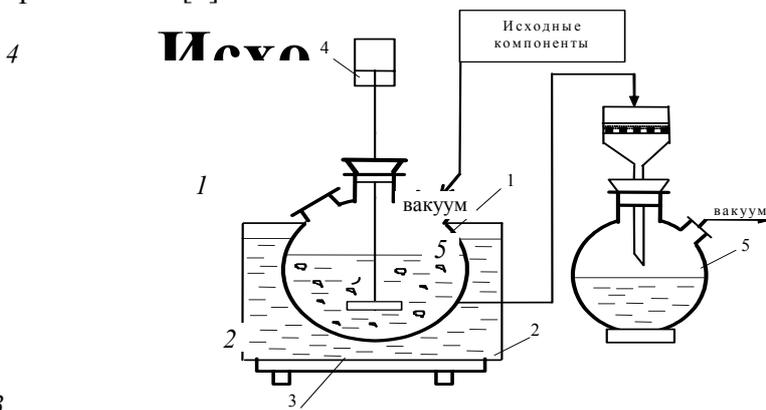


Рис. 1 Схема экспериментальной установки для изучения влияния концентрации серной кислоты на растворимость сульфатов натрия и калия при различных температурах суспензии:
 1 – трехгорлая колба; 2 – термостат; 3 – электронагреватель;
 4 – перемешивающее устройство; 5 – установка для фильтрования

После чего из реактора отбиралась проба массой 20 г, которая фильтровалась на лабораторном вакуум-фильтре. Фильтрат анализировался спектрофотометрическим титрованием на содержание сульфата натрия в растворе [5]. Полученные данные представлены на рис. 2.

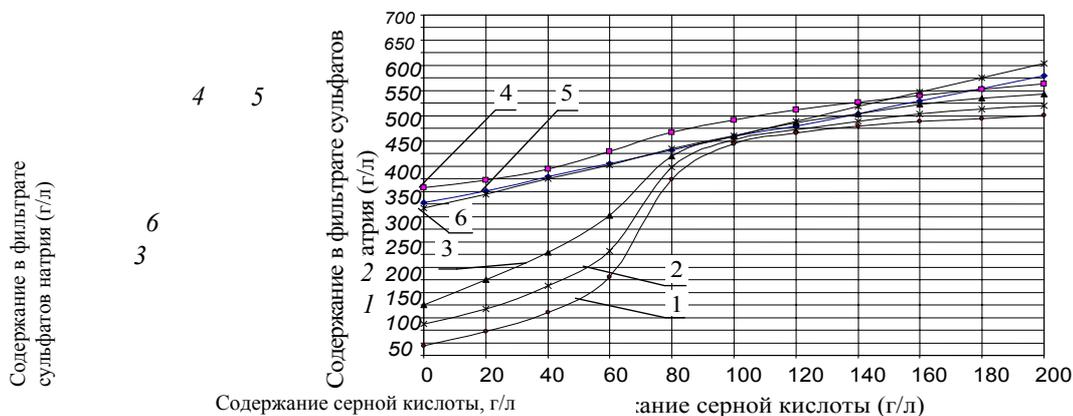


Рис. 2 Влияние содержания серной кислоты на растворимость сульфата натрия при различных температурах:
 1 – 0 °С; 2 – 10 °С; 3 – 20 °С; 4 – 30 °С; 5 – 40 °С; 6 – 60 °С

Как следует из данных рис. 2, с увеличением температуры при концентрациях серной кислоты 0 ... 80 г/л, растворимость сульфата натрия увеличивается. Повышение температуры с 30 до 60 °С практически не оказывает влияния на растворимость Na_2SO_4 . Влияние температуры на растворимость сульфата натрия в диапазоне концентраций 80 ... 100 г/л менее заметно, чем при концентрациях 0 ... 80 г/л. Это является подтверждением того, что на растворимость Na_2SO_4 прежде всего оказывает влияние серная кислота (при концентрациях > 80 г/л), которая как уже отмечалось выше, является очень хорошим растворителем для электролитов.

По методике описанной выше было изучено влияние серной кислоты и температуры на растворимость сульфата натрия при содержании в растворе 1 % Гамма-кислоты. Экспериментальные данные представлены на рис. 3.

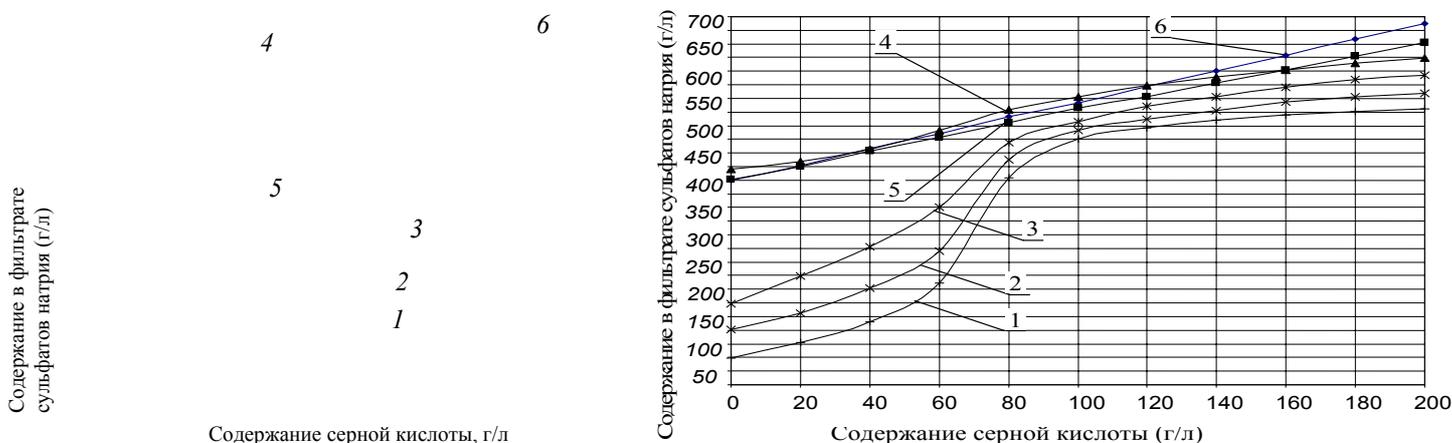


Рис. 3 Влияние содержания серной кислоты на растворимость сульфата натрия при различных температурах в растворе содержащем 1 % Гамма-кислоты:
 1 – 0 °С; 2 – 10 °С; 3 – 20 °С; 4 – 30 °С; 5 – 40 °С; 6 – 60 °С

Анализируя данные представленные на рис. 2 и 3 можно сделать вывод, что присутствие Гамма-кислоты в растворе увеличивает растворимость сульфата натрия. Это наблюдается для диапазона концентраций серной кислоты 0 ... 200 г/л и при всех исследованных температурных режимах. В молекуле Гамма-кислоты имеется сульфогруппа, поэтому увеличение растворимости сульфата натрия в этом случае можно объяснить проявлением ею гидротропных свойств (увеличение растворимости). Гидротропный эффект в данном случае объясняется тем, что растворителем является не только вода но и гидратированные молекулы гидротропного вещества. Этот эффект широко используется в производстве синтетических моющих средств [6].

Установлено, что с увеличением температуры от 0 до 40 °С и концентрации серной кислоты растворимость сульфата натрия увеличивается; повышение температуры с 40 до 60 °С практически не оказывает влияния на его растворимость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Каретников С. В., Удальцов С. В., Теплякова Н. А. Влияние Гамма- и Амино-Г-кислот на растворимость сульфата натрия // Труды ТГТУ. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2000. Вып. 6. С. 189–193.
- 2 Крестов Г. А., Кобенин В. А. От кристалла к раствору. Л.: Химия, 1977. 109 с.
- 3 Коттон Ф., Уилкинсон Дж. Современная неорганическая химия. М.: Мир, 1969. Т. II. 494 с.
- 4 Кониух Л. П., Стороженко В. А. Совместная растворимость сульфатов лития, цезия и мочевины при температуре 25 °С // Неорганическая химия. 1981. № 4.
- 5 Крешков А. П. Основы аналитической химии. М.: Химия, 1977. Т. III. 488 с.
- 6 Ковалев В. М., Петренко Д. С. Технология производства синтетических моющих средств. М.: Химия, 1992. 272 с.

Кафедра "Технологического оборудования и прогрессивных технологий"

УДК 66.067.55/.57

*К. В. Брянкин, С. Ю. Чупрунов, Л. Н. Чемерчев**

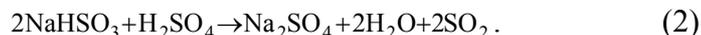
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТАДИИ ВЫДЕЛЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ОДНОХЛОРИСТОЙ МЕДИ

В ЛАКОКРАСОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СУЩЕСТВУЮТ ПРОИЗВОДСТВА ОРГАНИЧЕСКИХ КРАСИТЕЛЕЙ, ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОТОРЫХ ИСПОЛЬЗУЮТСЯ ПОЛУПРОДУКТЫ НЕОРГАНИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ. ПРИМЕРОМ МОГУТ СЛУЖИТЬ ФТАЛОЦИАНИНОВЫЕ КРАСИТЕЛИ. ДЛЯ ИХ ПРОИЗВОДСТВА ИСПОЛЬЗУЕТСЯ ТАКОЙ ПРОДУКТ, КАК ОДНОХЛОРИСТАЯ МЕДЬ (CuCl).

В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ОДНОХЛОРИСТУЮ МЕДЬ ПОЛУЧАЮТ ПУТЕМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ МЕДНОГО КУПОРОСА БИСУЛЬФИТОМ НАТРИЯ В ПРИСУТСТВИИ ХЛОРИСТОГО НАТРИЯ И ЕДКОГО НАТРИЯ (1) С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ФИЛЬТРАЦИЕЙ И ПРОМЫВКОЙ ВОДОЙ ПОЛУЧЕННОЙ ОДНОХЛОРИСТОЙ МЕДИ.



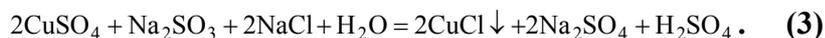
Данный способ производства характеризуется низким выходом (не более 80 % по медному купоросу) и большим количеством сернистого ангидрида, который образуется в результате протекания побочной химической реакции (2).



НАЛИЧИЕ ПОБОЧНОГО ГАЗООБРАЗНОГО ПРОДУКТА, ОКАЗЫВАЮЩЕГО НЕГАТИВНОЕ ВЛИЯНИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ, ТРЕБУЕТ ОРГАНИЗАЦИИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ СТАДИИ УТИЛИЗАЦИИ. ЕЩЕ ОДНИМ СУЩЕСТВЕННЫМ НЕДОСТАТКОМ ДАННОГО СПОСОБА ЯВЛЯЕТСЯ НЕОБХОДИМОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДОРОГОСТОЯЩЕГО ИНЕРТНОГО ГАЗА – АЗОТА.

В литературе [1] известны альтернативные способы получения однохлористой меди: путем восстановления солей двухвалентной меди металлической медью в присутствии хлоридов; способ получения, где в качестве восстановителя Cu^{2+} используется сернокислый натрий. Данные способы применяются для получения химически чистых веществ в лабораторных условиях и не апробированы в промышленности.

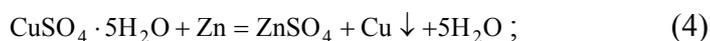
СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕРНОКИСЛОГО НАТРИЯ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ ПО СЛЕДУЮЩЕЙ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ (3):



ОН ХАРАКТЕРИЗУЕТСЯ ОБРАЗОВАНИЕМ БОЛЬШОГО КОЛИЧЕСТВА СЕРНОЙ КИСЛОТЫ И ЕЕ СОЛЕЙ. ИХ НАЛИЧИЕ В ПАСТЕ ГОТОВОГО ПРОДУКТА НЕГАТИВНО СКАЗЫВАЕТСЯ НА ПРОЦЕССАХ ПРОМЫВКИ И ОБЕЗВОЖИВАНИЯ [2].

Способ, основанный на восстановлении солей двухвалентной меди металлической медью в присутствии хлоридов реализуется следующим образом:

- получение металлической меди



- синтез однохлористой меди



Несомненно, недостатком данного способа производства является ввод дополнительной стадии синтеза основного вещества и проведение его в два этапа: 1) получение металлической меди, 2) получение однохлористой меди. Однако данный недостаток компенсируется повышением выхода основного вещества и отсутствием вредных газообразных выбросов в атмосферу. Анализ достоинств и недостатков всех вышеописанных способов позволяет сделать вывод о том, что наиболее предпочтительным является метод, основанный на восстановлении двухвалентной меди металлической медью в присутствии хлоридов.

ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ДАННОГО СПОСОБА ПРОИЗВОДСТВА В РАМКАХ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА НЕОБХОДИМО ОПРЕДЕЛИТЬ НОРМЫ РАСХОДА ИСХОДНОГО СЫРЬЯ И ПОЛУПРОДУКТОВ, УСЛОВИЯ ПРОТЕКАНИЯ РЕАКЦИОННОГО ПРОЦЕССА. ДЛЯ ЭТОГО БЫЛА РАЗРАБОТАНА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА, ПРЕДСТАВЛЕННАЯ НА РИС. 1. ОНА СОСТОИТ ИЗ ЕМКОСТИ С МЕШАЛКОЙ 1 И РЕГУЛЯТОРОМ СКОРОСТИ 2. МОДЕЛЬ РЕАКТОРА 1 ИМЕЕТ РУБАШКУ. В КАЧЕСТВЕ ХЛАДАГЕНТА ИСПОЛЬЗУЕТСЯ ХОЛОДНАЯ ВОДА, ПОДАВАЕМАЯ С ПОМОЩЬЮ НАСОСА 3. РАЗДЕЛЕНИЕ ПОЛУЧАЕМОЙ СУСПЕНЗИИ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ НА ПОГРУЖНОМ ВАКУУМ – ФИЛЬТРЕ 4. ФИЛЬТРАТ СОБИРАЕТСЯ В ОТДЕЛЬНОЙ ЕМКОСТИ 6.

СИНТЕЗ МЕДИ ОСУЩЕСТВЛЯЛСЯ ПО РЕАКЦИИ (4). ДЛЯ ЭТОГО В ФАРФОРОВУЮ ЧАШКУ НАЛИВАЛИ НАСЫЩЕННЫЙ РАСТВОР МЕДНОГО КУПОРОСА ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ 20 °С И ВНОСИЛИ ПОРЦИЯМИ ПРОСЕЯННУЮ ЦИНКОВУЮ ПЫЛЬ. ПОСЛЕ ВВЕДЕНИЯ 10 Г ЦИНКОВОЙ ПЫЛИ РАСТВОР НАГРЕВАЛИ ДО 80 °С И ПОСЛЕДУЮЩИЕ ПОРЦИИ ЦИНКА ВНОСИЛИ В ГОРЯЧИЙ РАСТВОР. ПОЛУЧЕННЫЙ ПОРОШОК МЕДИ ОСАЖДАЛСЯ НА ДНО И ПРОМЫВАЛСЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ВОДОЙ, А ЗАТЕМ 10 %-НЫМ РАСТВОРОМ СОЛЯНОЙ КИСЛОТЫ. ОСАДОК СНОВА ПРОМЫВАЛИ, ФИЛЬТРОВАЛИ НА ВОРОНКЕ БЮХНЕРА И ПРОМЫВАЛИ ДО НЕЙТРАЛЬНОЙ РЕАКЦИИ ФИЛЬТРАТА.

СИНТЕЗ ОДНОХЛОРИСТОЙ МЕДИ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ ПО РЕАКЦИИ (5). ДЛЯ ЭТОГО РАСТВОРЯЛИ 240 Г МЕДНОГО КУПОРОСА И 480 Г ПОВАРЕННОЙ СОЛИ ("ЭКСТРА") В 21 Л ВОДЫ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ 70 °С. В ПОЛУЧЕННЫЙ РАСТВОР ПОМЕЩАЛИ МАРЛЕВЫЙ МЕШОЧЕК С 240 Г СВЕЖЕОСАЖДЕННОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МЕДЬЮ. ЧЕРЕЗ 10 МИНУТ ЖИДКОСТЬ ОБЕСЦВЕЧИВАЛАСЬ. РАСТВОР ОДНОХЛОРИСТОЙ МЕДИ ФИЛЬТРОВАЛИ В ЕМКОСТЬ, СОДЕРЖАЩУЮ 5 Л ВОДЫ И 20 МЛ ТЕХНИЧЕСКОЙ СОЛЯНОЙ КИСЛОТЫ. ПРИ ЭТОМ ВЫДЕЛЯЛСЯ БЕЛЫЙ ОСАДОК – ОДНОХЛОРИСТАЯ МЕДЬ В КРИСТАЛЛИЧЕСКОМ ВИДЕ. РЕАКЦИОННУЮ СМЕСЬ ВЫДЕРЖИВАЛИ В ТЕЧЕНИЕ ДВУХ ЧАСОВ, ЗАТЕМ ФИЛЬТРОВАЛИ НА ВОРОНКЕ БЮХНЕРА. ОСАДОК ОДНОХЛОРИСТОЙ МЕДИ ПЕРЕМЕШИВАЛИ В ВОРОНКЕ С 40 МЛ 2 %-НОЙ СОЛЯНОЙ КИСЛОТЫ И СНОВА ОТСТАИВАЛИ. ПОДОБНУЮ ОПЕРАЦИЮ ПОВТОРЯЛИ ДО ПОЛНОГО УДАЛЕНИЯ ИОНОВ SO_4^{2-} (ПРОБА С BaCl_2). ЗАТЕМ ОСАДОК ПРОМЫВАЛИ 50 %-НЫМ РАСТВОРОМ ЭТИЛОВОГО СПИРТА ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ 15 ... 20 °С И СУШИЛИ ПРИ 100 °С.

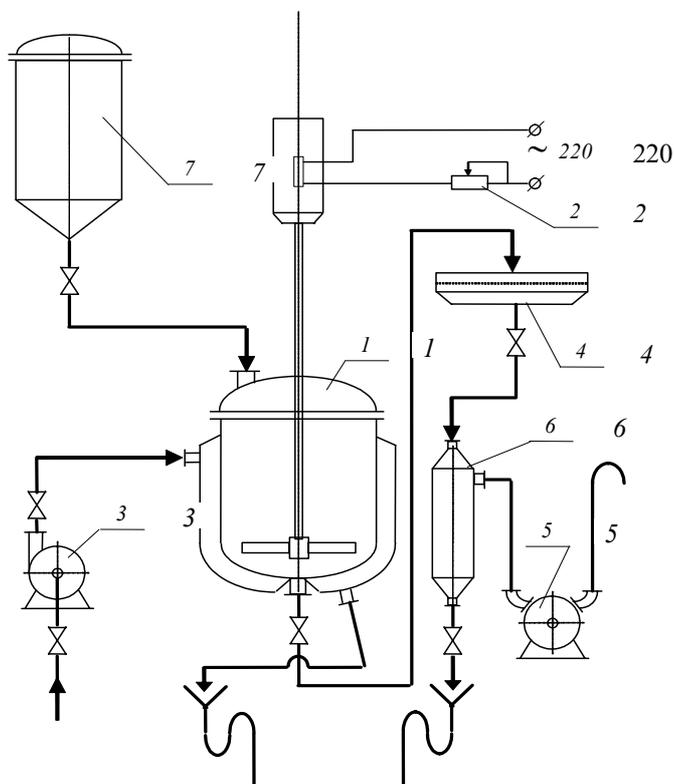


РИС. 1 СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ:

**1 – ЕМКОСТЬ С ПЕРЕМЕШИВАЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ; 2 – РЕГУЛЯТОР СКОРОСТИ
ВРАЩЕНИЯ МЕШАЛКИ; 3 – ЦЕНТРОБЕЖНЫЙ НАСОС; 4 – ЛАБОРАТОРНЫЙ ВАКУУМ-
ФИЛЬТР; 5 – ВАКУУМ-НАСОС; 6 – ЕМКОСТЬ ДЛЯ ФИЛЬТРАТА; 7 – СУСПЕНЗАТОР**

**ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ СИНТЕЗА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ
МЕДИ И ОДНОХЛОРИСТОЙ МЕДИ ПРОВОДИЛИСЬ В ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР
20 ... 110 °С. АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОЗВОЛЯЕТ СДЕЛАТЬ ВЫВОД,
ЧТО НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНАЯ ТЕМПЕРАТУРА ПРОЦЕССА ВЫДЕЛЕНИЯ МЕТАЛ-
ЛИЧЕСКОЙ МЕДИ СООТВЕТСТВУЕТ 80 ± 2 °С. ПРИ ЭТОМ КОНЦЕНТРАЦИЯ МЕДИ В
ПАСТЕ ДОСТИГАЕТ 89 %.**

**ПРОЦЕСС РАСТВОРЕНИЯ МЕДИ НАИБОЛЕЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНО ПРОВОДИТЬ ПРИ
ТЕМПЕРАТУРЕ 70 ± 2 °С.**

**АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ (ТАБЛ. 1), ПО-
ЗВОЛЯЕТ СДЕЛАТЬ ВЫВОД, ЧТО ПРЕДЛАГАЕМЫЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ОСНОВНОГО**

ВЕЩЕСТВА ЯВЛЯЕТСЯ БОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНЫМ ПО СРАВНЕНИЮ С БАЗОВЫМ (МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ МЕДНОГО КУПОРОСА БИСУЛЬФИТОМ НАТРИЯ). ОН ПОЗВОЛЯЕТ УВЕЛИЧИТЬ СОДЕРЖАНИЕ ЦЕЛЕВОГО ВЕЩЕСТВА В ПАСТЕ ДО 75 %, А ВЫХОД СО СТАДИИ С 80 ДО 93 %.

1 СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ CuCl

СПОСОБ ВЫДЕЛЕНИЯ CuCl	КОНЦЕНТРАЦИЯ CuCl В ПАСТЕ, %	СТЕПЕНЬ ПРЕВРАЩЕНИЯ	ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ПРОЦЕССА, Ч
МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ МЕДНОГО КУПОРОСА БИСУЛЬФИТОМ НАТРИЯ	60,0	80,0	15,0
МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ СОЛЕЙ ДВУХВАЛЕНТНОЙ МЕДИ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МЕДЬЮ	75,0	93,0	12,0

СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА ОДНОХЛОРИСТОЙ МЕДИ ПУТЕМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СОЛЕЙ ДВУХВАЛЕНТНОЙ МЕДИ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МЕДЬЮ ПРЕДПОЛАГАЕТ ПРИ

СИНТЕЗЕ ОСНОВНОГО ВЕЩЕСТВА ОБРАБОТКУ РАСТВОРА ОДНОХЛОРИСТОЙ МЕДИ СОЛЯНОЙ КИСЛОТОЙ. СУЩЕСТВУЕТ ДВА ВАРИАНТА ОБРАБОТКИ: 1) СОЛЯНУЮ КИСЛОТУ ПОРЦИЯМИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИМИ ВОЗМОЖНОСТЬ ОТВОДА ТЕПЛА РЕАКЦИИ, ДОБАВЛЯЮТ В РАСТВОР ОДНОХЛОРИСТОЙ МЕДИ; 2) НА ПОДГОТОВЛЕННЫЙ РАСТВОР СОЛЯНОЙ КИСЛОТЫ ПОДАЮТ ПОРЦИЯМИ РАСТВОР ОДНОХЛОРИСТОЙ МЕДИ. СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА И ОЦЕНКИ ПЕРВОГО И ВТОРОГО СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ ОДНОХЛОРИСТОЙ МЕДИ В ЛИТЕРАТУРЕ НЕ СУЩЕСТВУЕТ. ПОЭТОМУ НЕОБХОДИМО ОЦЕНИТЬ ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАЖДОГО ИЗ СПОСОБОВ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПРИВЕДЕНЫ В ТАБЛ. 2.

2 СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СПОСОБОВ ВЫДЕЛЕНИЯ CuCl

СПОСОБЫ ПОДАЧИ ОСНОВНЫХ РЕАГЕНТОВ	КОНЦЕНТРАЦИЯ CuCl В ПАСТЕ, %	ВЫХОД СОСТАВНОЙ ПОМЕДИ, %	СОДЕРЖАНИЕ ПРИМЕСЕЙ В РАСТВОРЕ, %
ПРИЛИВАНИЕ РАСТВОРА СОЛЯНОЙ КИСЛОТЫ НА РАСТВОР ОД-	53,0	50,0	29,0

НОХЛОРИСТОЙ МЕДИ			
ПРИЛИВАНИЕ РАСТВОРА ОДНО- ХЛОРИСТОЙ МЕДИ НА РАС- ТВОР СОЛЯНОЙ	75,0	93,0	7,0

Очевидно, что добавление раствора однохлористой меди к раствору соляной кислоты более целесообразно, как с точки зрения повышения концентрации однохлористой меди в пасте и степени превращения исходных реагентов, так и уменьшения содержания примесей в конечном продукте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 КАРЯКИН Ю. В., АНГЕЛОВ И. И. ЧИСТЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА. РУКОВОДСТВО ПО ПРИГОТОВЛЕНИЮ НЕОРГАНИЧЕСКИХ РЕАКТИВОВ И ПРЕПАРАТОВ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ. М.: ХИМИЯ, 1974. 264 С.
- 2 ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ВЫДЕЛЕНИЯ Р-СОЛИ / А. И. ЛЕОНТЬЕВА, Н. П. УТРОБИН, К. В. БРЯНКИН И ДР. // ВЕСТНИК ТГУ. 1997. Т. 2. ВЫП. 2. С. 230–231.

Кафедра "Технологическое оборудование и прогрессивные технологии"

УДК 66.095.264.3

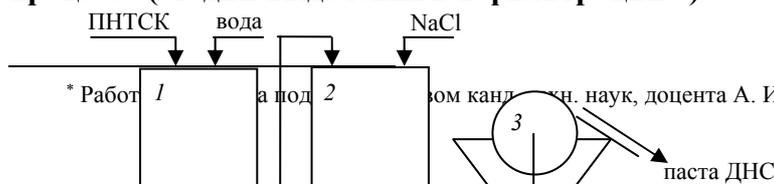
*С. В. Каретников, В. В. Фатнев, П. А. Фефелов**

ЭКОНОМИЯ РЕАГЕНТОВ В ПРОЦЕССАХ ВЫСАЛИВАНИЯ (на примере получения ДНС-кислоты)

Значительно возросшая потребность в оптических отбеливающих веществах (ООВ) продиктована широким использованием их при производстве белых красок, пластических масс, для отбеливания натуральных волокон и других материалов. 4,4'-динитростильбен-2,2'-дисульфокислота (ДНС – $C_{14}H_{10}O_6NS$) является одним из полупродуктов в производстве белофоров. Ее получение осуществляется синтезом 4-нитротолуол-2-сульфокислоты (ПНТСК – $C_7H_7O_6NS$).

Схема процесса окислительной димеризации ПНТСК приведена на рис. 1. Процесс сопровождается значительным потреблением хлорида натрия и образованием большого количества сточных вод, обогащенных этой солью (до 400 кг NaCl на 1 м³).

Для устранения указанных недостатков необходимо рассматривать эти последовательные стадии во взаимосвязи. Изменяя порядок загрузок исходных компонентов на стадии химической реакции – аппарат 1 – можно добиться уменьшения потребления сырья на последующих стадиях процесса (стадии выделения 2 и фильтрации 3).

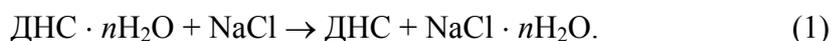


* Работ выполнено под руководством канд. техн. наук, доцента А. И. Леонтьевой и ст. науч. сотр. Б. И. Манелюк.

Рис. 1 Схема процесса окислительной димеризации ПНТСК:
 1 – реактор-окислитель; 2 – выделитель; 3 – барабанный вакуум-фильтр

Для определения порядка загрузок исходных компонентов на стадии химического взаимодействия (окислительная димеризация ПНТСК) необходимо рассмотреть стадию выделения ДНС, которое из реакционной массы проводят высаливанием [1, 2].

Условную схему процесса высаливания ДНС-кислоты с использованием NaCl можно представить следующим образом [1]:



При этом условии существует зависимость между количеством соли, необходимой для высаливания, и концентрацией ДНС в растворе.

Количество соли, необходимое для высаливания ДНС, рассчитывается по уравнению материального баланса

$$5 \cdot 10^{-4} \cdot \rho + 2168 \cdot V = (5 \cdot 10^{-4} + V) \cdot 1150, \quad (2)$$

где $5 \cdot 10^{-4}$ – объем раствора ДНС, м³; ρ – начальная плотность раствора ДНС, кг · м⁻³; 2168 – плотность соли NaCl, кг · м⁻³ [3]; V – объем соли NaCl, м³; 1150 – конечная плотность раствора ДНС с солью, кг · м⁻³.

Анализ выражения (2) показывает, что при увеличении концентрации и плотности раствора ДНС уменьшается количество соли NaCl, используемой для высаливания одного и того же количества ДНС. Увеличение концентрации, а соответственно и плотности раствора ДНС, можно достичь, уменьшая количество воды, загружаемой в реактор 1 (рис. 1).

Для проверки эффективности проведения процесса окислительной димеризации ПНТСК с уменьшенной загрузкой воды проведены экспериментальные исследования на лабораторной установке рис. 2.

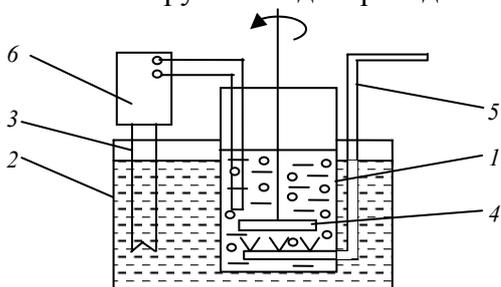


Рис. 2
 Экспериментальная установка:

- 1 – емкость;
- 2 – термостат;
- 3 – кипятильник;
- 4 – мешалка;
- 5 – барботер;
- 6 – прибор ТР-200

Проведены две серии опытов по окислению ПНТСК со следующими загрузками воды: 1200 мл и 650 мл. Эксперимент проводили следующим образом: в емкость последовательно загружали воду; мыло (0,2 г); катализатор (0,08 г); пеногаситель (трибутилофосфат, 0,6 мл); щелочь (NaOH, 150 мл, концентрация 45 %). При включенной мешалке через барботер подавали воздух ($Q = 0,6$ м³/ч). Заливали гомораствор ПНТСК (280 мл, плотность 1,186 г/см³, кислотность 179 г/л, концен-

трация 298,5 г/л). Щелочность реакционной массы доводили до 2 % путем добавления NaOH по 2 ... 5 мл.

Процесс окислительной димеризации ПНТСК проводили при температуре 52 °С. Продолжительность процесса двенадцать часов. Частота вращения мешалки во всех опытах 500 об/мин. По окончании процесса замеряли плотность реакционной массы и по уравнению материального баланса (2) определяли количество соли (NaCl) необходимое для высаливания. Расчетное количество соли (NaCl) засыпали в реактор и перемешивали в течение 30 ... 40 мин. Затем полученную реакционную массу фильтровали и определяли количество ДНС в фильтрате.

При этом установили, что при уменьшении объема загружаемой воды по истечении трех–четырёх часов после начала окисления в реакционной среде образуется осадок (промежуточный продукт– 4,4'–динитробензил–2,2'–дисульфокислоты (ДНДБ, C₁₄H₁₂O₆NS)). Образование ДНДБ в твердой фазе снижает скорость наработки ДНС практически до нуля.

Меняя технологический режим процесса окисления, можно добиться условия, при котором концентрация ДНДБ остается постоянной и не превышает степени насыщения ДНДБ в реакционной массе (т.е. ДНДБ не выпадает в осадок при большой концентрации ПНТСК). Это реализуется при параллельной загрузке ПНТСК и щелочи NaOH в аппарат в течение продолжительного времени (пять–шесть часов).

Результаты экспериментальных исследований сведены в табл. 1.

1 Количество соли, необходимой для высаливания, и ДНС в фильтрате при различных режимах проведения процесса окислительной димеризации ПНТСК

№ п/п	V _{H₂O} , мл	C _{ДНС} , г·л ⁻¹	ρ _{ДНС} , кг·м ⁻³	m _{NaCl} , кг	C _{ДНС} в фильтрате, г·л ⁻¹
1	1200	50	1068	0,097	1
2		54	1067	0,097	1,5
3		52,9	1062	0,098	1,03
4	850 (порционные загрузки)	62,3	1080	0,075	1,2
5		64	1099	0,06	1,3
6		66,8	1086	0,07	1,01
7	650	45,2	1099	0,06	1,4
8		44,3	1110	0,05	1,6
9		44	1096	0,06	1,98

Для проверки эффективности предложенного способа загрузки компонентов проведены экспериментальные исследования на лабораторной установке рис. 2.

В емкость загружали 850 мл воды. Гомораствор ПНТСК (250 мл) и NaOH (100 мл) загружали следующим образом: 10 мл ПНТСК и 3 ... 4 мл NaOH через каждые 10 минут. При первой загрузке щелочность реакционной массы доводили до 2 % путем добавления NaOH по 2 ... 5 мл. Щелочность и температуру в течение всего процесса поддерживали постоянными (2 %, t = 52 °С). Длительность процесса двенадцать часов.

По окончании процесса окислительной димеризации ПНТСК ДНС выделяли, при этом замеряли количество израсходованной соли NaCl. Результаты экспериментальных исследований сведены в табл. 1.

По данным, полученным экспериментальным путем, видно, что при использовании порционной загрузки компонентов расход воды снижается на 30 %, а соли – на 40 %. Из табл. 1 также видно, что количество ДНС, полученной в эксперименте, при загрузке воды 1200 мл и 850 мл, остается практически постоянным.

1 Лупи А., Чубар Б. Солевые эффекты в органической и металлоорганической химии. М.: Мир, 1991. 376 с.

2 Леонтьева А. И., Коновалов В. И., Брянкин К. В. и др. // ЖПХ. 2000. Т. 73. Вып. 3. С. 453–456.

3 Краткий справочник химика: Справочник / Под ред. В. И. Перельмана. М.: Химия, 1964. 624 с.

Кафедра "Технологическое оборудование и прогрессивные технологии"

УДК 547.979 + 541.14.8

*А. Н. Утробин, А. В. Щербатенко, Д. О. Толмачев**

ВЛИЯНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА НА СПЕКТР ОТРАЖЕНИЯ МИКРОГРАНУЛИРОВАННОГО ОПТИЧЕСКОГО ОТБЕЛИВАТЕЛЯ БЕЛОФОРА КД-2

Белофор КД-2 [4,4'-бис (4''-анилино-6''-морфолино-триазин-2''-ил-амино)-2,2'-стильбенсульфокислота, динатриевая соль] является наиболее широко распространенным органическим люминофором, применяемым для устранения естественной желтизны текстильных материалов. Он относится к классу бистриазиниламиностильбенов [1].

Его получают последовательным замещением атомов хлора в молекуле цианурхлорида (ЦНХ) в реакциях с 4,4'-диаминостильбен-2,2'-дисульфокислотой (ДС-кислотой), анилином и морфолином [1].

Для производных бистриазиниламиностильбенов характерно явление полиморфизма [1–3]. Отбеливатель, полученный при температуре ниже 100 °С, состоит из нетермостабильной α -модификации, имеющей желтый цвет [1–4]. При температуре выше 100 °С в присутствии щелочей или органических оснований образуется термостабильная β -форма белого цвета.

Спектрофотометрическая кривая отражения $R = f(\lambda)$ зависит от формы и размеров частиц вещества, комплексного показателя преломления связующей среды, концентрации частиц, а в случае многокомпонентных систем – от относительной концентрации и перечисленных выше свойств каждой из компонент [5]. Отмеченные закономерности были установлены для фталоцианиновых красителей. На морфологические особенности и колористические показатели также влияет и технология получения выпускных форм, что наиболее ярко проявилось на примере дисперсных красителей [6].

Авторы [7] исследовали колористические свойства белофора КД-2 и сделали вывод, что цветность продукта зависит от способа его получения.

В литературе отсутствуют данные по изучению взаимосвязи колористических свойств отбеливателей и размеров гранул, но можно предположить, что интерпретация колористических показателей и $R = f(\lambda)$ более сложная, чем в [5, 7]. Поэтому, представляло интерес исследовать влияние гранулометрического состава на спектр отражения микрогранулированного отбеливателя белофора КД-2.

Для получения микрогранулированного отбеливателя в трехгорлую колбу емкостью один литр, снабженную мешалкой, загружали: 300 мл воды, 4 г жидкого стекла и 200 г белофора КД-2. Полученную суспензию перемешивали в течение одного часа и затем добавляли 100 г водного раствора поливинилового спирта (концентрация 2 %), 4 г диспергатора НФ, 4 г ПЭГ-600 и воды до общего объема 800 мл.

Окончание процесса смешения контролировали с помощью отбора проб, которые затем анализировали на спектрофотометре СФ-26.

Полученную суспензию сушили на лабораторной распылительной сушилке ф. "NIRO-ATOMIZER Ltd." типа Mobile MINOR Unit M-02/а с объемом сушильной камеры 0,75 м³. Температура сушильного агента на входе составляла 320, на выходе 105 °С. Использовался центробежный распылитель, что частота вращения 8000 об/мин.

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доцента А. И. Леонтьевой и ст. науч. сотр. Б. И. Манелюк.

По окончании процесса сушки микрогранулированный отбеливатель просеивали на ситах с отверстиями 50, 63, 100, 160 мкм. При этом были получены образцы белофора КД-2 с размерами гранул менее

50 мкм (фракция I), 50 ... 63 мкм (фракция II), 63 ... 100 мкм (фракция III), 100 ... 160 мкм (фракция IV) и более 160 мкм (фракция V).

Для полученных образцов измеряли спектры отражения в видимом диапазоне 390 ... 760 нм. Определения проводили на цветоизмерительном комплексе "Color Eye 7000" фирмы "Gretag Macbeth" в режиме, исключающем люминесценцию отбеливателя. Результаты исследований представлены на рис. 1, из которых следует что спектры отражения для фракций I–IV очень близки и характеризуются следующими особенностями:

- минимумы в спектрах отражения излучения расположены при $\lambda = 407$ нм;
- в диапазоне длин волн 407 ... 670 нм спектры практически идентичны; незначительное различие наблюдается в области 670 ... 740 нм.

Спектр отражения фракции V отличается от спектров отражения фракций I–IV и имеет следующие особенности:

- минимум в спектре отражения для фракции V сдвинут в длинноволновую область и расположен при $\lambda = 413$ нм;
- микрогранулы фракции V в диапазоне длин волн 413 ... 720 нм отражают излучение на 4 ... 6 % меньше по сравнению с фракциями I–IV.

R

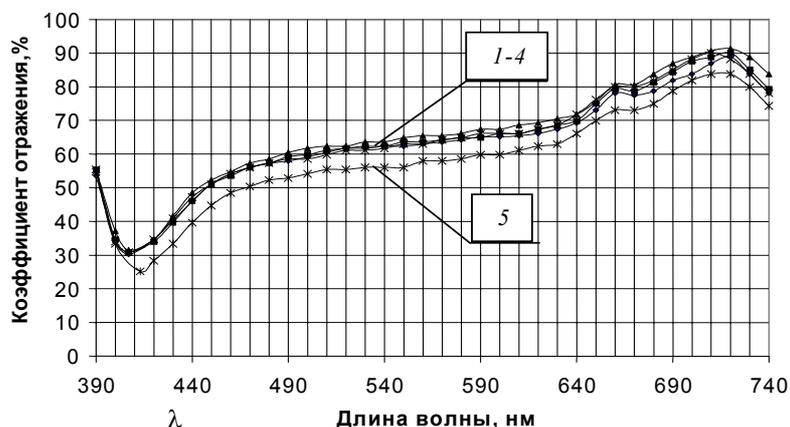


Рис. 1 Спектры отображения образцов белофора КД-2, имеющих различный гранулометрический состав:

1 – фракция I; 2 – фракция II; 3 – фракция III; 4 – фракция IV; 5 – фракция V

Из анализа зависимостей (рис. 1) можно сделать вывод, что гранулометрический состав белофора КД-2 оказывает влияние на спектр отражения в видимой области, что необходимо учитывать при проведении колористических исследований.

Наиболее оптимальными для этих целей являются фракции, имеющие наиболее узкий гранулометрический состав.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Химия синтетических красителей / Под ред. К. Венкатарамана. Л.: Химия, 1977. Т. VI. 464 с.
- 2 Патент № 1116619, Великобритания.
- 3 Патент № 162582, ЧССР.
- 4 Патент № 4326982, США.
- 5 Науменко Е. К. Применение теории рассеяния для исследования колористических свойств пигментов. Препринт № 315, АН БССР. Минск, 1983. 43 с.
- 6 Комач Л. Д. Автореф. дис. ... канд. хим. наук. М., 1989. 23 с.

Н. В. Рязанов, А. В. Голомазов, М. А. Колмакова*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ
ПОЛУЧЕНИЯ МИКРОГРАНУЛИРОВАННОГО ОТБЕЛИВАТЕЛЯ
МЕТОДОМ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СУШКИ

На качество микрогранулированного отбеливателя оказывают влияние добавки, которые используются в составе композиции для придания ему определенных свойств, например, совместимости с компонентами, входящими в состав синтетических моющих средств (СМС). Очевидно, что с этой точки зрения состав композиции отбеливателя должен быть сбалансирован с составом композиции СМС.

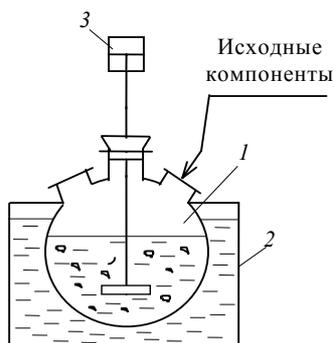
Отработку состава композиции для получения микрогранулированного белофора КД-2 проводили на экспериментальной установке, схема которой представлена на рис. 1.

При разработке состава микрогранулированной композиции учитывались следующие факторы:

- стабильность свойств водной суспензии на стадии хранения (отсутствие коагуляции);
- термическая устойчивость компонентов в процессе сушки;
- совместимость компонентов входящих в состав композиции и отсутствие химических реакций между ними;
- высокий и сохраняющийся в процессе сушки уровень белизны исходных компонентов.

РИС. 1 СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ
УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СУСПЕНЗИЙ ОПТИЧЕСКИХ
ОТБЕЛИВАТЕЛЕЙ:

- 1 – лабораторная модель реактора;
2 – термостат;
3 – перемешивающее устройство



В качестве связующих веществ используются: сахар, желатин, гликоли, карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ), поливиниловый спирт (ПВС), лактоза, декстрин и др. [1, 2]. Наибольшей эффективностью обладают водорастворимые полимеры со степенью полимеризации выше 50 [3]. Из указанных соединений сахар, желатин, гликоли, лактоза, декстрин не подходят для нашего случая, так как имеют или желтый оттенок, или являются низкомолекулярными и термочувствительными материалами.

Рассмотрение ПВС в качестве связующего показало, что водные суспензии на его основе имеют низкую стабильность при хранении. На изменение вязкости суспензий ПВС при хранении влияют различные органические и неорганические добавки. Бутиловый, изобутиловый спирты, пиридин, циклогексанол, циклогексанон, ОП-10, проксанол-168, сульфонол увеличивают стабильность водных растворов ПВС [4].

Добавление к растворам ПВС метанола, ацетона, этиленгликоля и диметилсульфоксида уменьшают их стабильность при хранении. Некоторые неорганические соли вызывают осаждение полимера. Коагулирующее действие анионов уменьшается в ряду: $\text{SO}_4^{2-} > \text{CO}_3^{2-} > \text{PO}_4^{3-}$. Лучшими осадителями ПВС являются Na_2SO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ [4].

В работе [5] было установлено, что при обработке поливинилового спирта слабыми растворами NaOH при комнатной температуре наблюдается частичная растворимость ПВС. При повышенной тем-

пературе растворимость увеличивается. Считается, что происходит поверхностная реакция между ПВС и NaOH, в результате которой образуется молекулярное соединение.

Отмеченные выше недостатки суспензий ПВС отсутствуют у суспензий на основе КМЦ. Широкое применение КМЦ в СМС обусловлено ее антиресорбционным действием, способностью усиливать суспендирующее действие неорганических электролитов и полифосфатов, стабилизировать пену и снижать зольность изделий из хлопчатобумажной ткани. Степень полимеризации КМЦ обычно составляет 300 ... 1000. Очевидно, что именно КМЦ по совокупности полифункционального действия является идеальным связующим для гранулирования отбеливателей.

Для разработки состава микрогранулированного отбеливателя готовили суспензии по следующей методике: в трехгорлую колбу емкостью 1000 мл (рис. 1) при перемешивании загружали 600 мл воды, 150 г белофора КД-2 и различные количества жидкого стекла, КМЦ, ПЭГ-600, диспергатора НФ, мочевины и NaOH. Полученную суспензию перемешивали при 20 °С в течение одного часа. Качество процесса смешения контролировали с помощью отбора проб, которые анализировали на спектрофотометре СФ-26.

Полученные суспензии с различным содержанием компонентов затем сушили на лабораторной распылительной сушилке. У высушенных образцов измеряли содержание основного вещества и коэффициент отражения R_f при $\lambda = 457$ нм. Определение R_f проводили на цветоизмерительном комплексе "Color Eye 7000" фирмы "Gretag Macbeth" в режиме, исключающем люминесценцию отбеливателя. Полученные данные представлены в табл. 1.

1 Свойства микрогранулированного белофора КД-2

в зависимости от состава

№ п/п	Загружено в реактор, масс. ч.								Свойства КД-2, м/г	
	H ₂ O	жидкое стекло	КД-2	КМЦ	ПЭГ-600	мочевина	диспергатор	NaOH	трация, %	R _f
1	600	2	200	0,5	1	—	—	2	91,9	0,46
2	600	2	200	0,5	1	2	—	2	94,6	0,53
3	600	2	200	1,5	3	3	4	2	93,2	0,48
4	600	2	200	2	4	4	2	4	92,7	0,48
5	600	2	200	2,5	5	5	4	2	91,9	0,42
6	600	2	200	3	6	6	—	4	92,0	0,43
7	600	4	200	0,5	1	1	2	2	93,7	0,49
8	600	4	200	1	2	2	4	4	91,5	0,49
9	600	4	200	1,5	3	3	2	2	91,9	0,51
10	600	4	200	2	4	4	4	4	90,8	0,42
11	600	4	200	2,5	5	5	2	2	91,5	0,42
12	600	4	200	3	6	6	4	4	89,6	0,39

13	600	6	200	1	4	–	–	4	89,9	0,50
14	600	6	200	1	4	4	–	4	91,7	0,55
15	600	6	200	1,5	3	3	2	2	91,5	0,51
16	600	6	200	2	4	4	4	4	89,7	0,40
17	600	6	200	2,5	5	5	2	2	89,7	0,35
18	600	6	200	3	6	6	4	4	86,0	0,35

Из данных табл. 1 следует, что оптимальное содержание мочевины в составе композиции 2 масс. ч. на 100 масс. ч. отбеливателя. Увеличение содержания мочевины приводит к снижению R_f . Особенно негативное воздействие на этот показатель оказывают повышенные концентрации мочевины и диспергатора НФ.

В отсутствие мочевины происходит сильное разложение продукта. Так, образец № 1 имеет теоретически рассчитанную концентрацию 97,3 %, а образец № 13 – 93,0 %. Если учесть, что в сухом продукте содержание влаги составляет 1 %, можно сделать вывод, что в процессе сушки, в этих случаях, разлагается 2 ... 4 % отбеливателя. Образец

№ 14 имеет концентрацию основного вещества 91,7 %. С учетом содержания влаги в продукте и разложения мочевины в процессе сушки, это равно теоретической концентрации основного вещества (93 %). Отбеливатель при наличии мочевины не разлагается в процессе сушки, что благоприятно сказывается на качестве микрогранулированного продукта: этот образец имеет максимальное значение R_f .

На основании полученных данных можно сделать вывод, что состав композиции под № 14 является приемлемым для получения микрогранулированного белого КД-2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Патент Швейцарии № 630947.
- 2 Патент США № 5030244.
- 3 А. с. СССР 1714013 А1.
- 4 Розенберг М. Э. Полимеры на основе винилацетата. Л.: Химия, 1983, С. 174.
- 5 Ушаков С. Н. Поливиниловый спирт и его производные. М.–Л.: АН СССР, 1960. Т. 1. С. 552.

Кафедра "Технологическое оборудование и прогрессивные технологии"

УДК 621.922.02.004.12

А. В. ЧУРИЛИН, А. А. ЕРМАКОВ, С. С. НИКУЛИН*

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АБРАЗИВНЫХ КРУГОВ

Абразивные шлифовальные круги нашли широкое применение в машиностроении. Повышение их эксплуатационных свойств (удельный объемный съем металла, стойкость, высокая теплопроводность и т.д.)

базируется на научно обоснованных рекомендациях как по выбору инструментов, режимов работы, так и по дополнительной их обработке, к которой относится пропитка импрегнаторами [1, 2].

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доцента Г. С. Кор-милыцина.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОПИТКИ ДОЛЖНО БЫТЬ ОСНОВАНО НА ЗНАНИИ ТОЧНЫХ СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АБРАЗИВНЫХ КРУГОВ. СТРУКТУРА АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА ХАРАКТЕРИЗУЕТСЯ СООТНОШЕНИЕМ ОБЪЕМОВ АБРАЗИВНЫХ ЗЕРЕН, СВЯЗКИ И ПОР. СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ СТРУКТУР ОСНОВАНА НА СОХРАНЕНИИ РАВЕНСТВА

$$V_3 + V_c + V_{\Pi} = 100\%,$$

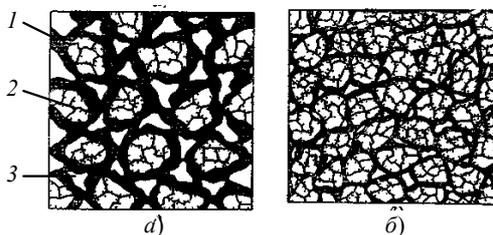
ГДЕ V_3 – ОБЪЕМ ЗЕРНА; V_c – ОБЪЕМ СВЯЗКИ; V_{Π} – ОБЪЕМ ПОР.

ИЗМЕНЯЯ ОБЪЕМ ЗЕРНА V_3 И СВЯЗКИ V_c , ПОЛУЧАЮТ АБРАЗИВНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ РАЗЛИЧНОЙ ТВЕРДОСТИ С ТЕМ ИЛИ ДРУГИМ ОБЪЕМОМ ПОР.

ОПРЕДЕЛЯЮЩИМ ПАРАМЕТРОМ СТРУКТУРЫ ЯВЛЯЕТСЯ V_3 . С УВЕЛИЧЕНИЕМ НА ОДИН НОМЕР СТРУКТУРЫ ОБЪЕМ ЗЕРНА УМЕНЬШАЕТСЯ НА 2 %, РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ ЗЕРНАМИ И РАЗМЕР ОТДЕЛЬНЫХ ПОР УВЕЛИЧИВАЕТСЯ, ОДНАКО ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ ОДИНАКОВОЙ ТВЕРДОСТИ ИНСТРУМЕНТА ОБЪЕМ СВЯЗКИ ТАКЖЕ УВЕЛИЧИВАЮТ НА 2 %, ПРИ ЭТОМ V_{Π} ОСТАЕТСЯ НЕИЗМЕННЫМ. РАЗЛИЧНЫЕ СООТНОШЕНИЯ ОБЪЕМОВ ЗЕРНА И СВЯЗКИ, ПРИ СОБЛЮДЕНИИ КОТОРЫХ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛУЧАЮТСЯ АБРАЗИВНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ РАЗЛИЧНОЙ ТВЕРДОСТИ С ТЕМ ИЛИ ДРУГИМ ОБЪЕМОМ ПОР, ПРИВЕДЕНЫ В РАБОТЕ [4].

ТАКИМ ОБРАЗОМ, АБРАЗИВНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ОДИНАКОВОЙ ЗЕРНИСТОСТИ И ТВЕРДОСТИ, НО РАЗНЫХ СТРУКТУР, РАЗЛИЧАЮТСЯ МЕЖДУ СОБОЙ ПО СТЕПЕНИ СБЛИЖЕНИЯ АБРАЗИВНЫХ ЗЕРЕН. ПРИНЯТО НАЗЫВАТЬ СТРУКТУРЫ ОТ № 1 ДО № 4 ЗАКРЫТОЙ (ПЛОТНОЙ), ОТ № 5 ДО № 8 – СРЕДНЕЙ, ОТ № 9 ДО № 16 – ОТКРЫТОЙ. ЧЕМ БОЛЬШЕ НОМЕР СТРУКТУРЫ, ТЕМ БОЛЬШЕ РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ ЗЕРНАМИ, Т.Е. ИНСТРУМЕНТ БУДЕТ ИМЕТЬ БОЛЕЕ ОТКРЫТУЮ СТРУКТУРУ.

НА РИС. 1 ПРЕДСТАВЛЕНЫ АБРАЗИВНЫЕ КРУГИ С РАЗЛИЧНОЙ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРОЙ [3].



**РИС. 1 СТРУКТУРА АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА:
А – ОТКРЫТАЯ; Б – ПЛОТНАЯ;**

1 – КЕРАМИЧЕСКАЯ СВЯЗКА; 2 – АБРАЗИВНОЕ ЗЕРНО; 3 – ПОРОВОЕ ПРОСТРАНСТВО
АВТОРАМИ НАСТОЯЩЕЙ СТАТЬИ ПРОВЕДЕНА СЕРИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОТКРЫТОЙ ПОРИСТОСТИ АБРАЗИВНЫХ КРУГОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В МАШИНОСТРОЕНИИ. ОПЫТЫ ПРОВОДИЛИСЬ С КРУГАМИ ИЗ ЭЛЕКТРОКОРУНДА БЕЛОГО НА КЕРАМИЧЕСКОЙ СВЯЗКЕ ТИПА ПП С ЗЕРНИСТОСТЬЮ 16 ... 40, ТВЕРДОСТЬЮ ОТ М ДО СТ2 И НОМЕРАМИ СТРУКТУР 5 И 6.

ОТКРЫТАЯ ПОРИСТОСТЬ АБРАЗИВНОГО МАТЕРИАЛА ОПРЕДЕЛЯЛАСЬ ВЕСОВЫМ МЕТОДОМ ПРИ ПРОПИТКЕ ОБРАЗЦОВ ВОДОЙ ПОД ВАКУУМОМ. ИЗ АБРАЗИВНОГО КРУГА ВЫКАЛЫВАЛИ ОБРАЗЦЫ, КОТОРЫЕ ПОДСУШИВАЛИ И ТЕРМОСТАТИРОВАЛИ ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ В БЮКСАХ. ЗАТЕМ ОБРАЗЦЫ ВЗВЕШИВАЛИ НА АНАЛИТИЧЕСКИХ ВЕСАХ, ПРОПИТЫВАЛИ ПОД ВАКУУМОМ ДИСТИЛЛИРОВАННОЙ ВОДОЙ И ВНОВЬ ВЗВЕШИВАЛИ. ОТКРЫТУЮ ПОРИСТОСТЬ ОПРЕДЕЛЯЛИ ПО ОБЪЕМУ ВОДЫ, КОТОРАЯ ЗАПОЛНЯЛА ПОРЫ. ИССЛЕДОВАНИЯ ПОКАЗАЛИ, ЧТО ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ХОРОШО КОРРЕЛИРУЮТСЯ С ЛИТЕРАТУРНЫМИ ДАННЫМИ [4, 5].

Проведенная серия экспериментов показала, что открытая пористость кругов изменялась в пределах 32 ... 42 %. Существенным оказалось то, что образцы, взятые из периферийной области круга, имеют пористость на 6 % больше, чем образцы из области, расположенной ближе к посадочному отверстию.

Во второй серии опытов исследуемые образцы подвергали пропитке дистиллированной водой при атмосферном давлении. Эксперименты свидетельствуют, что около 15 % открытых пор не пропитываются под атмосферным давлением водой (по сравнению с пропиткой под вакуумом).

Опыты по кинетике пропитки образцов водой при атмосферном давлении показали, что открытые поры абразивного круга марки 25А16СТ25КБ3 максимально насыщаются за первые пять минут. Самая высокая скорость насыщения наблюдается в первые три минуты (рис. 2). Приведенная кривая позволяет рассчитать скорость пропитки абразивного круга данной структуры

$$W = 1,915 \tau; \quad W = \frac{dU}{d\tau},$$

где W – скорость пропитки; U – влажность; τ – время.

По результатам исследований можно сделать следующие выводы.

При обработке абразивных кругов импрегнаторами, адгезионно-кагезионные свойства которых аналогичны воде, периферийная (по радиусу) область круга, возможно, будет иметь больше пропиточного материала, чем область, расположенная ближе к посадочному отверстию. Следовательно, область круга с большим количеством импрегнатора будет иметь большую стойкость при его эксплуатации, чем круг в целом. Кроме того, несмотря на высокую скорость пропитки абразивного материала при атмосферном давлении, значительное количество пор не заполняется импрегнатором. Поэтому необходимо экономически обосновывать пропитку абразивных кругов импрегнатором под вакуумом.

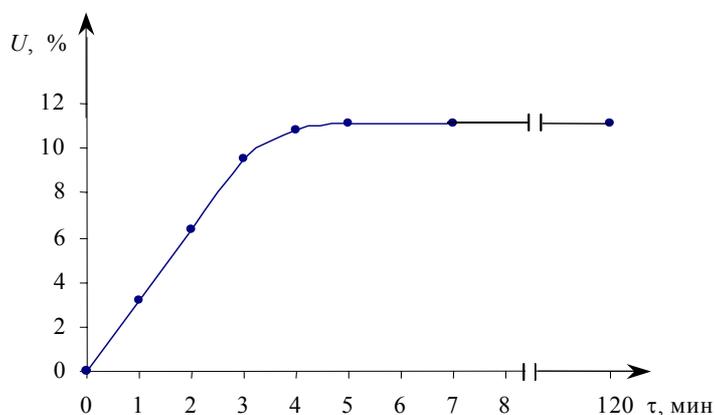


Рис. 2 Кривая пропитки абразивного круга марки 25А16СТ25КБ3

- 1 Гороховский Г. А. Полимеры в технологии обработки металлов: Моногр. / Г. А. Гороховский. Киев: Наукова думка, 1975. 224 с.
- 2 А.с. 1604590 СССР, МКИ В24D 3/34. Способ импрегнирования абразивного инструмента на основе корунда / Н. Ф. Майникова, С. М. Опарин, Ю. В. Воробьев, В. А. Рошин // Бюл. изобрет. 1990. № 41.
- 3 Наерман М. С. Справочник молодого шлифовальщика. М.: Высш. шк., 1985. 207 с.
- 4 Попов С. А., Ананьян Р. В. Шлифование высокопористыми кругами. М.: Машиностроение, 1980. 77 с.
- 5 Муцянюк В. И. Основы выбора шлифовальных кругов и подготовка их к эксплуатации. Л.: Машиностроение, 1997. 133 с.

КАФЕДРА "ГИДРАВЛИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА"

УДК 621.43:629.114.2:62

*С. В. Кочергин**

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНТАКТНОГО ТЕРМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬНОМ УСТРОЙСТВЕ НА ДИНАМИКУ РАЗОГРЕВА МОТОРНОГО МАСЛА

ВО МНОГИХ СЛУЧАЯХ ПРИ ТЕПЛОВЫХ РАСЧЕТАХ КОНСТРУКЦИЙ ВОЗНИКАЕТ НЕОБХОДИМОСТЬ УЧЕТА ТЕРМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КОНТАКТА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ, ОБУСЛОВЛЕННОГО ДИСКРЕТНЫМ ХАРАКТЕРОМ СОПРИКОСНОВЕНИЯ. НАЛИЧИЕ ЭТОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИВОДИТ К ТЕМПЕРАТУРНОМУ СКАЧКУ МЕЖДУ СОПРИКАСАЮЩИМИСЯ ПОВЕРХНОСТЯМИ И, СООТВЕТСТВЕННО, К УВЕЛИЧЕНИЮ ОБЩЕГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ПЕРЕПАДА В СОСТАВНЫХ ДЕТАЛЯХ [1].

В НАГРЕВАТЕЛЬНОМ УСТРОЙСТВЕ, ВЫПОЛНЕННОМ НА ОСНОВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ САМОРЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (ПОЗИСТОРОВ) ИМЕЕТСЯ ТЕПЛОВОЙ КОНТАКТ МЕЖДУ КОРПУСОМ УСТРОЙСТВА И ПОЗИСТОРОМ. ТАК КАК ПОВЕРХНОСТИ ПОЗИСТОРОВ И КОРПУСА УСТРОЙСТВА ИМЕЮТ ШЕРОХОВАТОСТИ И НЕРОВНОСТИ, ТО КОНТАКТ МЕЖДУ НИМИ ИМЕЕТ ДИСКРЕТНЫЙ ХАРАКТЕР, Т.Е. СОПРИКОСНОВЕНИЕ ПРОИСХОДИТ В ОТДЕЛЬНЫХ ТОЧКАХ (ПЯТНАХ) ИЛИ ГРУППАХ ТОЧЕК НОМИНАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ. ТАКИМ ОБРАЗОМ, ПЕРЕДАЧА ТЕПЛА ПРОИСХОДИТ ЧЕРЕЗ МЕСТА ФАКТИЧЕСКОГО КОНТАКТА, ГДЕ НАБЛЮДАЕТСЯ ТЕМПЕРАТУРНЫЙ СКАЧОК, ВЕЛИЧИНА КОТОРОГО ЗАВИСИТ ОТ ТЕРМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КОНТАКТА R_k [1]:

$$R_k = \frac{1}{\alpha_k} = -\frac{\Delta T}{\lambda \frac{dT}{dx}}, \quad (1)$$

ГДЕ α_k – УСЛОВНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООТДАЧИ КОНТАКТНОЙ ПОВЕРХНОСТИ, ИЛИ ТЕПЛОВАЯ ПРОВОДИМОСТЬ КОНТАКТА, $Вт/м^2 \cdot ^\circ C$; ΔT – ТЕМПЕРАТУРНЫЙ НАПОР В ЗОНЕ КОНТАКТА, $^\circ C$; λ – КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СРЕДЫ В ЗОНЕ КОНТАКТА, $Вт/м \cdot ^\circ C$; DT / DX – ГРАДИЕНТ ТЕМПЕРАТУРЫ.

ТАК КАК ПОЗИСТОР ОБЛАДАЕТ ВЫСОКИМ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМ ТЕМПЕРАТУРНЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ СОПРОТИВЛЕНИЯ (ТКС), РАВНЫМ 15 % / $^\circ C$ [2], КОТОРЫЙ ПОКАЗЫВАЕТ СКОРОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОЗИСТОРА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ, ТО ПРИ

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. В. Ф. Калинина и д-ра техн. наук А. М. Шувалова.

БОЛЬШИХ ЗНАЧЕНИЯХ ТЕРМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КОНТАКТА ПРОИСХОДИТ ИХ САМОРАЗОГРЕВ. В РЕЗУЛЬТАТЕ ЭТОГО СНИЖАЕТСЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЗИСТОРОВ ИЗ-ЗА МАЛОЙ ОТБИРАЕМОЙ ОТ НИХ МОЩНОСТИ. ЧТОБЫ БОЛЕЕ ПОДРОБНО ИССЛЕДОВАТЬ ВЛИЯНИЕ КОНТАКТНОГО ТЕРМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬНОМ УСТРОЙСТВЕ НА ДИНАМИКУ ПРОЦЕССА РАЗОГРЕВА МОТОРНОГО МАСЛА В ДВИГАТЕЛЕ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ПЕРЕД ЕГО ЗАПУСКОМ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, БЫЛА РАЗРАБОТАНА МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

$$t_1 = t_2 = t_3 = t_4 = -30 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$P_{yc}(t_1) = \frac{nU^2}{8,67 - 0,0302t_1} \text{ ПРИ } T_1 \leq 130 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$P_{yc}(t_1) = \frac{nU^2}{1,68 \cdot 10^{-7} e^{0,132t_1}} \text{ ПРИ } T_1 \geq 130 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\frac{dt_1}{d\tau} = \frac{P_{yc}(t_1) - \alpha_{12}(t_1 - t_2)F_1}{C_1M_1} (2);$$

$$\frac{dt_2}{d\tau} = \frac{\alpha_{12}(t_1 - t_2)F_1 - \alpha_{23}(t_2 - t_3)F_2}{C_2M_2};$$

$$\frac{dt_3}{d\tau} = \frac{\alpha_{23}(t_2 - t_3)F_2 - \alpha_{34}(t_3 - t_4)F_3 - \alpha_{3cc}(t_3 - t_{3cc})F_{3cc}}{C_3M_3};$$

$$\frac{dt_4}{d\tau} = \frac{\alpha_{34}(t_3 - t_4)F_3 - \alpha_{4cc}(t_4 - t_{4cc})F_4}{C_4M_4},$$

где $t_1, t_2, t_3, t_4, t_{cp}$ – температура позисторов, корпуса устройства, моторного масла, поддона картера, окружающей среды, соответственно, $^\circ\text{C}$;
 τ – время нагрева моторного масла, с; $P_{yc}(t_1)$ – мощность электронагревательного устройства на участках при $t_1 \leq 130 \text{ }^\circ\text{C}$ и $t_1 \geq 130 \text{ }^\circ\text{C}$, Вт;
 C_1, C_2, C_3, C_4 – удельная теплоемкость позисторов, корпуса устройства, моторного масла, поддона картера соответственно, Дж/кг \cdot К; α_{12} – коэффициент теплоотдачи от позисторов к корпусу устройства, Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{K}$);
 $\alpha_{13}, \alpha_{23}, \alpha_{34}, \alpha_{3cp}, \alpha_{4cp}$ – коэффициенты теплоотдачи от позисторов и пластины к моторному маслу, от моторного масла к поддону картера, от моторного масла во внутрикартерный воздух, от поддона картера в окружающую среду, соответственно, Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{K}$); $F_1, F_2, F_3, F_{3cp}, F_{4cp}$ – суммарная площадь позисторов, корпуса устройства, поверхности теплоотдачи моторного масла к поддону картера, поверхности теплоотдачи моторного масла во внутрикартерный воздух, поверхности поддона картера, соответственно, м^2 ;
 M_1, M_2, M_3, M_4 – масса позисторов, моторного масла, корпуса устройства, поддона картера, кг; n – количество параллельно соединенных позисторов; U – напряжение питания устройства, В.

Рассмотрим, какое влияние оказывает α_{12} на динамику мощности устройства и температуры моторного масла в поддоне картера двигателя КАМАЗ. Для этого проведем теоретические исследования используя математическую модель (2), варьируя параметр $\alpha_{12} = 300 \dots 7000 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$ [1], где указываются возможные термические сопротивления между полупроводниковыми приборами и их теплоотводами при прижимном контакте. Температура окружающей среды принята равной минус 30 $^\circ\text{C}$.

В результате обработки данных теоретических исследований на персональном компьютере по разработанной программе в C^{++} , был установлен характер изменения динамики мощности электронагревательного устройства (рис. 1) и температуры моторного масла (рис. 2) при различных значениях коэффициента теплоотдачи от позистора к корпусу устройства.

$P, \text{Вт}$

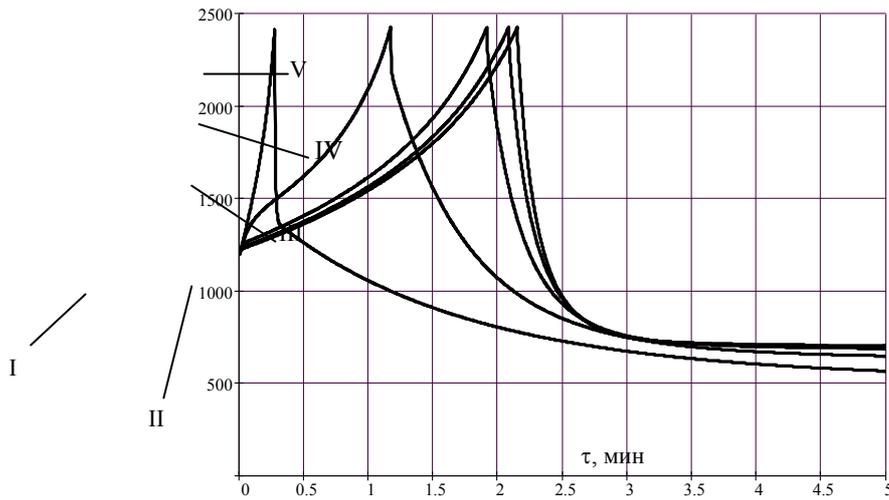


Рис. 1 Динамика мощности УЭМС:

I, II, III, IV, V – при $\alpha_{12} = 300, 1000, 3000, 5000, 7000 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$

$t_3, \text{°C}$

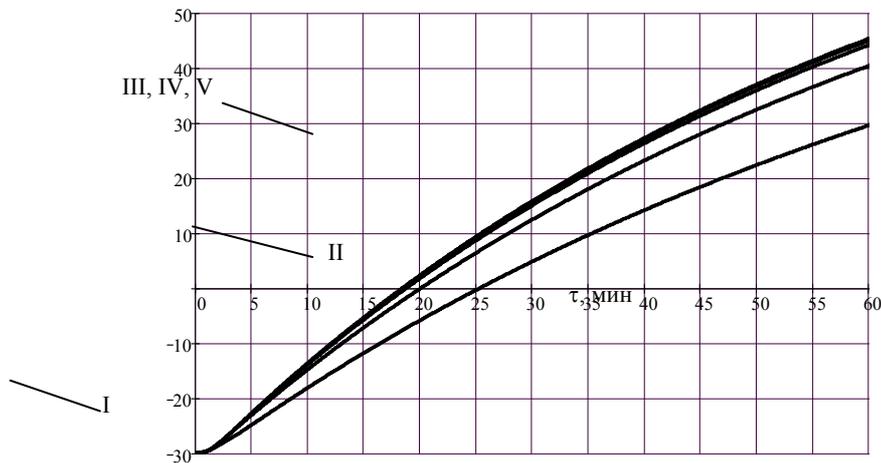


Рис. 2 Динамика температуры моторного:

I, II, III, IV, V – при $\alpha_{12} = 300, 1000, 3000, 5000, 7000 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$

ПРИ ЗНАЧЕНИЯХ $\alpha_{12} = 300 \dots 3000 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ ДИНАМИКИ МОЩНОСТИ СУЩЕСТВЕННО ОТЛИЧАЮТСЯ ДРУГ ОТ ДРУГА, Т.Е. ПРОИСХОДИТ УВЕЛИЧЕНИЕ СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ УСТРОЙСТВА ЗА ПРОЦЕСС НАГРЕВА $700 \dots 1000 \text{ Вт}$ И СОКРАЩЕНИЕ ВРЕМЕНИ РАЗОГРЕВА МОТОРНОГО МАСЛА НА 15 МИН. ОДНАКО ПРИ ЗНАЧЕНИЯХ $\alpha_{12} = 3000 \dots 7000 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ ПРОИСХОДИТ УВЕЛИЧЕНИЕ СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ УСТРОЙСТВА ВСЕГО НА 15 Вт, А ВРЕМЯ РАЗОГРЕВА СОКРАЩАЕТСЯ ЛИШЬ НА ТРИ МИНУТЫ. ТАКИМ ОБРАЗОМ, В ХОДЕ ИССЛЕДОВАНИЙ КОНТАКТНОГО ТЕРМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МЕЖДУ ПОЗИСТОРОМ И КОРПУСОМ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА МОТОРНОГО МАСЛА УСТАНОВЛЕНО, ЧТО ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЗИСТОРОВ НЕОБХОДИМО, ЧТОБЫ КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООТДАЧИ α_{12} НАХОДИЛСЯ В ПРЕДЕЛАХ $3000 \dots 7000 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **КОНТАКТНОЕ ТЕРМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ / Ю. П. ШЛЫКОВ И ДР. М.: ЭНЕРГИЯ, 1977. 328 С.**
- 2 **МЭКЛИН Э. Д. ТЕРМОРЕЗИСТОРЫ / ПЕР. С АНГЛ. ПОД ОБЩ. РЕД. К. И. МАР-**

А. В. САМОДУРОВ*

*ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СЖИГАНИЯ ЛУЗГИ ГРЕЧИХИ
В ТОПКЕ С КИПЯЩИМ СЛОЕМ*

В последние годы ситуация с энергообеспечением сельхозпредприятий резко изменилась. Невероятный рост цен на энергоносители значительно увеличил (до 20 ... 40 %) долю энергозатрат в себестоимости сельхозпродукции. Это принуждает к изысканию новых более экономичных вариантов энергообеспечения, одним из которых является использование биомассы растительных отходов сельскохозяйственного производства.

ОСОБЫЙ ИНТЕРЕС, С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ, ПРЕДСТАВЛЯЮТ МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ РАСТИТЕЛЬНЫЕ ОТХОДЫ, ПОЛУЧАЕМЫЕ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ КРУПЯНЫХ, ТЕХНИЧЕСКИХ И ДРУГИХ КУЛЬТУР. ДЛЯ ПОДОБНЫХ ОТХОДОВ, ЕСЛИ РАССМАТРИВАТЬ ИХ В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА, НЕ ТРЕБУЕТСЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА ПЕРЕД СЖИГАНИЕМ (РАСПИЛКА, ДРОБЛЕНИЕ, ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ) И ПОТРЕБИТЕЛЕМ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ, ПОЛУЧЕННОЙ ПРИ СЖИГАНИИ, ЯВЛЯЕТСЯ ПРОИЗВОДСТВО, В РЕЗУЛЬТАТЕ РАБОТЫ КОТОРОГО ОБРАЗУЮТСЯ ОТХОДЫ.

ОДНАКО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭТИХ ОТХОДОВ В ВИДЕ ТОПЛИВА В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ НАБЛЮДАЕТСЯ ЛИШЬ В РЕДКИХ СЛУЧАЯХ И ТО ПРЕИМУЩЕСТВЕННО С ЦЕЛЬЮ УТИЛИЗАЦИИ, ЧЕМУ СПОСОБСТВУЕТ РЯД ПРИЧИН И НЕ В МАЛОЙ СТЕПЕНИ ОТСУТСТВИЕ НАУЧНОЙ БАЗЫ И ПРАКТИЧЕСКОГО ОПЫТА. В ТО ЖЕ ВРЕМЯ РАСТИТЕЛЬНАЯ БИОМАССА ОТНОСИТСЯ К ЧИСЛУ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ ТОПЛИВ. ТЕПЛОТВОРНАЯ СПОСОБНОСТЬ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ СОПОСТАВИМА С ТЕПЛОТВОРНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ БУРОГО УГЛЯ. ТАК, НИЗШАЯ ТЕПЛОТВОРНАЯ СПОСОБНОСТЬ ЛУЗГИ ПОДСОЛНЕЧНИКА СОСТАВЛЯЕТ 4370 ККАЛ/КГ, ЛУЗГИ ГРЕЧИХИ 3830 ККАЛ/КГ, А БУРОГО УГЛЯ ПОРЯДКА 4000 ККАЛ/КГ [1, 2]. КРОМЕ ТОГО, В РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДАХ СОДЕРЖИТСЯ МАЛОЕ КОЛИЧЕСТВО СЕРЫ (ОКОЛО 0,1 ... 0,2 %), А ЗОЛЬНОСТЬ НЕ ПРЕВЫШАЕТ 2 ... 3 % [1].

ВСЕМ МЕЛКОЗЕРНИСТЫМ ОТХОДАМ ХАРАКТЕРНЫ ТАКИЕ СВОЙСТВА, КАК НИЗКАЯ НАСЫПНАЯ ПЛОТНОСТЬ И ВЫСОКАЯ ПАРУСНОСТЬ, ЧТО НАКЛАДЫВАЕТ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ НА СПОСОБ СЖИГАНИЯ И МЕХАНИЗАЦИЮ ПОДАЧИ В ТОПКУ. ВИИТИНОМ РАЗРАБОТАНО ТОПОЧНОЕ УСТРОЙСТВО, ПОЗВОЛЯЮЩЕЕ СЖИГАТЬ МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ ОТХОДЫ В КИПЯЩЕМ СЛОЕ С ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ПОДАЧЕЙ ТОПЛИВА.

СЛЕДУЮЩИМ ЭТАПОМ РАБОТЫ ЯВЛЯЛОСЬ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ЭФФЕКТИВНОГО СЖИГАНИЯ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ (НА ПРИМЕРЕ ЛУЗГИ ГРЕЧИХИ) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ ПЛАНИРОВАНИЯ МНОГОФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА.

Основным критерием, характеризующим качество работы топочного устройства, является обеспечение наибольшей полноты сгорания топлива, о которой судят по величине химического и механического недожогов. Кроме того, немаловажное значение имеет коэффициент избытка воздуха α , который обеспечивает наибольшую полноту сгорания. При этом, чем ближе значение α к единице, тем совершеннее организован топочный процесс. Уменьшение избытка воздуха дает экономию расхода

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. В. Ф. Калинина и д-ра техн. наук А. М. Шувалова.

энергии на привод тягодутьевых машин и повышает коэффициент полезного действия котла. Однако его снижение ниже оптимального ведет к росту недожога топлива и к снижению экономичности котла [3]. Увеличение расхода воздуха сверх оптимального приводит к снижению температуры на выходе топочного устройства и уменьшает температурный напор в тепловоспринимающих устройствах – потребителях теплоты вырабатываемой топочным устройством (котлы, теплогенераторы и т.д.) и способствует снижению их коэффициента полезного действия.

Определение химического и механического недожогов при большем количестве опытов является весьма сложной и трудоемкой задачей, требующей дорогостоящих приборов. В качестве параметра, по которому можно судить о полноте сгорания топлива, выбрана средняя установившаяся температура дымовых газов на выходе из топочного устройства.

По результатам поисковых опытов в качестве факторов влияющих на процесс горения, выбраны расходы воздуха под воздухораспределительную решетку и в пневмозабрасыватель топлива, а также высота расположения пневмозабрасывателя над поверхностью воздухораспределительной решетки.

При этом расход топлива поддерживался постоянным на расчетном уровне 105 кг/ч.

Для оценки влияния каждого фактора на процесс горения, согласно теории планирования многофакторного эксперимента, принят некомпозиционный план второго порядка на кубе типа Бокса-Бенкина [4]. Для обеспечения равномерности внесения элемента случайности влияния неуправляемых и неконтролируемых факторов на отклик использована рандомизация проведения опытов.

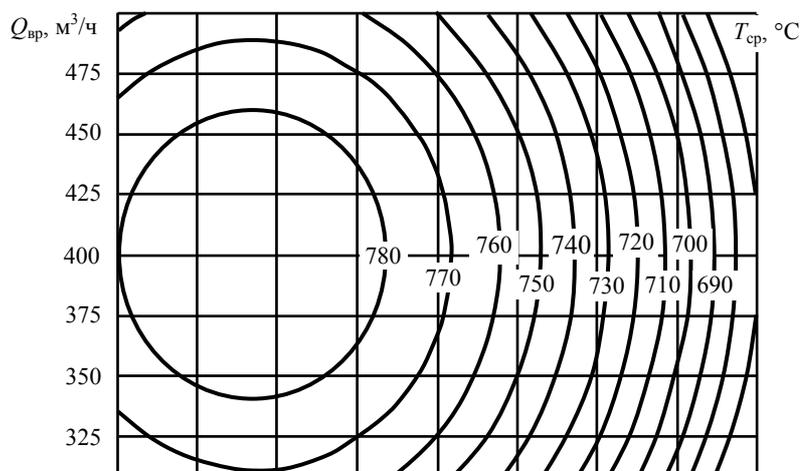
В результате статистической обработки опытных данных найдена полиномиальная зависимость средней установившейся температуры дымовых газов от вышеуказанных факторов:

$$T_{\text{ср}} = 772,53 - 27,21h - 27,25hQ_{\text{вз}} - 47,33h^2 - 22,83Q_{\text{вр}}^2,$$

где h – высота расположения забрасывателя, м; $Q_{\text{вр}}$ – расход воздуха под воздухораспределительную решетку, м³/ч; $Q_{\text{вз}}$ – расход воздуха в забрасыватель, м³/ч.

Оценка значимости коэффициентов модели производилась с использованием критерия Стьюдента. В случае отсеивания коэффициентов при квадратичных членах значения остальных уточнялись по методу наименьших квадратов. Адекватность полученной модели проверялась по критерию Фишера.

Для установления оптимального режима горения по полученному уравнению регрессии построена поверхность отклика при фиксированном значении одного из факторов ($Q_{\text{вз}} = 1$, в кодированном виде), которая представлена на рис. 1.



АНАЛИЗ ПОВЕРХНОСТИ ПОКАЗАЛ, ЧТО МАКСИМАЛЬНАЯ ТЕМПЕРАТУРА ДОСТИГАЕТСЯ ПРИ РАСХОДАХ ВОЗДУХА ПОД ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНУЮ РЕШЕТКУ И В ПНЕВМОЗАБРАСЫВАТЕЛЬ РАВНЫХ СООТВЕТСТВЕННО 400 И 125 М³/Ч И ВЫСОТЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЗАБРАСЫВАТЕЛЯ НАД ПЛОСКОСТЬЮ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ РЕШЕТКИ 0,5 М.

УДЕЛЬНЫЙ РАСХОД ВОЗДУХА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЙ НАИБОЛЬШУЮ ПОЛНОТУ СГОРАНИЯ, СОСТАВЛЯЕТ 5 М³/КГ, А КОЭФФИЦИЕНТ ИЗБЫТКА ВОЗДУХА α , ПРИ СТЕХИОМЕТРИЧЕСКИ НЕОБХОДИМОМ РАСХОДЕ ВОЗДУХА, РАВНОМ 3,82 М³/КГ, СОСТАВЛЯЕТ 1,3.

ПОЛУЧЕННЫЕ В ХОДЕ МНОГОФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА РЕЗУЛЬТАТЫ МОГУТ ПРИМЕНЯТЬСЯ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ЭФФЕКТИВНОГО ПРОЦЕССА СЖИГАНИЯ ЛУЗГИ ГРЕЧИХИ, А УРАВНЕНИЕ РЕГРЕССИИ МОЖЕТ БЫТЬ ИСПОЛЬЗОВАНО ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТОПОЧНЫХ УСТРОЙСТВ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА ЛУЗГУ ГРЕЧИХИ.

Список литературы

- 1 РОДДАТИС К. Ф. КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ. М.: ЭНЕРГИЯ, 1977.
- 2 СОВЕТСКОЕ МУКОМОЛЬНОЕ ХЛЕБОПЕЧЕНИЕ. 1938. № 1.
- 3 КУЗНЕЦОВ Н. М., БЛИНОВ Е. А., КУЗНЕЦОВ А. Н. ТОПЛИВО. МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ: УЧЕБ. ПОСОБИЕ. Л.: СЗПИ, 1989. 86 С.
- 4 МЕЛЬНИКОВ С. В., АПЕЛКИН В. Р., РОЩИН П. М. ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА В ИССЛЕДОВАНИЯХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ. Л.: КОЛОС, 1980. 168 С.

Кафедра "Электрооборудование и автоматизация"

УДК 62-252.2.001.57

*М. Е. Мандрыка**

СУХИЕ ПОРОШКООБРАЗНЫЕ НАПИТКИ

Мировая тенденция развития пищевых концентратной промышленности ориентирована в настоящее время на создание новых безотходных технологий промышленного выпуска сухих натуральных готовых товарных форм (ГТФ) с заданными свойствами и минимальным временем восстановления, наряду с максимальным сохранением биологически активных веществ в готовом продукте.

В настоящее время пищевую концентратную промышленность России, в силу известных экономических

причин, нельзя отнести к динамично развивающимся отраслям в отличие от передовых зарубежных

государств. Предприятия этой отрасли размещены крайне неравномерно, в основном, в европейской

* Работа выполнена под руководством проф. В. Ф. Першина.

части России, и тяготеют к ее центру. Только в Москве и Московской области производится 35 % всего объема пищевого концентрата. Крупные предприятия расположены в Москве, Санкт-Петербурге, Серпухове, Ростове Великом, Грязи (Липецкой обл.), Детчино (Калужской обл.).

Душевое потребление сухих концентратов в России составляет в среднем 1,4 кг, в развитых странах Европы (Германия, Великобритания, Швейцария) – 3 ... 7 кг в год [1]. Потребность в этих продуктах не обеспечивается, так как производственные мощности Российских предприятий в последнее десятилетие сокращались из-за низкого технического и технологического уровня. Значительная доля активных производственных фондов отечественных предприятий составляет оборудование, эксплуатируемое более 20 лет. Производственные мощности отечественных предприятий составляет оборудование, морально и физически устаревшее; велика доля импортного оборудования, закупленного в 1960–1970 гг. и практически выработавшего свой ресурс. Таким образом, задача комплексной разработки новых современных технологий со специализированным оборудованием является весьма актуальной.

Доля быстрорастворимых продуктов (инстант-продукты, сокращенно ИП) в структуре питания развитых стран весьма значительна и имеет устойчивую тенденцию к повышению, поэтому разработка современных рецептур, на основе натуральных биологически активных компонентов, в том числе функционально-целевых, новых безотходных технологий на базе специализированного отечественного оборудования и организация их промышленного выпуска в различных регионах России является необходимым вкладом в организацию отечественного здорового питания.

В рамках решения существующей проблемы разработаны рецептуры сухих порошкообразных натуральных напитков ("Славянка", "Дельфин", "Восток", "Гусарская баллада", "Рекордсмен", "Шипучка вишневая", "Шипучка облепиховая", "Шипучка цитрусовая", "Дальнобойщик") [2], предназначенных для комплектования рационов питания спецконтингентов силовых структур России, а также современная безотходная технология базирующаяся на отечественном специализированном оборудовании в виде комплектных многоцелевых установок. Разработанная технологическая блок-схема включает в себя следующие стадии:

- измельчение и классификация исходного дисперсного сырья;
- приготовление экстрагентов (растворителей);
- экстракция подготовленного дисперсного сырья в системе "Твердое тело-жидкость";
- осветление полученных экстрактов;
- концентрирование осветленных экстрактов;
- приготовление концентрированной жидкостной части базовой композиции с ее гомогенизацией;
- приготовление сухой базовой композиции путем купажирования, пропитки, агломерации и сушки сахара и жидкостной части базовой композиции;
- классификация и измельчение сухой базовой композиции;
- получение готового продукта – сухого концентрата, путем финишного купажирования сухой базовой композиции с дисперсными компонентами и ароматизаторами;
- фасовка готового продукта в разовую или крупнодозовую тару;
- групповая упаковка расфасованных единиц.

Основным звеном технологической схемы, является установка на базе аппарата, предназначенного для проведения совмещенных процессов – смешивания дисперсной и жидкой фаз, пропитки, агломерации и сушки. Конструктивные возможности аппарата и режимные параметры совмещенных процессов, проводимых в нем, позволяют перерабатывать в периодических режимах многокомпонентные высоколипкие системы с сохранением биологически активных составляющих природного сырья и получением ГТФ в виде сухих концентратов напитков со сроками годности до 36 месяцев (рис. 1).

Аппарат представляет собой цилиндрическую обечайку с крышкой и днищем, снабжен рубашкой для теплоносителя, перемешивающим устройством, с низкооборотным приводом (30 об/мин).

Процесс получения сухого концентрата осуществляется путем разогрева определенной дозы сахарного песка, загруженного в аппарат, с дальнейшим дозированным вводом на поверхность сахара жидкостной концентрированной многокомпонентной композиции. Таким образом, в одном аппарате одновременно проводят, так называемые, совмещенные процессы: купажирование сахара с жидкостным концентратом с одновременной пропиткой, агломерирование частиц сахара за счет вносимых сухих веществ с жидкой фазой, сушки образовавшихся агломератов. Поскольку в обрабатываемой

многокомпонентной системе "сахар – жидкостная концентрированная композиция" необходимо сохранить биологически активные вещества в получаемом полупродукте, процесс получения сухой базовой композиции ведется при вакуумировании со степенью разрежения 0,85 ... 0,95 и температуре 50 ... 60 °С с очень интенсивным послойным перемешиванием влажной дисперсной массы. Базовая композиция обезвоживается до влажности не выше 2 %, имея в своем составе все необходимые биологически активные компоненты, заложенные в рецептурах [3].

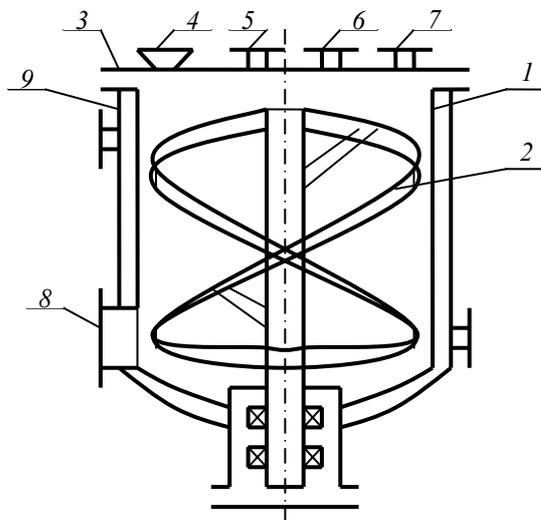


Рис. 16 Аппарат для получения сухих быстрорастворимых концентратов
 1 – корпус аппарата; 2 – перемешивающее устройство; 3 – крышка аппарата;
 4 – патрубок для загрузки дисперсного носителя; 5 – патрубок для ввода жидких многокомпонентных композиций; 6 – патрубок для ввода пастообразных концентратов; 7 – линия вакуумирования; 8 – выгрузка агломерированного сухого полупродукта; 9 – рубашка для теплоносителя

Основным выводом является то, что использование данного аппарата ведет к уменьшению времени получения ГТФ и снижению энергозатрат, однако конструкция аппарата несовершенна и требуется существенная модернизация.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Добровольский В. Ф. Концепция развития научно-технического обеспечения пищевых концентратной промышленности // Пищевая промышленность. 1998. № 7.
- 2 Концентраты сухие натуральных напитков функционально-целевого назначения. ТУ 9185-001-40486449-02 / Е. А. Мандрыка, М. Е. Мандрыка, Н. В. Трифонова и др.
- 3 Мандрыка М. Е., Метленкин А. А., Першин В. Ф. Технологическая инструкция производства концентратов сухих натуральных напитков функционально-целевого назначения: ТИ 10-40486449-01-01, 2001.

КАФЕДРА "ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА И СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ"
 УДК 541.459.546

*Д. В. Жданов, Е. Е. Ломовцева, Ю. А. Ферапонтов, Н. Ю. Холодилин**

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАСТВОРА ПЕРОКСОСОЛЬВАТА ПЕРЕКИСИ КАЛИЯ

Одной из наиболее сложных задач при проектировании процесса получения супероксида калия в аппарате распылительного типа [1] является расчет геометрии форсунки и параметров, определяющих

* Работа выполнена под руководством канд. хим. наук Н. Ф. Гладышева и д-ра техн. наук, проф. С. И. Дворецкого.

спектр распыла для реальной жидкости – раствора перексодольвата перекиси калия (в дальнейшем – раствора). При этом необходимо знать его важнейшие физико-химические свойства [2], которые ранее не изучались: кинематическая и динамическая вязкости, плотность и поверхностное натяжение.

Приготовление раствора осуществлялось по методике [3] смешением исходных реагентов (KOH и H₂O₂) различных концентраций при 0 °С с последующим пересчетом на содержание воды в нем. Мольное соотношение H₂O₂/KOH = 1,75 оставалось неизменным для всех препаратов.

Изучение свойств раствора проводилось в заданном диапазоне изменения концентрации (0,29 ... 0,5 % вес.) и температуры (0 ... 30 °С), обусловленном экономической целесообразностью процесса удаления влаги и возможностью смешения исходных реагентов без значительной потери активного кислорода (не более 0,5 % от абсолютного значения).

Исследование кинематической вязкости растворов проводилось на вискозиметре типа ВПЖ-2 по ГОСТ 33-66 с учетом результатов его индивидуальной заводской калибровки. Необходимые температурные уровни поддерживались термостатированием вискозиметра. При исследовании вязкости проводили несколько параллельных опытов, в ходе которых замеряется время истечения определенного объема жидкости. Вязкость раствора определялась по среднеарифметическому времени истечения τ_{cp} :

$$v_p = (g/9,807)k \tau_{cp}, \quad (1)$$

где $g = 9,813 \text{ м/с}^2$ – ускорение силы тяжести в месте измерения (г. Тамбов); $k = 3,136 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}^2$ – постоянная вискозиметра.

Результаты экспериментального исследования кинематической вязкости растворов различной концентрации представлены на рис. 1.

$v_p \cdot 10^6, \text{ м}^2/\text{с}$

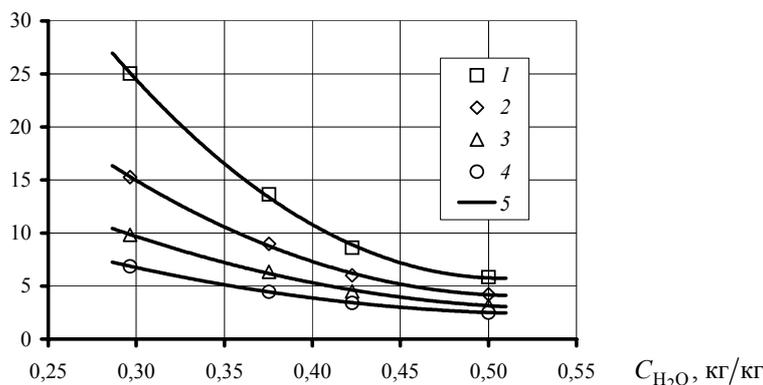


Рис. 1 Зависимость кинематической вязкости раствора от концентрации и температуры:
1 – 0 °С; 2 – 10 °С; 3 – 20 °С; 4 – 30 °С; 5 – расчет

Для удобства использования результатов исследования в расчетах зависимость $v_p = f(C_p, T_p)$ представлена в аналитическом виде:

$$v_p = 10^{-6} [a_0 + a_1 C_{H_2O} + a_2 C_{H_2O}^2], \quad (2)$$

где

$$a_0 = 9413,5416 - 61,930691T_p + 0,10212600T_p^2;$$

$$a_1 = -38026,391 + 250,91532T_p - 0,41480300T_p^2;$$

$$a_2 = 39320,463 - 259,97348T_p + 0,43053000T_p^2,$$

где C_{H_2O} – концентрация воды в растворе, кг/кг; T_p – температура раствора, К.

Как видно из рис. 1, найденный полином (2) удовлетворительно описывает все приведенные на графике данные и позволяет рассчитывать вязкость с относительной погрешностью, не превышающей 2 %.

Плотность раствора определяли пикнометрическим методом, в соответствии с которым вначале находили емкость пикнометра до риски на нем по эталонной жидкости (воде) при соответствующей температуре:

$$V_{\text{пикн}} = m_{\text{в.п.}} / \rho_{\text{в}} . \quad (3)$$

Массу дистиллированной воды в пикнометре $m_{\text{в.п.}}$ определяли как разность масс заполненного и пустого пикнометра на аналитических весах типа ВЛР-200г, а ее плотность $\rho_{\text{в}}$ – из справочной литературы [4].

Пикнометр заполняли исследуемым раствором, термостатировали, совмещая мениск раствора с риской, и взвешиванием определяли массу раствора m_p в пикнометре. Плотность после этого рассчитывали по формуле

$$\rho_p = (m_p / V_{\text{пикн}}) \cdot 10^3 , \text{ кг/м}^3 . \quad (4)$$

ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЭКСПЕРИМЕНТА ЛИШНЮЮ ЖИДКОСТЬ УДАЛЯЛИ С ПОВЕРХНОСТИ ПИКНОМЕТРА ФИЛЬТРОВАЛЬНОЙ БУМАГОЙ, А ГАЗОВЫЕ ПУЗЫРЬКИ С ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ – ВСТРЯХИВАНИЕМ. В РЕЗУЛЬТАТЕ ПОГРЕШНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ УДАЛОСЬ СНИЗИТЬ ДО ВЕЛИЧИНЫ, НЕ ПРЕВЫШАЮЩЕЙ 1 %.

КАЖДЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ СОСТОЯЛ ИЗ ДВУХ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ОПЫТОВ, ПО РЕЗУЛЬТАТАМ КОТОРЫХ ПЛОТНОСТЬ РАСТВОРА ОПРЕДЕЛЯЛАСЬ КАК СРЕДНЕАРИФМЕТИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА. РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ РАСТВОРА ПРИВЕДЕНЫ НА РИС. 2.

Экспериментальные данные с достаточной точностью описываются степенным рядом вида

$$\rho_p = a_0 + a_1 C_{H_2O} + a_2 C_{H_2O}^2 , \quad (5)$$

коэффициенты которого линейны по отношению к температуре:

$$a_0 = 1900,0425 - 1,0787750T_p ;$$

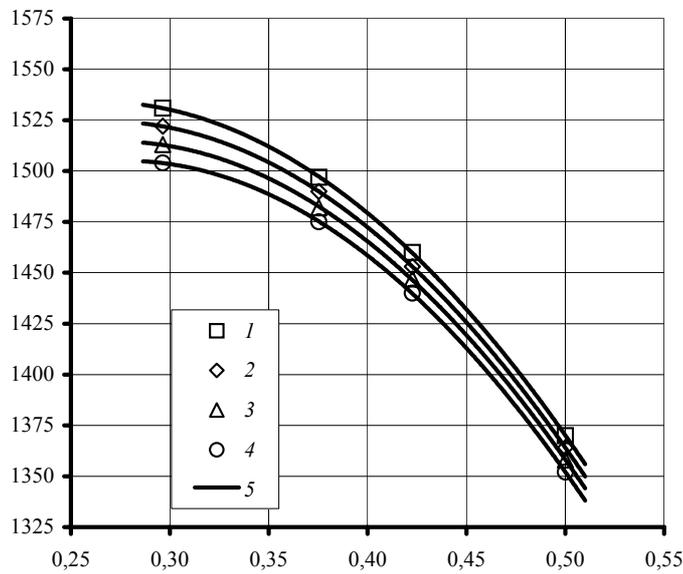
$$a_1 = 48,116089 + 5,4481240T_p ;$$

$$a_2 = -1561,9322 - 4,9764170T_p .$$

МАКСИМАЛЬНОЕ РАССОГЛАСОВАНИЕ РАСЧЕТНЫХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО НАЙДЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПЛОТНОСТИ НЕ ПРЕВЫШАЕТ 0,3 %.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ РАСТВОРА ПРОВОДИЛИ МЕТОДОМ НАИБОЛЬШЕГО ДАВЛЕНИЯ ПУЗЫРЬКОВ, РАЗРАБОТАННЫМ П. А. РЕБИНДЕ-РОМ [5].

ρ_p , кг/м³



C_{H_2O} , КГ/КГ

РИС. 2 ЗАВИСИМОСТЬ ПЛОТНОСТИ РАСТВОРА ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ И ТЕМПЕРАТУРЫ:
 1 – 0 °С; 2 – 10 °С; 3 – 20 °С; 4 – 30 °С; 5 – РАСЧЕТ

ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ ВЫЧИСЛЯЕТСЯ ПО ФОРМУЛЕ

$$\sigma_p = \sigma_0 p_p / p_0, \quad (6)$$

где σ_0 – поверхностное натяжение воды [4] при соответствующей температуре, Н/м; p_0, p_p – наибольшее давление пузырьков в чистой воде и растворе соответственно, мм вод. ст.

По результатам построены графические (рис. 3) и аналитические зависимости (7):

$$\sigma_p = a_0 + a_1 C_{H_2O} + a_2 C_{H_2O}^2, \quad (7)$$

где

$$a_0 = 49,687899 - 0,1294340 T_p;$$

$$a_1 = -138,04458 + 0,4338630 T_p;$$

$$a_2 = 129,01482 - 0,4097990 T_p.$$

$\sigma_p \cdot 10^2$, Н/м

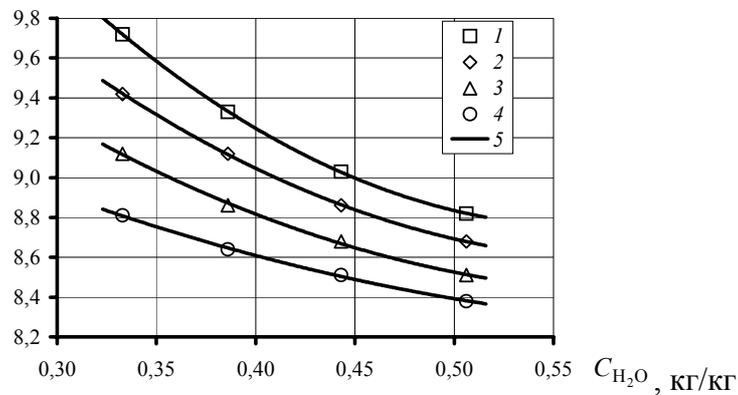


Рис. 3 Зависимость поверхностного натяжения раствора от концентрации и температуры:

1 – 0 °С; 2 – 10 °С; 3 – 20 °С; 4 – 30 °С; 5 – расчет

Максимальное расхождение расчетных и экспериментальных значений плотности не превышает 1,4 %.

Коэффициенты функциональных зависимостей для кинематической вязкости, плотности и поверхностного натяжения определены с использованием метода наименьших квадратов [6].

В результате проведения работы экспериментально определены кинематическая вязкость, плотность и поверхностное натяжение раствора пероксосульфата перекиси калия в заданном диапазоне его концентраций и температур. Представлены графические и аналитические зависимости указанных физико-химических свойств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Жданов Д. В., Ферапонтов Ю. А., Гурьев А. А. Моделирование процесса получения надперекиси калия в аппарате распылительного типа // Труды ТГТУ. 2001. Вып. 8. С. 210–219.
- 2 Пажи Д. Г., Прахов А. М., Равикович Б. Б. Форсунки в химической промышленности. М.: Химия, 1971, 224 с.
- 3 Разработка экологически безопасной технологии синтеза надперекисей щелочных металлов. Синтез надперекиси калия из перекиси водорода и гидроксида калия / Ю. А. Ферапонтов, С. И. Симаненков, Д. В. Жданов и др. // Вестник ТГТУ. 2001. Т. 7. № 3. С. 422–426.
- 4 Справочник химика / Под ред. Б. П. Никольского. М.–Л.: Госхимиздат, 1963. Т. 1. 1071 с.
- 5 Шелудко А. Коллоидная химия. М.: Мир, 1984. 320 с.
- 6 Безденежных А. А. Инженерные методы составления уравнений скоростей реакций и расчета кинетических констант. Л.: Химия, 1973. 256 с.

*Кафедра "Технологическое оборудование и прогрессивные технологии",
ФГУП "ТамбовНИИХИ"*

УДК 53.082.32

*Н. М. Гребенникова**

ЭФФЕКТЫ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ СТРУИ ГАЗА С ЖИДКОСТЬЮ

Одним из методов измерения и контроля физических свойств жидкости являются струйные или аэродинамические методы, основанные на постоянном или импульсном воздействии струи газа на исследуемую жидкость.

Метод, основанный на постоянном воздействии газовой струи на поверхность жидкости, используется для определения плотности и поверхностного натяжения различных жидкостей, например, масел, расплавов, глицерина и др.

Метод, основанный на импульсном воздействии струи газа на поверхность жидкости, может быть использован при исследовании и контроле вязкости высоковязких сред, таких как смолы, масла.

Рассмотрим эффекты, возникающие при импульсном воздействии потока газа на поверхность жидкости.

Воздействие импульсного газового потока на поверхность жидкости можно разделить на два периода. Во время первого периода происходит непосредственное воздействие струи газа с поверхностью раздела фаз и образование деформации. Во втором периоде воздействие газовой струи отсутствует и происходит восстановление первоначальной поверхности раздела фаз.

При малых частотах (меньше 0,1 Гц) на поверхности раздела фаз наблюдаются следующие эффекты:

* Работа выполнена под руководством проф. М. М. Мордасова.

- после достижения потоком газа поверхности жидкости происходит ее деформация с образованием углубления, размеры которого увеличиваются с течением времени. Достигнув определенных значений углубления (глубины и диаметра), происходит его стабилизация, т.е. состояние равновесия; время воздействия газовой струи на поверхность жидкости намного больше времени, необходимого для достижения состояния равновесия. В таком режиме возникают те же эффекты, что и при непрерывном воздействии потока газа. При воздействии с жидкостью поток газа отдает часть энергии поверхности раздела фаз. Во время роста углубления энергия с поверхности раздела фаз передается к внутренним слоям и приводит к появлению присоединенной массы;

- после снятия пневматического импульса происходит восстановление поверхности раздела фаз до первоначального состояния, под действием сил поверхностного натяжения и архимедовой силы.

При малых частотах время между импульсами намного больше времени, необходимого на восстановление поверхности, и до начала следующего импульса жидкость находится в статическом состоянии.

При увеличении частоты пневматических импульсов достигается частота $f_{кр. 1}$ (частота полного восстановления), при которой после полного восстановления поверхности жидкости начинается следующий пневматический импульс, и происходит деформация поверхности. Размеры деформации остаются такими же, что и при малых частотах.

С дальнейшим увеличением частоты пневматических импульсов (больше $f_{кр. 1}$) на поверхности раздела фаз в начальный момент происходит рост деформации, за время импульса деформация поверхности не успевает достичь своих максимальных размеров соответствующих состоянию равновесия. Затем начинается процесс восстановления поверхности. Из-за уменьшения времени между пневматическими импульсами, поверхность раздела фаз не успевает полностью восстановиться. При таком режиме наблюдается уменьшение присоединенной массы, которое обусловлено уменьшением энергии, передаваемой поверхностным слоем внутренним слоям.

При дальнейшем увеличении частоты пневматических импульсов достигается частота $f_{кр. 2}$, при которой образованное за несколько первоначальных импульсов углубление не успевает восстановиться, а также не увеличивает своих размеров – размеры деформации не изменяются; наблюдается минимальное значение присоединенной массы.

Рассмотренные эффекты используются при разработке устройства для бесконтактного контроля вязкости высоковязких жидкостей, таких как смолы, масла, лаки. Сущность метода состоит в том, что на поверхность контролируемой жидкости действуют импульсной последовательностью пневматических импульсов с переменной частотой. Изменение частоты продолжается до момента достижения амплитудой колебаний поверхности жидкости в месте контакта со струей заданного значения. Фиксируется частота импульсов, которая является функцией вязкости жидкости.

Кафедра "Автоматизированные системы и приборы"

УДК 621.545

И. Н. ШУБИН, А. А. БАРАНОВ, М. М. СВИРИДОВ

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА СМЕСИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

СРЕДИ ИЗВЕСТНЫХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА КАЧЕСТВА СМЕСИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ СЛЕДУЕТ ВЫДЕЛИТЬ МЕТОДЫ, ОСНОВАННЫЕ НА РАЗЛИЧИИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ИЛИ ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИСХОДНЫХ КОМПОНЕНТОВ [1]. НЕ СМОТРЯ НА РАЗНООБРАЗИЕ МЕТОДОВ [2], ОНИ НЕ ВСЕГДА УДОВЛЕТВОРЯЮТ ТРЕБОВАНИЯМ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫМ В ПРОМЫШЛЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ. ДЛЯ АНАЛИЗА КАЧЕСТВА СМЕШИВАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ ПРОИЗВОДСТВА

НА "ТАМБОВНИХИ" РАЗРАБОТАН МЕТОД, ОСНОВАННЫЙ НА ОПРЕДЕЛЕНИИ КАЧЕСТВА СМЕСИ ПО ЕЕ ЦВЕТУ.

Метод определения качества смешивания (процентного содержания компонентов и их распределения по объему смеси) основан на различии отражающей способности исходных компонентов, имеющих различный цвет. Анализ смеси проводится с использованием компьютерной техники. Последовательность проведения анализа смеси следующая: из партии исходных материалов отбирается ряд проб, в нашем случае цеолит (палитра цветов – от белого до кремового) и глина (от темно-красного до коричневого), а также несколько смесей с известным процентным содержанием и гарантированным качеством смешения. Данные пробы при проведении дальнейших анализов являются тарировочными. Далее из проб изготавливались таблетки и отжигались в печи (диаметр таблетки $D = 30$ мм, $\tau_{отж} = 2$ часа при 600 °С) для повышения контрастности исследуемых проб. Полученные таблетки сканировались. В результате анализа всех исходных тарировочных смесей построены зависимости концентрации рабочей смеси от среднего цвета изображения рабочей смеси (рис. 1 и 2).



Рис. 1 Вид обработанной на ЭВМ таблетки с определением диапазона цветов

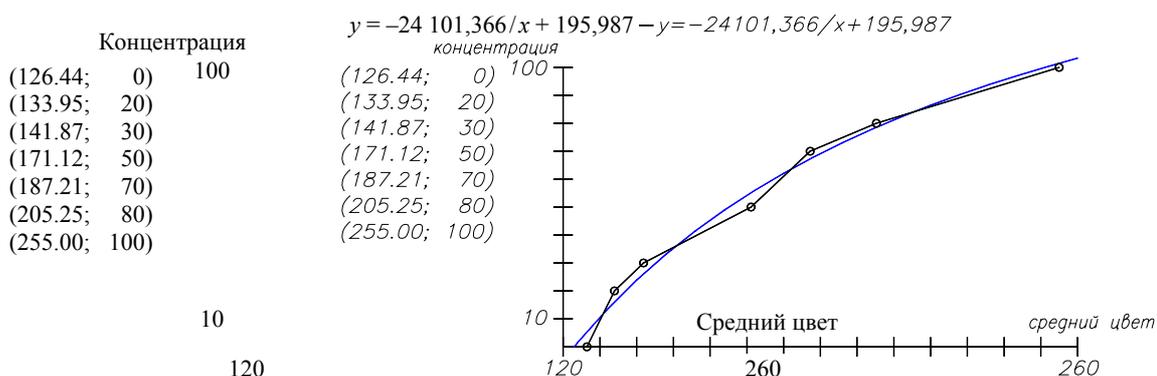


РИС. 2 ГРАФИК ЗАВИСИМОСТИ КОНЦЕНТРАЦИИ ОТ ЦВЕТА (АППРОКСИМИРУЮЩАЯ КРИВАЯ)

КОМПОНЕНТЫ СМЕСИ ИМЕЛИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:
 ЦЕОЛИТ – $\rho = 750 \text{ КГ/М}^3$, $D = (20 \dots 40) \cdot 10^{-6} \text{ М}$; ГЛИНА – $\rho = 820 \text{ КГ/М}^3$,
 $D = (20 \dots 100) \cdot 10^{-6} \text{ М}$.

В качестве зависимости, аппроксимирующей исходные данные, принята формула

$$y = \frac{A}{x} + B,$$

где y – искомая концентрация ключевого компонента в рабочей смеси, %; x – среднее арифметическое распределение цветов в рабочей смеси.

ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ТАРИРОВОЧНОЙ КРИВОЙ ИСПОЛЬЗОВАЛИСЬ СЛЕДУЮЩИЕ ТАБЛЕТКИ: ЦЕОЛИТ, ГЛИНА, СМЕСИ С СОДЕРЖАНИЕМ ЦЕОЛИТА 20, 30, 50, 70, 80 %. ПРИМЕР ОБРАБОТАННОЙ ПРОБЫ В ВИДЕ ТАБЛЕТКИ ПРИВЕДЕН НА РИС. 3.

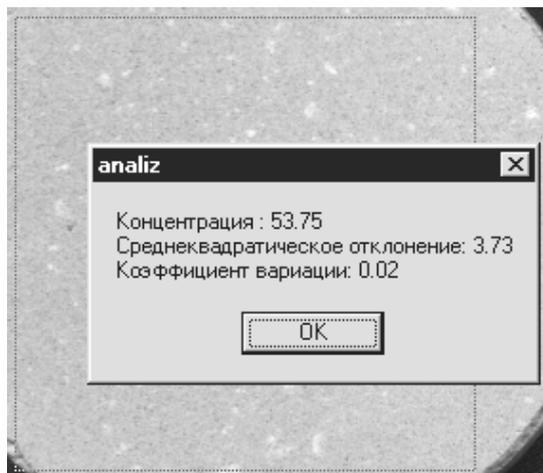


РИС. 3 ВИД ТАБЛЕТКИ ПОСЛЕ ОКОНЧАТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА

Ошибки разработанного метода анализа проверялись в сравнении с методикой анализа, используемой в производстве (по способности поглощения влаги смесью), и во всех случаях расхождение данных по ключевому компоненту не превышало 15 %.

По полученным в ходе опытов результатам можно сказать, что предложенный метод удовлетворяет предъявляемым требованиям то точности. Результаты анализа смесей, приготовленных на разных смесителях, представлены на рис. 4.

Применение описанного в данной работе метода, в сравнении с используемым на производстве, позволило упростить процесс анализа и повысить надежность оценки качества смеси.

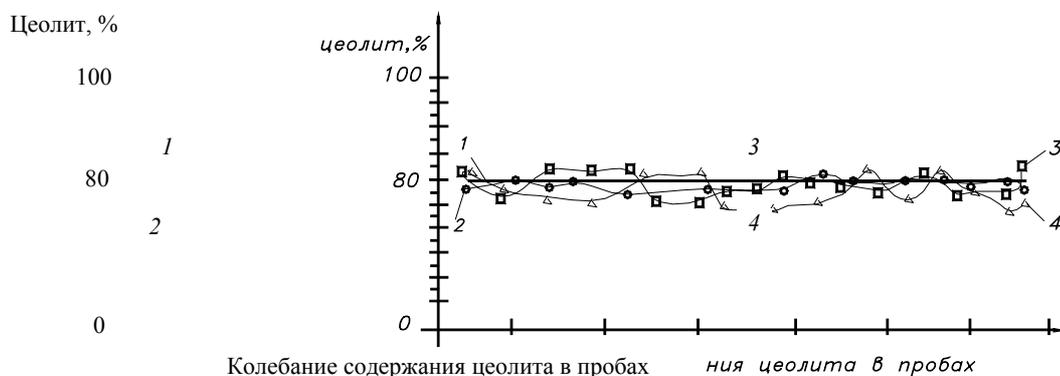


Рис. 4 Изменение концентрации цеолита в смеси:

- 1 – заданное содержание цеолита 80; 2 – среднее содержание цеолита в тарировочных пробах 80,17 %, средняя ошибка – 3 %;
- 3 – среднее содержание цеолита в смеси из гравитационного смесителя 81,24 %, средняя ошибка – 8 %; 4 – среднее содержание цеолита в смеси из лопастного смесителя 76,94 %, средняя ошибка – 11 %

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Андрианов Е. И. Методы определения структурно-механических характеристик порошкообразных материалов. М.: Химия, 1982. 256 с.
- 2 Макаров Ю. И. Аппараты для смешения сыпучих материалов. М.: Машиностроение, 1973. 216 с.

УДК 57.083.12:536.495

Н. М. Ермолаева, С. А. Геворкян, О. В. Зюзина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ИНАКТИВАЦИИ БИОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

Современная биотехнология требует углубленного изучения процессов всех стадий производства при их практической реализации на лабораторном и производственном уровнях. В научно-технической литературе значительное внимание уделяется кинетике развития популяций клеток, как обеспечивающей успешное функционирование процессов культивирования и биосинтеза, однако, не менее важно, для ряда производственных стадий в биотехнологии знание кинетических закономерностей инактивации биологических объектов [1].

Термин инактивирование (инактивация) означает потерю ферментами каталитических свойств или активности живой клетки. Потеря активности живой клетки означает нарушение реакций обмена веществ, процессов роста и развития, старение и гибель. Такие последствия являются результатом действия ряда внешних факторов – температуры, кислотности среды, содержания влаги, концентрации химических соединений. Из перечисленных факторов большее влияние на процессы жизнедеятельности и биосинтетическую активность клеток микроорганизмов оказывает уровень температуры окружающей среды, что обусловлено отсутствием у них механизма саморегуляции. Наиболее губительной для клетки является высокая температура, так как воздействие тепловой энергии вызывает коагуляцию цитоплазмы, денатурацию белков и инактивацию ферментов. Чувствительность биологических объектов к уровню температуры зависит как от продолжительности ее воздействия, так и от морфологических особенностей организма, а также кислотности окружающей его среды, что весьма важно при выборе технологических режимов стадии плазмолиза в производстве кормовых добавок и белковых изолятов из дрожжевой биомассы [2].

С целью изучения эффективности совместного влияния температуры и кислотности среды проведены на лабораторной установке исследования кинетики инактивации суспензии дрожжевых клеток. Эксперимент заключался в обработке дрожжевой суспензии при температуре 70, 80, 90 °С в течение одного часа при изменяющемся уровне

рН среды 3,5 ... 6,5. Отбор проб производился через каждые 10 минут. Количественно результаты воздействия двух факторов оценивался величиной процента мертвых клеток к общему количеству дрожжей в единице объема суспензии и представлены в табл. 1.

Результаты эксперимента показали, что самая высокая скорость инактивации, как и следовало ожидать, отмечена при 90 °С, максимальное число мертвых клеток наблюдалось уже через 40 минут при рН 3,5 ... 4,0, тогда как для 70 и 80 °С тот же результат достигается через 50 минут прогрева. Как видно из табл. 1 наиболее устойчива оказалась суспензия с уровнем кислотности 6,0 ... 6,5 единиц, полная инактивация при таких условиях наступает через 60 ... 70 минут термообработки.

Если рассматривать процесс тепловой гибели как реакцию первого порядка [1], то константа скорости гибели клеток рассчитывается по уравнению

$$K = \frac{2,3}{\tau} \lg \frac{C_0}{C_k}, \quad (1)$$

где K – константа скорости инактивации дрожжевых клеток, мин^{-1} ; τ – продолжительность инактивирования, мин; C_0 – число жизнеспособных клеток популяции до термообработки ($\tau = 0$), %; C_k – число жизнеспособных микроорганизмов в момент времени τ , %.

1 Процент инактивированных дрожжевых клеток при
совместном действии двух факторов – температуры и кислотности

τ , мин	рН t , °С	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
		0	70	72,8	70,0	62,0	23,0	2,0
	80	60,8	41,7	37,6	22,0	21,6	40,0	35,9
	90	60,8	38,1	39,3	34,9	30,0	33,8	39,0
10	70	83,3	80,7	74,3	27,4	3,1	15,3	23,6
	80	72,3	56,3	50,0	28,8	22,1	40,4	39,7
	90	77,0	67,3	67,4	53,5	43,9	39,4	37,0
20	70	88,7	88,1	81,7	31,0	4,0	16,1	32,4
	80	78,9	70,8	57,6	32,9	23,3	43,0	45,7
	90	89,1	83,0	77,0	63,2	54,7	51,0	49,0
30	70	98,8	95,3	87,0	41,0	13,4	26,0	43,0
	80	91,5	88,5	65,3	39,6	33,4	48,7	57,7
	90	98,6	98,8	86,0	79,3	67,0	70,3	68,0
40	70	99,2	99,5	98,2	55,0	31,3	42,8	54,8
	80	100	99,2	79,5	56,0	47,5	62,5	63,3
	90	100	100	98,3	89,4	93,9	93,2	88,0
50	70	100	100	100	85,8	74,1	80,0	80,0
	80	–	100	98,4	81,4	81,2	85,2	79,0
	90	–	–	100	100	100	97,2	98,3
60	70	–	–	–	97,8	94,8	98,5	98,7
	80	–	–	100	90,0	92,0	99,0	92,6
	90	–	–	–	–	–	100	100
70	70	–	–	–	100	100	100	100
	80	–	–	–	100	100	100	100
	90	–	–	–	–	–	–	–

Полученные данные, представленные в табл. 2 и на рис. 1, позволяют сделать заключение о том, что при всех исследованных температурах 70, 80, 90 °С имеется оптимальное значение рН, которому соответствует как минимальная, так и максимальная скорость инактивации.

2 Константы скорости инактивации дрожжевых клеток
при различных значениях рН

рН t , °С	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5
	70	0,072	0,107	0,048	0,031	0,019	0,024
80	0,069	0,115	0,05	0,038	0,025	0,029	0,032
90	0,066	0,129	0,07	0,049	0,042	0,051	0,056

$-\lg(K)$

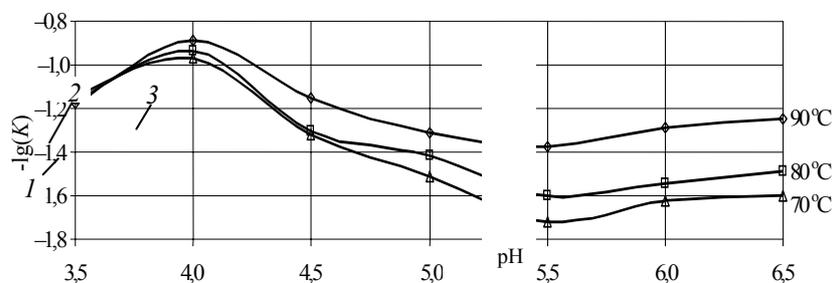


Рис. 1 Изменение константы скорости гибели дрожжевых клеток в зависимости от pH среды при различных температурах: 1 – 70 °С; 2 – 80 °С; 3 – 90 °С

Величины константы скорости гибели клеток использовались для определения одной из важнейших характеристик – энергии активации которая рассчитывается по уравнению (2), полученному путем преобразования уравнения Аррениуса

$$E = 1,9143(\lg K_2 - \lg K_1)T_1T_2, \quad (2)$$

где E – энергия активации; R – газовая постоянная, Дж/моль; T_1 и T_2 – абсолютные температуры реакций с интервалом 10 К; K_1 и K_2 – константы скорости инактивации дрожжевых клеток при температуре T_1 и T_2 , соответственно.

Значения энергии активации для различных уровней кислотности представлены в табл. 3.

3 Значения энергии активации для процесса термической инактивации клеток остаточных пивных дрожжей

pH	E , Дж/моль
3,5	20,5
4	51,5
4,5	102,7
5	112,7
5,5	118,2
6	118,2
6,5	118,2

Полученные данные по величинам константы скорости и энергии активации гибели дрожжевых клеток могут быть использованы при оценке эффективности режимов термообработки и инженерных расчетов оборудования для реализации таких процессов на отдельных стадиях биотехнологического производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Метвеев В. Е. Научные основы микробиологической технологии (кинетика развития и инактивации микробных популяций, асептика, масштабирование). М.: Агропромиздат, 1985. 224 с.
- 2 Грачева И. М., Иванова Л. А., Кантере В. М. Технология микробных белковых препаратов, аминокислот и биоэнергия: 2-е изд., перераб. и доп. М.: Колос, 1992. 383 с.

Кафедра "Технологическое оборудование и прогрессивные технологии"

УДК 637.358

*Л. В. Терехова**

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доц. О. В. Зюзиной.

К ИЗУЧЕНИЮ ВЛИЯНИЯ СВОЙСТВ ИСХОДНОГО СЫРЬЯ НА КАЧЕСТВО ПЛАВЛЕНОГО СЫРА

Плавленый сыр представляет собой ценный продукт питания [1]. Поскольку жир в переработанных сырах (к ним относят и плавленый) находится в виде мелких капель, диаметром в 5 ... 20 раз меньшим, чем у жировых шариков натуральных сыров, усвояемость переработанных сыров значительно выше. Кроме этого, плавленые сыры в гигиеническом отношении предпочтительнее натуральных, так как они подвергаются термической обработке, резко снижающей объем микрофлоры сыра. Плавленным сыром можно придать самый разнообразный вкус (острый, сырный, пряный, чистый молочнокислый, сладкий) и консистенцию (твердую, ломтевую, мажущуюся), а также повысить их лечебно диетическое значение и питательность за счет обогащения биологически активными, минеральными веществами. В настоящее время промышленностью освоены шесть видовых групп плавленых сыров: ломтевые, колбасные, пастообразные, сладкие, консервные, закусочные.



Рис. 1

Плавленые сыры относятся к категории комбинированных продуктов питания и вырабатываются из различных натуральных сыров, масла, творога и других молочных продуктов, вкусовых наполнителей и специй путем тепловой обработки (плавления) с добавлением специальных солей–плавителей. Процесс производства плавленого сыра схематически представлен на рис. 1.

Производство плавленого сыра содержит, по сравнению с традиционным сырделием, не только новые элементы с точки зрения исполнения продукта (отсутствие корки, простота фасовки), хранения (устойчивость консистенции), гигиены производства (отсутствие патогенных микроорганизмов), усваиваемости (рН 5,3 ... 5,8), но и с точки зрения однородности и воспроизводимости качества продукции (технологической надежности продукта).

На качество плавленого сыра оказывает влияние главным образом качество перерабатываемого сырья. При выработке плавленого сыра определенного вида и наименования по соответствующей рецептуре в условиях переработки различных партий однотипного сыра, отличающихся друг от друга по органолептическим и физико-химическим показателям, возможно получение готового продукта нестабильного качества.

Вкусовой букет плавленого сыра формируется с учетом их свойств сырья.

В связи с этим задача определения факторов, влияющих на органолептические и физико-химические показатели качества плавленого сыра является весьма актуальной.

Одним из основных показателей качества плавленого сыра является его консистенция, которая формируется в процессе плавления сырной смеси и зависит, главным образом, от правильности подбора сырья по химическому составу, кислотности, степени зрелости сырьевого сыра, а также от вида и дозы соли–плавителя [2].

На качество плавленого сыра существенное влияние оказывает содержание в сырье влаги и жира, являющихся пластификаторами сырной массы. Плавленый сыр можно представить как трехкомпонентную систему: жир–вода–сухое обезжиренное вещество. Регулирование соотношений между жиром, влагой и сухим обезжиренным веществом позволяет получать сыры с хорошей консистенцией при сохранении требований стандарта к количеству сухих веществ и жирности готового продукта данного вида и наименования.

От активной кислотности исходного сырья и степени зрелости сырьевого сыра зависит выбор соли–плавителя. Известно [3], что плавленые сыры, выработанные с различными солями–плавителями, имеют различные оптимальные зоны активной кислотности, при которых они получают наивысшую органолептическую оценку. Для того, чтобы плавленый сыр имел кислотность, близкую к оптимальной, необходимо при подборе соли–плавителя правильно определить ее вид, количество и кислотность.

Установлено [3], что каждая из применяемых солей–плавителей дает лучшие результаты плавления при использовании определенных видов сырья. Фосфаты лучше всего плавят незрелый сыр. Они придают ему плотную, но в то же время достаточно нежную консистенцию и усиливают остроту вкуса. Цитраты хорошо плавят полностью зрелый и перезрелый сыр, повышают активную кислотность сырной массы, облагораживают вкус и способствуют устранению пороков, вызванных нейтральной реакцией сыра, в частности, горького и мыльного привкусов.

Во избежание пороков консистенции плавленого сыра (резинистая, рыхлая) вид соли–плавителя должен подбираться, прежде всего, в зависимости от активной кислотности сырной смеси (рН). В тех случаях, когда рН сырной смеси для плавления близок к рН плавленого сыра, кислотность соли близка к рН сыра. Если рН сырной смеси меньше оптимального рН плавленого сыра, то применяют щелочные соли, в противном случае – кислые [3].

Применяемое количество дорогостоящей соли–плавителя оказывает влияние как на органолептические и физико-химические показатели качества плавленого сыра, так и на себестоимость готовой продукции.

В связи с этим необходимо строгое определение оптимальной дозы соли–плавителя для обеспечения требуемого качества готовой продукции.

Как показали наши экспериментальные исследования, при одинаковой активной кислотности сырьевых сыров, характеризующийся большей зрелостью, т.е. способностью в большем или меньшем объеме связывать вводимые в сырную смесь соли–плавители, потребует большего количества соли для получения плавленого сыра с одинаковой оптимальной кислотностью, чем незрелый сыр (табл. 1). Показателем такой способности являются буферные свойства сыра, выраженные в градусах Шиловича [2].

1 Зависимость количества соли–плавителя от зрелости сырьевого сыра

Зрелость, градусы Шило- вича	Количество соли–плавителя (в %) при рН сырья			
	5,0 ... 5,2	5,2 ... 5,4	5,4 ... 5,6	5,6 ... 5,8
50 ... 100	4,1	4,0	3,8	–
100 ... 150	4,5	4,5	4,0	–
150 ... 200	4,9	4,0	3,6	3,6
200 ... 250	5,3	5,2	4,4	3,7

Объективное представление о консистенции плавленого сыра, наряду с органолептической оценкой, может дать измерение вязкости, которая колеблется в широком диапазоне. На вязкость плавленого сыра влияют температура сыра, содержание влаги и жира, реакция среды, вид и доза соли–плавителя, а также свойства исходного сырья. В дальнейшем предполагается определить диапазон предпочтительной вязкости для плавленого сыра определенного вида, соответствующий наилучшей его консистенции.

Получение зависимости вязкости плавленого сыра от степени зрелости сырья, его активной кислотности и дозы соли–плавителя при регламентированном для каждого вида и наименования плавленого сыра содержании влаги и жира позволит регулировать качество готового продукта и обеспечить рациональное использование сырьевых компонентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Товароведение и экспертиза продовольственных товаров: Учеб. пособие / А. Ф. Шепелев, И. А. Печенежская, О. И. Кожухова и др. Ростов н/Д: Изд-во МарТ, 2001. 680 с.
- 2 Баркан С. М., Кулешова М. Ф. Плавленые сыры. М.: Пищевая промышленность, 1967. 283 с.
- 3 Кулешова М. Ф., Тиняков В. Г. Плавленые сыры. М.: Пищевая промышленность, 1977. 174 с.

Кафедра "Технологическое оборудование и прогрессивные технологии"

УДК 621.1.016

КАЛИБРОВКА КАЛОРИМЕТРА
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОЕМКОСТЕЙ

УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ – ЭТО ОДНА ИЗ ВАЖНЕЙШИХ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕЩЕСТВА, ЗНАНИЕ КОТОРОЙ СОВЕРШЕННО НЕОБХОДИМО ПРИ ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЕТАХ ЛЮБЫХ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ. ОСОБЕННОСТИ КАЛОРИМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ ПРИВЕДЕНЫ В [1–3].

Следуя известным рекомендациям, на кафедре гидравлики и теплотехники ТГТУ разработана и изготовлена экспериментальная установка для измерения теплоемкостей жидких и твердых тел. Общая схема ее очень проста и приведена она на рис. 1. От стабилизированного блока питания БП через двойной тумблер Т напряжение питания подается на электрический нагреватель адиабатического калориметра АК. Падение напряжения и ток в цепи измеряются, соответственно, вольтметром В и амперметром А. При включении нагревателя одновременно запускается в работу цифровой секундомер ЦС. И блок питания, и секундомер – промышленные приборы универсального назначения. Специальным устройством является адиабатический калориметр постоянного объема (рис. 2).

Сосуд Дьюара 6 размещается в жестяном кожухе 9 на подставке 11, пространство между которыми заполнено пластинами из пенопласта, чтобы уменьшить тепловые потери в окружающую среду. Сверху в сосуд вставляется крышка 5 из малотеплопроводного и в меру прочного материала. На крышке установлен микроэлектродвигатель 3 с мешалкой 10, а также три электронагревателя 2 в герметичных стеклянных трубках. Там же закреплены терморезистор 7 и колодка 1 разъема электрических проводов. В отверстия крышки вставляются астатический термометр Бекмана 4 с ценой деления 0,01 К и лабораторный термометр 8 с ценой деления 0,1 К.

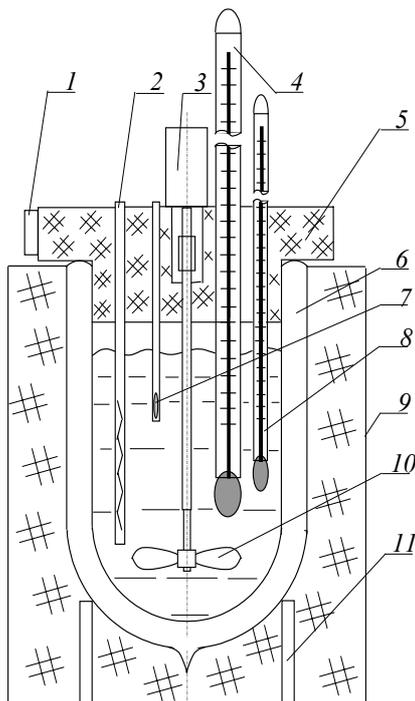


Рис. 2 Адиабатический калориметр постоянного объема

* Работа выполнена под руководством проф. В. И. Ляшкова.

Методика экспериментального исследования хорошо отработана [2]. Особенное внимание обращено на идентичность объема при заполнении калориметра, точность взвешивания и других непосредственно измеряемых величин.

При обработке результатов эксперимента по показаниям амперметра, вольтметра и секундомера находят количество тепла Q_{1-2} , выделенного нагревателями за время нагрева, и величина удельной теплоемкости

$$c_{vm} = \frac{Q_{1-2} K_k}{m_{ж} (t_{Б2} - t_{Б1})},$$

где K_k – так называемая константа калориметра, определяющая долю выделенного тепла, идущего непосредственно на нагрев жидкости. Величина $(1 - K_k)$ показывает долю тепла, идущую на разогрев деталей калориметра и покрытие теплопотерь.

Задачей калибровки было установление численных значений константы калориметра K_k для различных температурных режимов. Калибровка проводилась по дистиллированной воде, удельная теплоемкость которой хорошо изучена и приведена в справочнике [4], получившем всеобщее признание.

При исследовании по термометру Бэкмана фиксируется температура в калориметре через каждые 30 с. При обработке опытных данных полученную зависимость $t = f(\tau)$ представим графически (на рис. 3

в качестве примера приведена часть термограммы калибровочного опыта при $t = 36,4$ °С) и определим относительные температуры начала и конца нагрева $t_{Б1}$ и $t_{Б2}$ с учетом темпов охлаждения на предварительном и заключительном участках термограммы. По точкам пересечения усредняющие прямых, проведенных через опытные точки, найдены значения температуры $t_{Б1}$ и $t_{Б2}$.

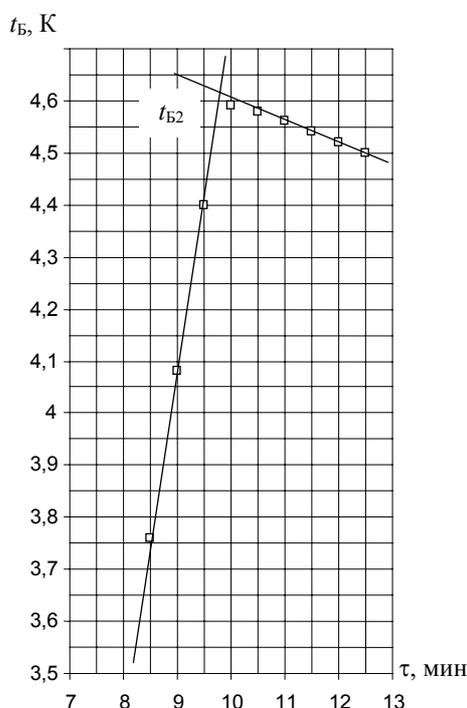


Рис. 3 Конечная стадия опыта при $t_{отн} = 36,4$ °С

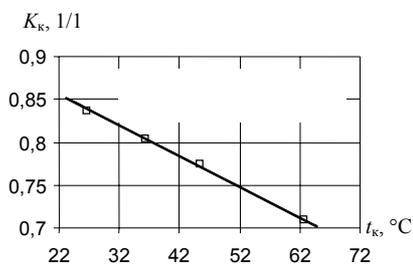


Рис. 4 Результаты калибровки калориметра

В результате проведенных опытов получена зависимость $K_k = f(t)$, представленная на рис. 4. с погрешностью, не превышающей $\pm 0,29\%$. Эта зависимость аппроксимирована линейной формулой

$$K_k = 0,93535 - 0,0036 t .$$

При проведении анализа предельной погрешности измерений на установке (рис. 1) для формулы

$$c_{vm} = \frac{U i \tau K_k}{m_{ж} (t_{B2} - t_{B1})}$$

максимально возможная относительная ошибка определена суммой абсолютных значений максимальных относительных ошибок сомножителей

$$\delta c_{vm} = |\delta U| + |\delta i| + |\delta \tau| + |\delta K_k| + |\delta m_{ж}| + |\delta (t_{B2} - t_{B1})|.$$

Оценивая величину каждого слагаемого с учетом класса точности использованных приборов, получили, что максимальная возможная погрешность измерений $\delta c_{vm} = 1,86\%$.

В действительности отдельные погрешности могут иметь разные знаки, и реальная ошибка будет гораздо меньшей.

На экспериментальной установке по аналогичной методике можно проводить измерения теплоемкости и твердых тел. Для исследования изготавливают цилиндрический образец с наружным диаметром $d = 30$ мм, длиной $l = 70$ мм. Если исследуемый материал плохо проводит тепло, по оси образца можно высверлить отверстие диаметром $d_{от}$ около 10 мм. При этом объем заливаемой в калориметр жидкости должен быть таким, чтобы суммарное заполнение колбы калориметра было 450 мл. Именно при таком заполнении при обработке опытных данных можно использовать зависимость $K_k = f(t)$.

В качестве калориметрической жидкости выбирается такая, удельная теплоемкость которой хорошо известна и приведена в справочниках (обычно это дистиллированная вода). Образец на нитке прикрепляется к пробке и через отверстие в крышке калориметра помещается в калориметрическую жидкость.

При таких измерениях, учитывая, что в калориметре находятся два тела, уравнение теплового балан-

са

$$U i \tau K_k = m_{ж} c_{рж} (t_{B2} - t_{B1}) + m_{об} c_{об} (t_{B2} - t_{B1}),$$

откуда

$$c_{об} = \left[\frac{U i \tau K_k}{t_{B1} - t_{B2}} - m_{ж} c_{рж} \right] \frac{1}{m_{об}} .$$

При проведении массовых измерений, когда к точности результатов не предъявляется повышенных требований, методика измерения теплоемкостей и жидкостей, и твердых тел может быть несколько упрощена, т.е. для снятия термограмм используются более простые и менее точные приборы.

В частности, в калориметре (рис. 1) для этой цели размещен полупроводниковый терморезистор марки КМТ-178.

На рис. 5 приведена калибровочная характеристика (зависимость $t = f(R)$) для рабочего интервала температур и аппроксимирующая формула, с погрешностью не более чем $\pm 2,62\%$ усредняющая все опытные точки $t = 60,2 \exp(0,149 R_t)$.

ТАКИМ ОБРАЗОМ ПРОВЕДЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РАБОТЫ ПОЗВОЛИЛИ ПОЛНОСТЬЮ ПОДГОТОВИТЬ КАЛОРИМЕТР К ПРОВЕДЕНИЮ ВЫСОКОТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ БОЛЬШОГО КЛАССА ЖИДКОСТЕЙ И ТВЕРДЫХ ТЕЛ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Зубарев В. Н., Александров А. А. Практикум по технической термодинамике. М., 1971. 352 с.
- 2 Олейник Б. Н. Точная калориметрия. М., 1973. 208 с.
- 3 Исследование в области тепловых измерений / Под ред. Б. Н. Олейника. М., 1974. 175 с.
- 4 Ривкин С. Л., Александров А. А. Теплофизические свойства воды и водяного пара. М., 1980. 423 с.

Кафедра "Гидравлика и теплотехника"

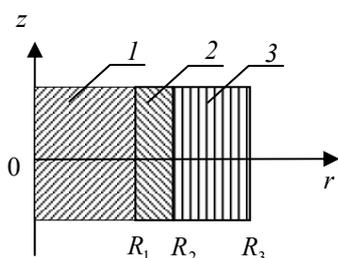
автоматизация технологических процессов

УДК 62:536.3

П. В. Балабанов, С. В. Пономарев

ЗАДАЧА О НАХОЖДЕНИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ИЗОЛИРОВАННОМ ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ ТЕЛЕ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВНЕШНИХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛА

В качестве модели тела для данной задачи рассмотрим составное цилиндрическое тело (рис. 1). Оболочки 2 и 3 цилиндра 1 представим в виде полых бесконечных цилиндров с осями, совпадающими с осью z .



Будем считать, что начальные и граничные условия не зависят от координаты z , а зависят только от координаты r и времени τ . Тогда уравнения теплопроводности, описывающие распределение температуры в цилиндрических телах, запишутся следующим образом:

$$\frac{\partial T(r, \tau)}{\partial \tau} = a_i \left(\frac{\partial^2 T(r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T(r, \tau)}{\partial r} \right),$$

Рис. 1 Сечение составного цилиндрического тела в плоскости r, z

$$\tau > 0, \quad 0 \leq r \leq R_3, \quad i = \overline{1,3} \quad (1)$$

где a_i – коэффициенты температуропроводности i -х слоев.

Начальное условие для уравнения (1)

$$T(r, 0) = T_H(r) = \text{const.} \quad (2)$$

ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ НА ВНУТРЕННИХ ГРАНИЦАХ РАЗДЕЛА ПРЕДСТАВЛЯЮТ СОБОЙ ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ ЧЕТВЕРТОГО РОДА

$$\begin{cases} T(R_j - 0, \tau) = T(R_j + 0, \tau); \\ \lambda_j \frac{\partial T(R_j - 0, \tau)}{\partial r} = \lambda_{j+1} \frac{\partial T(R_j + 0, \tau)}{\partial r}, \quad j = \overline{1, 2}. \end{cases} \quad (3)$$

На внешней границе при $r = R_3$ заданы граничные условия первого рода

$$T(R_3, \tau) = T_0 = \text{const}. \quad (4)$$

При $r = 0$ граничные условия можно записать в виде условия симметрии

$$\frac{\partial T(0, \tau)}{\partial r} = 0. \quad (5)$$

Решение задачи (1)–(5) искалось методом прогонки [1]. Однако полученное решение требует оценки погрешности. Поэтому следует сравнить численное решение с аналитическим.

Для аналитического решения задачи (1)–(5) введены безразмерные величины:

- безразмерная координата $\bar{r} = \frac{r}{R_3}$;
- безразмерное время $Fo = \frac{a_2 \tau}{R_3^2}$;
- безразмерная температура $\Theta(\bar{r}, Fo) = \frac{T(r, \tau) - T_0}{T_n - T_0}$.

С учетом введенных замен задача (1)–(5) запишется так:

$$\frac{\partial \Theta(\bar{r}, Fo)}{\partial Fo} = \alpha_i \left(\frac{\partial^2 \Theta(\bar{r}, Fo)}{\partial \bar{r}^2} + \frac{1}{\bar{r}} \frac{\partial \Theta(\bar{r}, Fo)}{\partial \bar{r}} \right), \quad Fo > 0, \quad 0 \leq \bar{r} \leq 1, \quad \alpha_i = a_i / a_2, \quad i = \overline{1, 3}. \quad (6)$$

С начальным условием

$$\Theta(\bar{r}, 0) = 1. \quad (7)$$

С граничными условиями

$$\begin{cases} \Theta\left(\frac{R_j}{R_3} - 0, Fo\right) = \Theta\left(\frac{R_j}{R_3} + 0, Fo\right); \\ \lambda_j \frac{\partial \Theta\left(\frac{R_j}{R_3} - 0, Fo\right)}{\partial \bar{r}} = \lambda_{j+1} \frac{\partial \Theta\left(\frac{R_j}{R_3} + 0, Fo\right)}{\partial \bar{r}}, \quad j = \overline{1, 2}, \end{cases} \quad (8)$$

$$\Theta(1, Fo) = 0, \quad (9)$$

$$\frac{\partial \Theta(0, Fo)}{\partial \bar{r}} = 0. \quad (10)$$

Решение задачи (6)–(10) находится методом разделения переменных [2, 3] в виде

$$\Theta(\bar{r}, Fo) = \sum_{k=1}^{\infty} A_k Y_k(\bar{r}) e^{(-\varepsilon_k^2 Fo)}, \quad (11)$$

где $Y_k(\bar{r})$, ε_k – собственные функции и собственные значения задачи Штурма-Лиувилля:

$$\frac{d^2 Y_k(\bar{r})}{d\bar{r}^2} + \frac{1}{\bar{r}} \frac{dY_k(\bar{r})}{d\bar{r}} + [\varepsilon_k^2 / \alpha_i] Y_k(\bar{r}) = 0, \quad i = \overline{1,3}, \quad 0 < \bar{r} < 1, \quad (12)$$

$$\begin{cases} Y_k\left(\frac{R_j}{R_3} - 0\right) = Y_k\left(\frac{R_j}{R_3} + 0\right); \\ \lambda_j \frac{dY_k\left(\frac{R_j}{R_3} - 0\right)}{d\bar{r}} = \lambda_{j+1} \frac{dY_k\left(\frac{R_j}{R_3} + 0\right)}{d\bar{r}}, \quad j = \overline{1,2}, \end{cases} \quad (13)$$

$$Y_k(1) = 0, \quad (14)$$

$$\frac{dY_k(0)}{d\bar{r}} = 0. \quad (15)$$

Для нахождения коэффициентов A_k удовлетворим начальному условию $\Theta(\bar{r}, 0) = \sum_{k=1}^{\infty} A_k Y_k(\bar{r})$.

$$A_k = \int_0^1 \bar{r} \Theta(\bar{r}, 0) Y_k(\bar{r}) d\bar{r} / \int_0^1 \bar{r} Y_k^2(\bar{r}) d\bar{r}. \quad (16)$$

Ограничившись, например, тремя членами ряда (11), можно вычислить собственные значения и собственные функции задачи Штурма-Лиувилля (12)–(15) методом Рунге-Кутты [1], а коэффициенты A_k методом Ньютона-Котеса [1]. На рис. 2 показаны результаты численного и аналитического вычисления температуры на оси цилиндрического тела, откуда видно, что они совпадают.

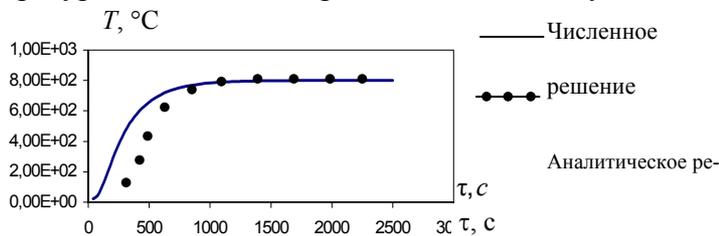


Рис. 2 Изменение температуры на оси цилиндрического тела во времени при $R_3 = 0,1358$ м, $T_0 = 800$ °С, $T_n = 0$ °С

Численным решением задачи (1)–(5) следует воспользоваться при решении задачи о выборе материала тепловой защиты. Цилиндр 1 (рис. 1) можно рассматривать как защищаемый материал, помещенный в корпус-обечайку 2, а оболочку 3 – как теплозащиту. Необходимо определить свойства и толщину материала оболочки 3. Критерием пригодности материала является обеспечение на внутренней поверхности оболочки 3 температуры, которая меньше заданной в течение заданного промежутка времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Хеминг Р. В. Численные методы. М.: Наука, 1968. 400 с.
- 2 Карташов Э. М. Аналитические методы в теории теплопроводности твердых тел. 2-е изд. М.: Высш. шк., 1985. 480 с.
- 3 Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. М.: Наука, 1964. 487 с.

Ю. К. Букурако, Ю. В. Кулаков,
Ю. Ф. Мартемьянов, В. Н. Шамкин

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУХОРАЗДЕЛИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКОЙ КА-32

Решается задача управления крупной воздухоразделительной установкой (ВРУ) КА-32 низкого давления, предназначенной для переработки газообразного технического кислорода и чистого азота [1]. Установка функционирует при переменной производительности по продуктам разделения, т.е. в условиях, когда требование на количество производимых продуктов может со временем изменяться.

В СЛУЧАЕ, ЕСЛИ ТЕКУЩАЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ УСТАНОВКИ СОВПАДАЕТ С ТРЕБУЕМОЙ, СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПОДДЕРЖИВАЕТ РАБОТУ УСТАНОВКИ В СООТВЕТСТВУЮЩЕМ ОПТИМАЛЬНОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ. В ПРОТИВНОМ СЛУЧАЕ, СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДОЛЖНА ПЕРЕВЕСТИ УСТАНОВКУ В СООТВЕТСТВУЮЩИЙ НОВЫЙ ОПТИМАЛЬНЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ И ПОДДЕРЖИВАТЬ ЕГО НЕОБХОДИМОЕ ВРЕМЯ, Т.Е. ДО ПОЛУЧЕНИЯ НОВОГО ЗАДАНИЯ НА КОЛИЧЕСТВО ПРОИЗВОДИМЫХ ПРОДУКТОВ. ПОСКОЛЬКУ ПРОДУКТЫ РАЗДЕЛЕНИЯ ВОЗДУХА НЕПРЕРЫВНО ПОСТУПАЮТ ПОТРЕБИТЕЛЮ, ТО В ПРОЦЕССЕ УПРАВЛЕНИЯ УСТАНОВКОЙ НЕ ДОЛЖНЫ НАРУШАТЬСЯ ОГРАНИЧЕНИЯ НА КАЧЕСТВО ЭТИХ ПРОДУКТОВ.

Установка как объект управления характеризуется векторами входных \bar{x} , управляющих \bar{u} , выходных \bar{y} переменных и схематически представлена на рис. 1.

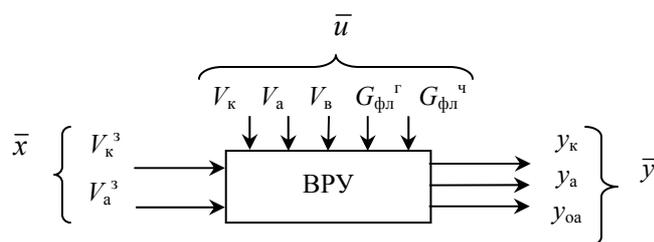


Рис. 1 Воздухоразделительная установка как объект управления:

V_k^3, V_a^3 – заданные отборы технического кислорода и чистого азота;
 V_b – расход воздуха в установку; $G_{фл.г}, G_{фл.ч}$ – расходы грязной и чистой азотной флегмы; V_k – расход технического кислорода;

V_a – расход чистого азота; y_k, y_a, y_{oa} – концентрации технического кислорода, чистого азота и отбросного азота

СУЩЕСТВУЮЩИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УСТАНОВКОЙ НЕ МОГУТ ОСУЩЕСТВЛЯТЬ ЕЕ ПЕРЕВОД С РЕЖИМА НА РЕЖИМ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ. ПОЭТОМУ ПРЕДПРИНЯТА ПОПЫТКА ПРИМЕНЕНИЯ НОВЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ПОДХОДОВ С ЦЕЛЬЮ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, ПОЗВОЛЯЮЩЕЙ РЕАЛИЗОВЫВАТЬ ТАКОЙ ПЕРЕВОД.

ДАЛЕЕ ОБСУЖДАЕТСЯ ЭС УПРАВЛЕНИЯ ВРУ КА-32, ОСНОВАННАЯ НА ЗНАНИЯХ, ПОЛУЧЕННЫХ ОТ ЭКСПЕРТОВ–СПЕЦИАЛИСТОВ ПО УПРАВЛЕНИЮ ВРУ. СИСТЕМА УПРАВЛЯЕТ УСТАНОВКОЙ, ФУНКЦИОНИРУЮЩЕЙ В РЕЖИМЕ ПЕРЕМЕННОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ, БЕЗ ПОТЕРИ КАЧЕСТВА ПОЛУЧАЕМЫХ ПРОДУКТОВ РАЗДЕЛЕНИЯ ВОЗДУХА. ОНА ПОЗВОЛЯЕТ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ПЕРЕВОДИТЬ УСТАНОВКУ С ОДНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ НА ДРУГУЮ И ПОДДЕРЖИВАТЬ СООТВЕТСТВУЮЩИЙ ОПТИМАЛЬНЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ЕЕ РАБОТЫ.

Традиционно ВРУ работает в технологическом режиме, соответствующем номинальной производительности по продуктам разделения; существует весьма много разнообразной информации, в том числе экспертной, из которой легко извлечь нужные знания. Для получения знаний о поведении ВРУ в технологических режимах, отличных от номинального, наряду с информацией, приобретаемой у экспертов, использовалась математическая модель ВРУ КА-32 [2]. С ее помощью построены и исследованы области допустимых управлений (ОДУ) ВРУ [3], и на их основе выявлены закономерности, присущие процессу перевода установки с режима на режим.

Под конкретной ОДУ понималась область в трехмерном пространстве изменения независимых управляющих воздействий V_b , $G_{фл}^ч$, $G_{фл}^г$, реализующая некоторую производительность установки V_k , V_a по продуктам разделения. При этом каждой точке ОДУ соответствовали управления, обеспечивающие концентрации y_k , y_a целевых продуктов не хуже заданных y_k^3 , y_a^3 .

Совокупность знаний, извлеченных из информации, полученной как от экспертов, так и с помощью математического моделирования режимов работы ВРУ, легла в основу базы знаний разрабатываемой ЭС.

Для обеспечения эффективного функционирования ВРУ на каждом интервале времени, в течение которого установка производит некоторое требуемое количество продуктов, необходимо реализовать оптимальный технологический режим. При этом оптимальные статические режимы определяются путем решения соответствующих задач статической оптимизации. В одних случаях минимизируются затраты электроэнергии на разделение воздуха при обеспечении заданной производительности по одному или двум продуктам разделения и их качестве не хуже заданного. В других случаях обеспечивается максимальная производительность установки по какому-то одному или двум продуктам разделения при обеспечении качества целевых продуктов не хуже заданного.

Одной из задач статической оптимизации является следующая: для заданной производительности ВРУ по продуктам разделения, определяемой отборами V_k^3 , V_a^3 и концентрациями y_k^3 , y_a^3 , требуется найти такие управления V_b , $G_{фл}^ч$, $G_{фл}^г$, которые минимизируют затраты электроэнергии на разделение воздуха при соблюдении уравнений связи в виде математической модели ВРУ $\bar{y} = M(\bar{x}, \bar{u})$, выполнении условий

$V_k \geq V_k^3$, $y_k = y_k^3$, $V_a \geq V_a^3$, $y_a = y_a^3$ и обеспечении технологических ограничений, накладываемых на компоненты векторов \bar{x} , \bar{u} , \bar{y} , а также ограничений, вытекающих из условий физической реализуемости.

РИС. 2 ФРАГМЕНТ ДЕРЕВА РЕШЕНИЙ, СООТВЕТСТВУЮЩИЙ ПЕРЕВОДУ УСТАНОВКИ С РЕЖИМА НА РЕЖИМ ПРИ УПРАВЛЕНИИ УСТАНОВКОЙ НЕОБХОДИМО РЕАЛИЗОВАТЬ ОПРЕДЕЛЕННЫЕ УПРАВЛЯЮЩИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ, ДЛЯ ВЫБОРА КОТОРЫХ СОЗДАНО ТАК НАЗЫВАЕМОЕ ДЕРЕВО РЕШЕНИЙ. ДЛЯ СФОРМУЛИРОВАННОЙ ВЫШЕ ЗАДАЧИ ФРАГМЕНТЫ ЭТОГО ДЕРЕВА, СООТВЕТСТВУЮЩИЕ ПЕРЕВОДУ УСТАНОВКИ С РЕЖИМА НА РЕЖИМ И ПОДДЕРЖАНИЮ ОПТИМАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА, ПРЕДСТАВЛЕНЫ В ВИДЕ УПРОЩЕННЫХ ГРАФОВ НА РИС. 2 И 3.

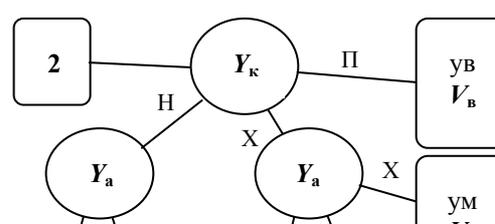
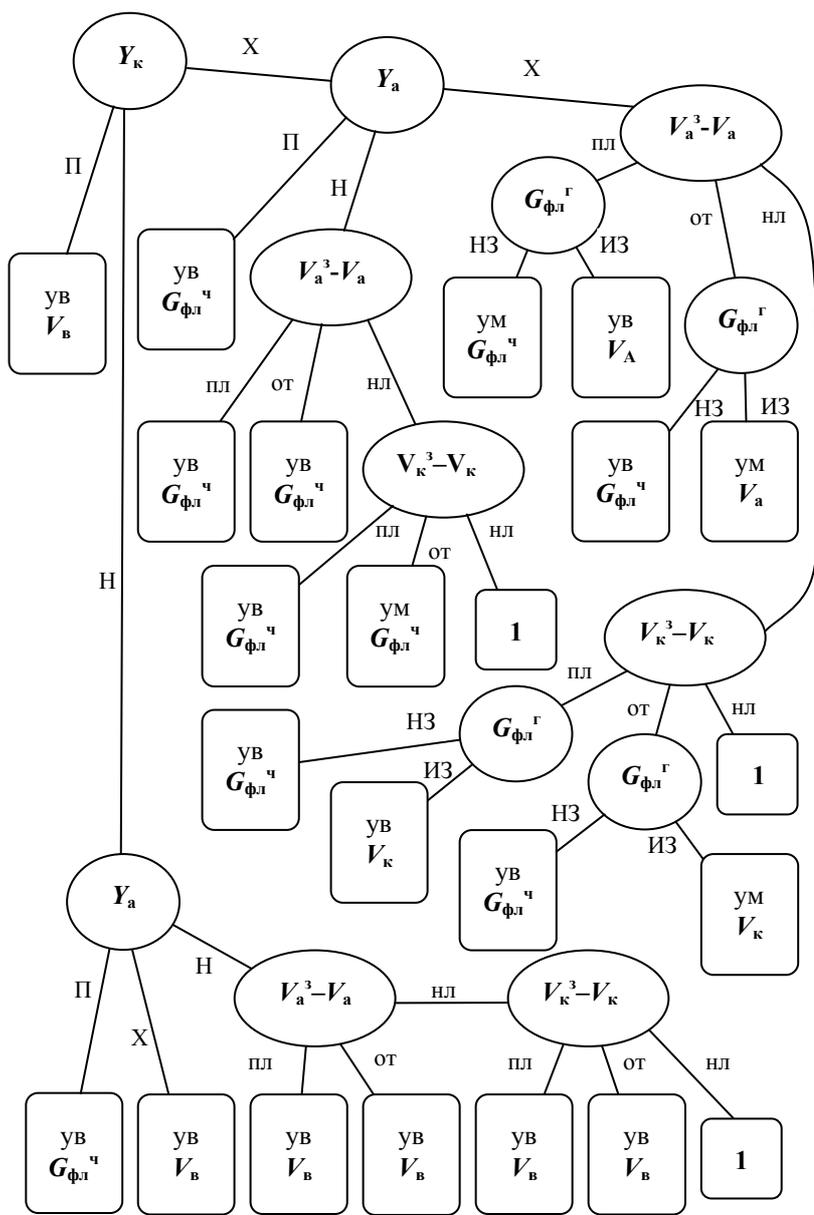


Рис. 3 Фрагмент дерева решений, соответствующий поддержанию оптимального технологического режима

Вершины графа на рисунках представлены овалом, прямоугольником или квадратом. Овал означает то, что в этой вершине качественно оценивается некоторая величина. Например, если в овале присутствует обозначение концентрации кислорода u_k , то оценивается какой она является: плохая (п), нормальная (н) или хорошая (х). Если же там находится разность расходов $V_a^3 - V_a$, то оценивается какова она: положительная (пл), отрицательная (от) или равная нулю (нл). Если в овале расположено обозначение расхода грязной флегмы $G_{фл}^r$, то определяется, изменялся ли расход на предыдущем шаге (из) или не изменялся (нз). Прямоугольник обозначает реализацию некоторого управляющего воздействия. Например, (ув) соответствует увеличению некоторого управляющего воздействия, а (ум) – его уменьшению.

На основе предложенного дерева решений, содержащего структурированные специфические знания о работе ВРУ, сформирована база знаний, которая является ядром разрабатываемой ЭС управления ВРУ. Знания в базе представлены набором правил, связывающих конкретное состояние установки с определенным управляющим воздействием:

ЕСЛИ концентрация кислорода нормальная и концентрация азота плохая, ТО увеличить расход грязной флегмы;

ЕСЛИ концентрация кислорода нормальная и концентрация азота хорошая, ТО увеличить расход воздуха.

Специфика построения ЭС определяет круг возможных инструментальных средств [4], к которым относятся оболочки для их построения (G2, RTWorks, COGSYS и др.), специальные языки для работы со знаниями (Prolog, OPS, C-PRS и т.д.), и языки высокого уровня (Pascal, Delphi, C, Visual C). Проведенное нами детальное рассмотрение и сравнение возможностей различных инструментальных средств позволило выбрать для реализации ЭС управления ВРУ доступный программный продукт Delphi, который обеспечивает высокую гибкость в построении программ, что создает благоприятные возможности для расширения базы знаний и дальнейшего совершенствования системы.

Проведенный численный эксперимент с использованием математической модели ВРУ в качестве объекта управления, позволил сделать вывод о работоспособности ЭС. В частности, при изменении производительности установки по кислороду с $V_k^3 = 1430$ до $V_k^3 = 1400$ кмоль/ч при фиксированной производительности по азоту $V_a^3 = 980$ кмоль/ч экспертная система выполнила ряд шагов, с помощью которых был осуществлен перевод ВРУ на новый режим потребления.

Из табл. 1, в которой отражены статические аспекты процесса перевода ВРУ, видно, что на каждом шаге принятия решений изменялось только одно из возможных управляющих воздействий, в конце перевода достигнута требуемая производительность по техническому кислороду $V_k^3 = 1400$ кмоль/ч и в процессе перевода не были нарушены ограничения на качество получаемых продуктов разделения.

1 Результаты вычислительного эксперимента

V_k^3	V_a^3	V_v	$G_{фл}^r$	$G_{фл}^c$	V_k	V_a	u_k	u_a
кмоль/ч							мольная доля	
1400	980	7510	2160	660	1430	980	0,9955	$4,22 \cdot 10^{-4}$
1400	980	7560	2160	660	1430	980	0,9966	$2,68 \cdot 10^{-4}$
1400	980	7560	2160	670	1430	980	0,9966	2,39

								10^{-4}
1400	980	7560	2160	680	1430	980	0,9966	2,14 10^{-4}
1400	980	7560	2160	690	1430	980	0,9966	1,94 10^{-4}
1400	980	7560	2160	690	1420	980	0,9977	2,01 10^{-4}
1400	980	7560	2160	700	1420	980	0,9977	1,84 10^{-4}
1400	980	7560	2160	700	1410	980	0,9988	1,91 10^{-4}
1400	980	7560	2160	700	1400	980	0,9988	1,98 10^{-4}

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Бодров В. И., Кулаков Ю. В., Шамкин В. Н. Оптимизация статических режимов воздуходелительных установок низкого давления при переменном потреблении продуктов разделения // Химическая промышленность. 1993. № 1–2. С. 66–71.

2 Бодров В. И., Кулаков Ю. В., Шамкин В. Н. Математическая модель статических режимов воздуходелительной установки низкого давления // Химическая промышленность. 1994. № 2. С. 64–70.

3 **БОДРОВ В. И., КУЛАКОВ Ю. В., ШАМКИН В. Н. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ СТАТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ВОЗДУХОРАЗДЕЛИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ РАЗЛИЧНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ // ВЕСТНИК ТГТУ. 1999. Т. 5. № 4. С. 498–509.**

4 Джексон, Пиер. Введение в экспертные системы: Учеб. пособие / Пер. с англ. М.: Издательский дом "Вильямс", 2001. 624 с.

Кафедра "Информационные технологии в проектировании"

УДК 658.562

С. В. Пономарев, А. В. Трофимов, В. А. Самородов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ПОСРЕДСТВОМ САМООЦЕНКИ

Система менеджмента качества (СМК) представляет собой тот способ, которым организация решает деловые задачи, связанные с обеспечением качества, охватывает такие вопросы, как оценивание того, как и зачем осуществляется тот или иной процесс, описание методов решения задач и фиксирование достигнутых результатов. Положения стандартов ИСО серии 9000 версии 2000 г. требуют от предприятия, чтобы были определены:

- процессы системы менеджмента качества предприятия;
- последовательность и взаимодействие выделенных процессов;
- критерии и методы оценки эффективности функционирования процессов СМК;
- процедуры осуществления постоянного улучшения

Одним из универсальных инструментов определения соответствия предприятия предъявляемым требованиям является проведение самооценки.

Самооценка – это всестороннее оценивание, итогом которого является мнение или суждение о результативности и эффективности организации и уровне зрелости СМК [1]. Самооценка проводится с целью выявления слабых сторон предприятия (невыполнение требований ГОСТ Р ИСО 9001-2001), для дальнейшей разработки и внедрения мероприятий, направленных на устранение выявленных несоответствий. Кроме того, самооценка может быть полезной при измерении достижений в сравнении с целями, а также для повторной оценки постоянного соответствия этим целям.

В основу представленной методики проведения самооценки, изложенной в настоящей статье, положена практика оценивания степени "развития" системы менеджмента качества ОАО "Искож". Разработанная методика представляет собой перечень вопросов по каждому принципу, положенных в основу международных стандартов ИСО серии 9000 версии 2000 г., посредством бальной шкалы оценки.

Особенностью данного метода является то, что он может:

- применяться как ко всей системе менеджмента качества предприятия, так и к отдельному процессу;
- осуществляться внутренними средствами;
- осуществляться одним работником предприятия при поддержке высшего руководства;
- учитывать особенности предприятия;
- определять возможности процессов СМК предприятия к улучшению деятельности.

В ТО ЖЕ ВРЕМЯ НЕОБХОДИМО ОТМЕТИТЬ, ЧТО САМООЦЕНКА ЯВЛЯЕТСЯ ВСЕГО ЛИШЬ ОДНИМ ИЗ ИНСТРУМЕНТОВ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СМК ПРЕДПРИЯТИЯ И НЕ ЗАМЕНЯЕТ ВНУТРЕННИЕ АУДИТЫ. САМООЦЕНКА – ЭТО ПРОЦЕСС ПОСТОЯННОГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ПУТЕМ РАЗРАБОТКИ НОВЫХ ПОДХОДОВ К ПОСТОЯННОМУ УЛУЧШЕНИЮ ПРОЦЕССОВ ПРЕДПРИЯТИЯ. НА ПРОЦЕСС ПОСТОЯННОГО УЛУЧШЕНИЯ ВЛИЯЮТ ПОТРЕБИТЕЛИ, ВЫСКАЗЫВАЯ СВОИ ПОЖЕЛАНИЯ И УДОВЛЕТВОРЕННОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ПРЕДПРИЯТИЯ. ПРЕДПРИЯТИЕ ОСУЩЕСТВЛЯЕТ ПОСТОЯННЫЙ АНАЛИЗ ПОЖЕЛАНИЙ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ И ОПРЕДЕЛЯЕТ ОЦЕНКУ УДОВЛЕТВОРЕННОСТИ ПОТРЕБИТЕЛЯ. В СЛУЧАЕ НЕОБХОДИМОСТИ ПРИНИМАЮТСЯ МЕРЫ, НАПРАВЛЕННЫЕ НА РАЗРАБОТКУ ПРЕДУПРЕЖДАЮЩИХ И ВНЕСЕНИЕ КОРРЕКТИРУЮЩИХ ДЕЙСТВИЙ В УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССА, ДАЮЩЕГО СБОИ В СВОЕЙ РАБОТЕ. ДЛЯ ТОГО, ЧТОБЫ УЛУЧШАТЬ ПРОЦЕССЫ, НЕОБХОДИМО ОСУЩЕСТВЛЯТЬ ПОСТОЯННЫЙ КОНТРОЛЬ ЗА ПРОЦЕССАМИ, ВЕСТИ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ, ПРИНИМАТЬ НЕОБХОДИМЫЕ МЕРЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АНАЛИЗА. ПРИМЕРОМ ТАКОГО АНАЛИЗА МОГУТ СЛУЖИТЬ ОПЕРАТИВНЫЕ СОВЕЩАНИЯ, НА КОТОРЫХ ОПРЕДЕЛЯЮТСЯ КОРРЕКТИРУЮЩИЕ И ПРЕДУПРЕЖДАЮЩИЕ ДЕЙСТВИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ ЗАПЛАНИРОВАННОГО УРОВНЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ; ЕЖЕМЕСЯЧНО ПРОВОДИТЬ "ДЕНЬ КАЧЕСТВА" ПОД ПРЕДСЕДАТЕЛЬСТВОМ ПРЕДСТАВИТЕЛЯ РУКОВОДСТВА ПО КАЧЕСТВУ, ГДЕ РАССМАТРИВАЮТСЯ РЕЗУЛЬТАТЫ И ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЦЕССОВ, ПЛАНИРУЮТСЯ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОСТОЯННОМУ УЛУЧШЕНИЮ С ОФОРМЛЕНИЕМ ПРОТОКОЛОВ СОВЕЩАНИЙ, КУДА ЗАКЛАДЫВАЮТСЯ МЕРОПРИЯТИЯ, КОТОРЫЕ НЕОБХОДИМО ВЫПОЛНИТЬ ДЛЯ ДАЛЬНЕЙШЕГО УЛУЧШЕНИЯ ПРОЦЕССОВ.

Разработанная методика проведения самооценки в производстве тентового материала, на наш взгляд, позволяет определить необходимые управленческие решения, выявить процессы СМК, требующие корректирующих действий или которые необходимо разработать.

РАССМОТРИМ БОЛЕЕ ПОДРОБНО ПОРЯДОК И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ДЕЙСТВИЙ, СВЕДЯ ИХ В ЧЕТЫРЕ ЭТАПА.

Первый этап: разработка анкеты по самооценке. Представитель руководства по качеству издает распоряжение по предприятию, в котором указывает срок и назначает ответственного (начальник отдела управления качеством (ОУК)) за проведение самооценки. Начальник ОУК разрабатывает анкету, в которой определены вопросы по каждому принципу положенному в основу ГОСТ Р ИСО 9001-2001.

Второй этап: проведение самооценки. Анкетирование проводится среди руководителей подразделений предприятия. Проводит начальник ОУК при поддержке высшего руководства, которая заключается в доведении до всех руководителей на совещании "День качества" информации о предстоящей акции. Разработанная анкета раздается для заполнения руководителям подразделений и устанавливается срок (одна неделя) для ее заполнения.

Третий этап: анализ полученных результатов. Заполненные анкеты сдаются в отдел управления качеством, для анализа проведенного анкетирования. Полученные результаты сводятся в табл. 1.

Наименование принципа	Номер вопроса	Рейтинг (m)	Наблюдения по фактической деятельности	Корректирующие действия
1	2	3	4	5

ПРИ ЗАПОЛНЕНИИ ТАБЛИЦЫ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ ПРОСТЕЙШАЯ МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ:

$$m = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n},$$

где m – среднее значение рейтинга по данному вопросу; x_i – значение рейтинга, определенное каждым руководителем по данному вопросу;
 n – количество опрошенных руководителей;

$$M = \sum_{j=1}^k \frac{m_j}{k},$$

где M – среднее значение рейтинга по рассматриваемому принципу; m_j – среднее значение рейтинга по данному j -му вопросу в рамках этого принципа; k – количество вопросов в анкете по конкретному принципу.

По данным таблицы определяется средняя степень "развития" принципов СМК на предприятии. Графическое представление степени "развития" полученное в результате проведенной самооценки на предприятии представлено на рис. 1.

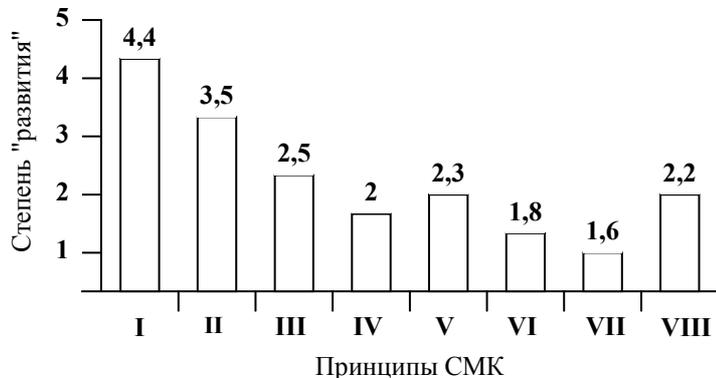


Рис. 1 Степень "развития" принципов СМК на предприятии:

I – ориентация на потребителей; II – лидерство руководства;
 III – вовлечение работников; IV – процессный подход; V – системный подход;
 VI – постоянное улучшение; VII – принятие решений основанных на фактах; VIII – взаимовыгодные отношения с поставщиками

Четвертый этап: разработка мероприятий по результатам анализа и их внедрение. По результатам третьего этапа разрабатываются корректирующие действия по каждому вопросу принципа.

Примером корректирующих действий могут быть:

- разработка процесса;
- улучшение работы уже существующего процесса (корректировка входных потоков, управляющих воздействий, ресурсов);
- определение ответственных и установление сроков выполнения корректирующих действий;
- корректировка критериев оценки результативности процессов.

Разработанные корректирующие мероприятия на совещании "День качества" доводятся до руководителей подразделений и, в частности, до конкретных владельцев процессов. Общие результаты проведенной самооценки доводятся до высшего руководства.

Проводимая самооценка выявила недоработки в деятельности предприятия, но в то же время показала, что на предприятии эффективно функционирует система качества. Полученные результаты свидетельствуют о том, что на предприятии успешно действуют ряд процессов (закупки, управление оборудованием и средствами измерения, управление документацией и записями), но в то же время недостаточно развиты некоторые процессы (определение удовлетворенности потребителей, управление инфраструктурой и производственной средой), на которые ранее, в рамках старой версии ИСО серии 9000, не обращали серьезного внимания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 ГОСТ Р ИСО 9004-2001. Системы менеджмента качества: Рекомендации по улучшению деятельности. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001. 52 с.

Кафедра "Автоматизированные системы и приборы"

УДК 543.42

А. Н. Пчелинцев, В. А. Шишин

ЛИНЕЙНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МЕТАЛЛА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Согласно классической и квантовой теориям электроны металла участвуют в хаотическом тепловом движении, испытывая соударения с атомами (точнее – с атомными остовами) решетки. Эти атомы (остовы атомов) размещены в строгом порядке и совершают колебания около своих положений равновесия. Чем выше температура T , тем больше амплитуда (размах) этих колебаний. Согласно квантовой теории эти колебания не прекращаются и при температуре абсолютного нуля.

Тепловые колебания атомов решетки качественно различны в двух температурных областях, определяемых соотношением между энергией тепловых колебаний атома и энергией связи между атомами металла.

В области высоких температур решетка не является периодической структурой. "Мгновенная фотография" решетки дала бы хаотическое расположение атомов, смещенных случайным образом из своих положений равновесия. В области низких температур энергия связи атомов настолько велика по сравнению с энергией колебаний, что атом при своем смещении из положения равновесия в некотором направлении увлекает соседние атомы в том же направлении. Именно это обстоятельство и приводит к согласованности движения соседних атомов.

Температура, условно разделяющая эти две области, носит название температуры Дебая Θ_D . Каждая из описанных выше областей

определяется строго только одним из неравенств: $T \ll \Theta_D$ или $\Theta_D < T < T_{пл}$.

Если рассмотреть тепловые колебания атомов решетки с позиций квантовой механики, то каждое нормальное колебание решетки эквивалентно линейному монохроматическому осциллятору. Энергия ε_i упругой волны с частотой ω_i не может иметь произвольных значений, она должна быть равна целому числу квантов $\hbar\omega_i$. Каждому отдельному кванту энергии нормального колебания решетки удобно поставить в соответствие квазичастицу с энергией $\varepsilon_i = \hbar\omega_i$ и импульсом $\vec{p}_i = \hbar\vec{k}_i$. Здесь \vec{k}_i – волновой вектор i -го колебания.

Введенный таким образом квант энергии нормального колебания получил название фонон. Такое название было предложено впервые Френкелем по аналогии с названием кванта электромагнитного поля – фотона. Введение фононов приводит к большей наглядности и простоте при рассмотрении взаимодействия электронов с колебаниями решетки.

Из квантовой механики известно, что равновесное значение энергии осциллятора имеет вид

$$\bar{\varepsilon}_i = \frac{\hbar\omega_i}{2} + \frac{\hbar\omega_i}{e^{k_0T} - 1}, \quad (1)$$

где k_0 – постоянная Больцмана. Условие (1) вытекает из того, что фононы подчиняются статистике Бозе-Эйнштейна.

Если считать, что возбуждение осциллятора адекватно рождению фонона, то среднее число фононов определяется из (1):

$$\bar{n}_i = \frac{\bar{\varepsilon}_i}{\hbar\omega_i} = \frac{1}{2} + \frac{1}{e^{k_0T} - 1}. \quad (2)$$

Перейдем к случаю высоких температур. В этом диапазоне, когда $\hbar\omega_i \ll k_0T$, осциллятор находится в высоком энергетическом состоянии. Используя линейную часть разложения показательной

функции в ряд Тейлора, в данном температурном интервале из соотношения (2) можно получить формулу

$$\bar{n}_i \approx \frac{k_0 T}{\hbar \omega_i}.$$

Таким образом, при температурах $T > \Theta_D$ число фононов каждой частоты пропорционально T .

Для дальнейших рассуждений рассмотрим понятие уровня Ферми. При абсолютном нуле, вследствие принципа Паули, электроны заполняют все состояния с энергией, меньшей граничной E_F , названной уровнем Ферми. Поверхность, отделяющая занятые состояния от свободных, называется поверхностью Ферми. Граничная энергия и импульс p_F в силу принципа Паули растут с числом частиц. Нагревание металла сопровождается переходом электронов с уровней, примыкающих к уровню Ферми, на уровни, лежащие выше E_F . Однако, основная масса электронов, размещенных на более глубоких уровнях, останется в прежних состояниях и поглощать энергию при нагревании не будет. Таким образом, в процессе нагревания металла участвует лишь незначительная часть электронов проводимости.

При пропускании тока через металл все электроны, расположенные вблизи поверхности Ферми, ускоряются, тем самым, приобретая дополнительный импульс, вследствие которого эта поверхность смещается против электрического поля. Внутри объема, ограниченного этой поверхностью, электроны не могут ускоряться полем, так как все состояния заняты.

До включения поля электрический ток отсутствовал, распределение электронов было симметричным относительно начала координат в пространстве импульсов.

В результате смещения поверхности центральная симметрия распределения электронов нарушается. В объеме 1 (рис. 1) появляются электроны, суммарный импульс которых имеет нескомпенсированную компоненту в направлении $+\vec{p}_x$. Одновременно в объеме 2 исчезают электроны, движение которых компенсировало поток электронов, находящихся в объеме 3.

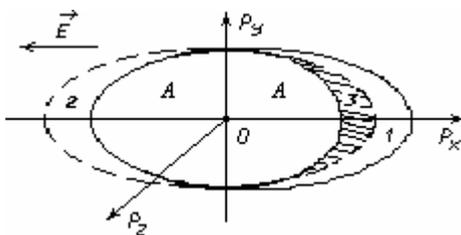


Рис. 1 Смещение

распределения по импульсам.

Таким образом, сдвиг поверхности Ферми приводит к появлению нескомпенсированного потока электронов (электрического тока) в объемах 1 и 3. Заметим, что электроны в объеме А-А на рис. 1 в электропроводности участия не принимают, в силу симметрии их

В теории электропроводности металлов под актом рассеяния понимается такой процесс, в результате которого электрон выбывает из числа частиц, находящихся в объемах 1 и 3. Выбытие может происходить вследствие изменения импульса частицы, как по величине, так и по направлению.

В достаточно чистых монокристаллических образцах металла основным процессом рассеяния, определяющим электрическое сопротивление, является рассеяние электронов на фононах. Для этих металлов длина свободного пробега l обратно пропорциональна числу N_p актов рассеяния. Рассеяние может быть следствием как одного (при большом изменении импульса), так и многих последовательных актов взаимодействия, если суммарное изменение импульса таково, что электрон переходит из объемов 1 и 3 в объем 2. Поэтому не каждый акт взаимодействия электрона с фононом приводит к рассеянию.

Можно установить, что в области $T > \Theta_D$ импульс фонона по величине практически совпадает с импульсом электрона. Это значит, что при каждом акте взаимодействия электрона с фононом им-

пульс электрона может изменяться на величину порядка первоначального значения импульса, т.е. практически при каждом взаимодействии с фононом происходит рассеяние электрона.

Число рассеивающих центров N_p , которое в этом случае совпадает с числом фононов, растет пропорционально температуре. Отсюда следует, что l обратно пропорциональна T .

Для металла с простой кубической решеткой

$$l = \frac{9\pi\hbar^4 u^2 M}{4Gm^{*2} C^2 k_0 T},$$

где u – скорость продольных волн колебаний решетки; M – масса

иона решетки; $G=a^3$ – объем элементарной ячейки; m^* – эффективная масса электрона в кристалле;

$C = \frac{\hbar^2}{2m^* a^2}$ – постоянная, характеризующая интенсивность взаимодействия электронов с фононами.

Наконец, используя формулу И. М. Лифшица для удельного сопротивления

$$\rho = 3 \left(\frac{\pi}{ep_F} \right)^2 \frac{\hbar^3}{l},$$

найдем, что искомая температурная зависимость удельного сопротивления $\rho = K_{Me} T$.

Заметим, что при низких T наблюдаются отступления от этой закономерности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Савельев И. В. Курс общей физики. М.: Наука, 1982. Т. 3. 304 с.
- 2 Блатт Ф. Физика электронной проводимости в твердых телах. М.: Мир, 1971. 470 с.

Кафедра "Физика"

УДК 519.6

Д. Ю. Муромцев, Аль-Наджар Гассан Махмуд

ВИДЫ ФУНКЦИЙ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ В ЗАДАЧЕ ТРОЙНОГО ИНТЕГРАТОРА

Увеличение порядка дифференциальных уравнений, описывающих динамику объектов управления, ведет к резкому усложнению алгоритмического обеспечения управляющих устройств. В статье рассматриваются вопросы определения видов функций оптимального управления и расчета их параметров в задаче энергосберегающего управления объектом тройного интегрирования при закрепленных концах

траектории изменения вектора фазовых координат $z = (z_1, z_2, z_3)^T$, фиксированным временным интервалом $[t_0, t_k]$ и ограничением на скалярное управление u .

Математически данная задача записывается следующим образом

$$\dot{z} = Az(t) + Bu(t), \quad t \in [t_0, t_k], \quad A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ b \end{pmatrix}, \quad (1)$$

$$z(t_0) = z^0, \quad z(t_k) = z^k, \quad (2)$$

$$\forall t \in [t_0, t_k], \quad u(t) \in [u_n, u_b], \quad (3)$$

$$I_3 = \int_{t_0}^{t_k} u^2(t) dt \rightarrow \min_{u(t)}, \quad (4)$$

$$u^*(\cdot) = (u^*(t), \quad t \in [t_0, t_k]), \quad (5)$$

где A, B – матрицы параметров модели объекта; $z^0 = (z_1^0, z_2^0, z_3^0)^T$, $z^k = (z_1^k, z_2^k, z_3^k)$ – соответственно, начало и конец траектории $z(\cdot) = (z(t), \quad t \in [t_0, t_k])$; u_n, u_b – границы изменения управления; I_3 – минимизируемый функционал – затраты энергии; $u^*(t)$ – функция оптимального управления.

В соответствии с принципом максимума [1]

$$\mathcal{H} = -u^2 + \psi_1 z_2 + \psi_2 z_3 + \psi_3 b u \rightarrow \max_u, \quad (6)$$

$$\dot{\psi} = A^T \psi(t), \quad \psi = (\psi_1, \psi_2, \psi_3)^T \quad (7)$$

и виды функции $u^*(t)$ находятся из соотношения

$$u^*(t) = \begin{cases} \frac{b}{2} \psi_3(t), & \text{если } \frac{b}{2} \psi_3(t) \in [u_n, u_b]; \\ u_b, & \text{если } \frac{b}{2} \psi_3(t) > u_b; \\ u_n, & \text{если } \frac{b}{2} \psi_3(t) < u_n, \end{cases} \quad (8)$$

здесь \mathcal{H} – гамильтониан; ψ – вектор сопряженных переменных (импульсов).

Так как в результате решения (7) с начальными значениями

$$\psi^0 = (\psi_1^0, \psi_2^0, \psi_3^0)^T \quad \psi_3(t) = \frac{1}{2} \psi_1^0 t^2 + \psi_2^0 t + \psi_3^0,$$

то при $0,5b\psi_3(t) \in [u_n, u_b] \quad \forall t \in [t_0, t_k]$ имеет место

$$u(t) \hat{=} u_1(t) = d_0 + d_1 t + d_2 t^2, \quad (9)$$

где d_0, d_1, d_2 – параметры функции оптимального управления (ОУ), которые определяются при совместном решении (1), (2), (9).

Ограниченный участок параболы (9) обозначим $\tilde{u}(t)$.

Определение 1. Две функции ОУ $u_i^*(t)$ и $u_j^*(t)$ называются различными, если их параметры находятся решением разных систем уравнений (в частности, связанных с использованием границ управления u_H, u_B).

Определение 2. Функция ОУ $u_i^*(t)$ относится к числу основных, если она определяется значением трех параметров в результате решения трех уравнений.

Используя метод синтезирующих переменных [2], можно показать, что вид и параметры функций $u_i^*(t)$ однозначно определяются тремя синтезирующими переменными.

Утверждение 1. Для условий задачи (1)–(5) возможны семнадцать основных видов функций ОУ:

$$u_1^*(t) = \tilde{u}(t), \quad t \in [t_0, t_k]; \quad u_2^*(t) = \begin{cases} \tilde{u}(t), & t \in [t_0, t_2), \\ u_B, & t \in [t_2, t_k]; \end{cases}$$

$$u_3^*(t) = \begin{cases} u_B, & t \in [t_0, t_3), \\ \tilde{u}(t), & t \in [t_3, t_k]; \end{cases} \quad u_4^*(t) = \begin{cases} \tilde{u}(t), & t \in [t_0, t_4), \\ u_H, & t \in [t_4, t_k] \end{cases}$$

и другие, которым в пространстве трех синтезирующих переменных L_1, L_2, L_3 соответствуют области $\mathcal{L}_1, \mathcal{L}_2, \dots, \mathcal{L}_{17}$.

Определение 3. Функции ОУ, для которых решением системы уравнений рассчитываются два параметра, а один непосредственно выражается через одну из конечных пар $(u_B, t_0), (u_B, t_k), (u_H, t_0), (u_B, t_k)$, называются частными первого порядка и обозначаются двумя индексами $u_{i,j}^*(t)$.

Утверждение 2. Для условий задачи (1)–(5) возможны 32 частных вида функций ОУ первого порядка, в том числе 30 функций $u_{i,j}^*(t)$ являются промежуточными между основными $u_i^*(t)$ и $u_j^*(t)$, и две функции представляют собой решение задачи максимального быстродействия, т.е. имеют вид

$$u_{61}^*(t) = \begin{cases} u_B, & t \in [t_0, t_{61}); \\ u_H, & t \in [t_{61}, t'_{61}); \\ u_B, & t \in [t'_{61}, t_k]; \end{cases} \quad u_{62}^*(t) = \begin{cases} u_H, & t \in [t_0, t_{62}); \\ u_B, & t \in [t_{62}, t'_{62}); \\ u_H, & t \in [t'_{62}, t''_{62}]. \end{cases}$$

Области значений $\mathcal{L}_{i,j}$ функций ОУ $u_{i,j}^*(t)$ являются границами между областями \mathcal{L}_i и \mathcal{L}_j и геометрически имеют вид ограниченных поверхностей в пространстве синтезирующих переменных, а поверхности $\mathcal{L}_{61}, \mathcal{L}_{62}$ ограничивают область существования решения задачи (1)–(5).

Для доказательства утверждения удобно использовать граф, вершины которого соответствуют основным функциям $u_i^*(t)$, $i = \overline{1,17}$ (и соответственно областям \mathcal{L}_i , $i = \overline{1,17}$), а ребра частным функциям $u_{i,j}^*(t)$ (областям $\mathcal{L}_{i,j}$).

Определение 4. Функции ОУ, для которых рассчитывается один параметр, а два других непосредственно выражаются через две конечные пары, называются частными функциями второго порядка и обозначаются $u_j^{*(2)}$, $j = 1, 2, \dots$

НАПРИМЕР, ФУНКЦИЯ $u_1^{*(2)}$ ПРЕДСТАВЛЯЕТ СОБОЙ

$$u_1^{*(2)}(t) = \begin{cases} u_H, & t = t_0; \\ \tilde{u}(t), & t \in (t_0, t_k); \\ u_B, & t = t_k. \end{cases}$$

При $t_0 = 0$, $d_0 = u_B$, $u_H + d_1 t_k + d_2 t_k^2 = u_B$ и

$$u_1^{*(2)}(t) = u_n + \left(\frac{u_b - u_n}{t_k} - d_2 t_k \right) t + d_2 t^2.$$

Утверждение 3. Для условий задачи (1)–(5) областями значений $\mathcal{L}_j^{(2)}$, $j=1, 2, \dots$ частных функций второго порядка в пространстве синтезирующих переменных являются линии, образуемые пересечениями поверхностей $\mathcal{L}_{i,j}$, $\mathcal{L}_{i,k}$, $i, j, k=1, 2, \dots$.

Характерным признаком функции $u_j^{*(2)}$ является, то, что при нарушении "условия одной конечной пары" эта функция превращается в одну из частных функций первого порядка. Например, функция $u_1^{*(2)}(t)$ при невыполнении условия $u^*(t_k) \neq u_b$ превращается в $u_{1,5}^*(t)$.

Определение 5. *Функции ОУ, которые не содержат рассчитываемых параметров, называются частными функциями ОУ третьего порядка или полюсами, они обозначаются $u_j^{*n}(t)$.*

НАИБОЛЕЕ ВАЖНЫМИ ПОЛЮСАМИ ЯВЛЯЮТСЯ

$$u_1^{*n}(t) = u_b, \quad t \in [t_0, t_k], \quad u_2^{*n}(t) = u_n, \quad t \in [t_0, t_k].$$

Утверждение 4. Для условий задачи (1)–(5) полюсами $u_1^{*n}(t)$, $u_2^{*n}(t)$ в пространстве синтезирующих переменных соответствуют точки \mathcal{L}_1^n , \mathcal{L}_2^n , которые вместе с \mathcal{L}_{61} , \mathcal{L}_{62} и $\mathcal{L}_{61}^{(2)}$, $\mathcal{L}_{62}^{(2)}$ (см. рис. 3) образуют внешнюю границу области существования решения задачи, а точки \mathcal{L}_3^n , \mathcal{L}_4^n соответствующие $u_3^{*n}(t)$, $u_4^{*n}(t)$ находятся внутри этой области.

Результаты работы можно свести к следующему:

• **РАССМОТРЕНЫ ВОЗМОЖНЫЕ ВИДЫ ФУНКЦИЙ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ ТРОЙНОГО ИНТЕГРИРОВАНИЯ ПРИ МИНИМИЗИРУЕМОМ ФУНКЦИОНАЛЕ ЗАТРАТЫ ЭНЕРГИИ;**

- предложена классификация видов функций в зависимости от числа рассчитываемых параметров;
- всем видам функций поставлены в соответствие их геометрические образы в пространстве синтезирующих переменных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Понтрягин Л. С., Болтянский В. Г., Гамкрелидзе Р. В., Мищенко Е. Ф. Математическая теория оптимальных процессов. М.: Наука, 1969. 384 с.
- 2 Муромцев Ю. Л., Ляпин Л. Н., Сатина Е. В. Метод синтезирующих переменных при оптимальном управлении линейными объектами // Изв. вузов. Приборостроение. 1993. № 11–12. С. 19–25.

Кафедра "Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем"

УДК 65.012.2

А. С. Карташов, Е. С. Егорова

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

ОСТАНОВОЧНЫХ РЕМОНТОВ ОБЪЕКТОВ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ И МЕТОДОВ ИХ РЕШЕНИЯ

Рассматривается проблема планирования и управления остановочными ремонтами объектов химических производств как целенаправленного комплекса взаимосвязанных работ с учетом неопределенности условий их выполнения.

В зависимости от объектов ремонта различают следующие виды остановочных ремонтов, выполняемые на химических производствах:

- капитальный ремонт основного оборудования;
- переналадка производства, связанная с переходом на выпуск новой продукции;
- остановочный ремонт всего цеха (внутрицеховых коммуникаций, оборудования, строительных конструкций);
- ремонт межцеховых трубопроводных сетей;
- строительство и ввод в эксплуатацию новых производств;
- ремонт крупного производства (нескольких цехов).

Суть первого вида остановочного ремонта заключается в следующем: при аварийном отказе или запланированном ремонте одного из основных аппаратов схемы, выпуск продукта прекращается (если нет резервного аппарата) и проводится капитальный ремонт аппарата. В качестве исходных данных для определения продолжительности проведения ремонта аппарата являются: нормативные времена продолжительности всех операций, входящих в капитальный ремонт и сведения о наличии ремонтного персонала, что позволяет с учетом вероятностной оценки времени определить продолжительность каждой работы, и на основе их логической взаимосвязи определить общую длительность капитального ремонта.

Второй вид остановочного ремонта – переналадка производства, связанная с переходом на выпуск новой продукции, заключается в определении оптимального проекта выполнения переналадки производства. Здесь решаются задачи календарного планирования ремонтных работ, перераспределения ремонтного персонала и др. Работы этого вида остановочного ремонта заключаются в выполнении работ по восстановлению работоспособности старого оборудования и строительства и установки нового.

Планирование остановочного ремонта всего цеха заключается, как в рассмотрении всего проекта в виде частных капитальных ремонтов отдельных аппаратов, так и других объектов цеха. Под этими объектами понимаются: вспомогательное оборудование схемы, ремонт строительных конструкций, ремонт другого оборудования схемы, у которого ремонт по ППР попадает в срок проведения остановочного ремонта.

Особенность четвертого вида остановочного ремонта – ремонт межцеховых трубопроводных сетей, заключается в необходимости остановки нескольких цехов, для проведения ремонта как самих трубопроводных сетей, так и их строительных конструкций, опор и т.д.

При строительстве и вводе новых производств рассматриваемые методы применяются для планирования работ по строительству, установке и наладке оборудования и т.д.

Самым сложным видом остановочного ремонта является ремонт крупного производства (ремонт нескольких цехов). Здесь проводится ремонт большого количества оборудования.

Недостаток планирования рассмотренных выше видов ремонта, заключается в использовании приближенных данных по длительности ремонта (нормативные данные по ремонту

оборудования), не учитывающих специфику ремонта оборудования на данном производстве, а также в неверной оценке длительности самих работ, входящих в ремонт этого оборудования. На самом деле, во всех перечисленных выше видах ремонта длительности работ носят двойной характер, так как приходится пользоваться как детерминированными, так и вероятностными оценками их длительности. Но реально на производстве руководители проектов, при планировании остановочных ремонтов, как правило, избегают "вероятностной" терминологии и пытаются контролировать выполнение остановочных ремонтов с высоким уровнем неопределенности на основе только детерминированных моделей и методов. Последнее приводит к систематическим ошибкам в оценках параметров ремонта, в частности, в оценке времени его выполнения, и как следствия – стоимости. При этом время выполнения проекта в целом искусственно завышается.

Сказанное позволяет сделать вывод, что планирование сложных остановочных ремонтов, требующих выполнения большого количества операций при сложных технологических взаимозависимостях между ними, обуславливает необходимость разработки моделей и методов управления этими процессами, адекватных решаемым задачам, поэтому разработка обоснованных моделей и методов управления остановочными ремонтами – актуальна и является важной теоретической и прикладной задачей.

Можно выделить три основных типа задач, решаемых при планировании остановочных ремонтов объектов химических производств.

Наиболее важным и основным является *первый* тип задач – календарное планирование, когда решается ряд задач планирования расписания ремонтных работ в зависимости от выбранного критерия и ограничений, а также с учетом вероятностной оценки длительности работ:

- составление календарного плана ремонтных работ по критерию минимального срока проведения остановочного ремонта без учета ограничений на трудовые ресурсы;
- составление календарного плана ремонтных работ по критерию минимального срока проведения остановочного ремонта с учетом ограничений на трудовые ресурсы;
- составление календарного плана ремонтных работ по критерию затрат на проведение ремонта;
- составление календарного плана при заданном сроке проведения ремонта;
- решение перечисленных выше задач планирования с учетом вероятностной оценки длительности работ.

Второй тип задач – оптимальное распределение производственных ресурсов, которое заключается в сглаживании, либо в выравнивании ресурсного профиля (графика потребления ресурсов), что необходимо для равномерной занятости ремонтного персонала и распределенного потребления запчастей и материалов.

ТРЕТИЙ ТИП ЗАДАЧ – ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОСТИ В ЗАПАСНЫХ ДЕТАЛЯХ, МАТЕРИАЛАХ И СПЕЦИАЛЬНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РЕМОНТА ПРЕДНАЗНАЧЕНО ДЛЯ РАСЧЕТА ПЕРСПЕКТИВНОГО ПЛАНА ЗАГОТОВКИ ЗАПЧАСТЕЙ И МАТЕРИАЛОВ И В РАСЧЕТЕ ОПТИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ЗАПЧАСТЕЙ НА СКЛАДЕ.

Рассмотрим постановку задачи календарного планирования ремонтных работ по критерию суммарных затрат на проведение ремонта.

Пусть для каждой работы (*ij*) остановочного ремонта *U* задана функция "время–стоимость":

$$c_{ij} = \varphi_{ij}(t_{ij}),$$

где t_{ij} – продолжительность; c_{ij} – стоимость (прямозатраты).

Допускаемые технологические пределы продолжительности каждой работы заданы следующим образом:

$$0 \leq d_{ij} \leq t_{ij} \leq D_{ij} . \quad (1)$$

Кроме того, задан директивный срок $T_{\text{дир}}$ завершения комплекса, т.е. условие

$$T_{\text{кр}} \leq T_{\text{дир}} . \quad (2)$$

Требуется определить такие продолжительности t_{ij} работ (ij) , чтобы выполнялись условия (1) и (2) и суммарные затраты:

$$c_{\text{сум}} = \sum_{(ij) \in U} c_{ij} = \sum_{(ij) \in U} \varphi_{ij}(t_{ij})$$

были минимальными (U – множество других работ ремонта). При решении задачи должны быть учтены так же сетевые ограничения:

$$T_j - T_i \geq t_{ij}, \quad T_{i_0} = T_0 .$$

Здесь имеет место зависимость длительности ремонтной работы с ее стоимостью, т.е. необходимо определить такие продолжительности работ ремонта, с учетом ограничений, которые приводили бы суммарные затраты на ремонт к минимуму.

Исходные данные задачи включают: а) дефектные ведомости; б) нормативы технического обслуживания и ремонта; в) технические условия; г) нормативы на трудозатраты (на расчет зарплаты рабочим); д) количество ремонтного персонала по каждой специальности и квалификации имеющегося в распоряжении РМЦ и механика ремонтируемого цеха; е) чертежи объектов, для которых будет производиться ремонт; ж) директивный срок проведения остановочного ремонта; з) сметы материалов, оснастки и инструментов для проведения ремонта.

Результатами решения задачи планирования являются: а) формирование производственного задания на ремонт; б) календарный план выполнения ремонта; в) прогноз длительности выполнения ремонтных работ; г) оценка стоимости выполнения проекта; д) прогнозирование прибыли от использования системы при решении задач остановочного ремонта; е) оптимальное распределение трудовых и производственных ресурсов.

Практическая реализация задач планирования приведена на сайте http://www.gaps.tstu.ru/win-1251/lab/sreda/rmeho/rem_9/index3.html.

Кафедра "Гибкие автоматизированные производственные системы"

УДК 620.178.12:536.2

А. С. Чех, Н. П. Жуков, Н. Ф. Майникова

МНОГОМОДЕЛЬНЫЙ МЕТОД ДЛЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

АВТОРАМИ РАЗРАБОТАН НЕРАЗРУШАЮЩИЙ МНОГОМОДЕЛЬНЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ, ПОЗВОЛЯЮЩИЙ ОПРЕДЕЛЯТЬ КОМПЛЕКС ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК (ТФХ) ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ.

Метод основан на аналитических решениях моделей процессов теплопереноса в исследуемом теле на стадии нагрева от действия плоского круглого источника тепла постоянной мощности [1], а также после отключения последнего (стадия охлаждения). Метод реализован с помощью измерительно-вычислительной системы (ИВС) с применением микропроцессорной техники и компьютерных технологий.

Используемая для неразрушающего контроля ТФХ твердых материалов ИВС (рис. 1) включает в себя: измерительный зонд (ИЗ), измерительно-вычислительное микропроцессорное устройство (ИВУ) и персональный компьютер. Принцип работы ИВС состоит в следующем. Сигнал с измерительного зонда поступает на аналого-цифровой преобразователь (АЦП) ИВУ ZILA-1000 [2] и затем на микропроцессор, где обрабатывается по определенной программе. Используя последовательный интерфейс, ИВУ подключается к персональному компьютеру, в котором находится программа-редактор и терминальная программа. ИЗ состоит из нагревателя (в виде диска) и термоприемника, расположенного в центре нагревателя. Нагреватель и термоприемник крепятся в подложке (материал с низкой теплопроводностью).

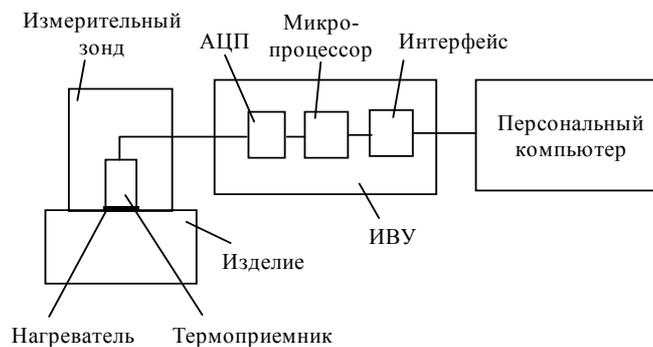


РИС. 1 ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА

В процессе проведения эксперимента снимается термограмма, т.е. зависимость избыточной температуры T (или температуры изделия T^*) от времени τ , $\tau \in [\tau_0, \tau_k]$, здесь τ_0 , τ_k – начало и конец временного интервала измерения. Интервал $\tau \in [\tau_0, \tau_k]$ включает в себя как стадию нагрева, так и стадию охлаждения.

На рис. 2 представлена термограмма, снятая на образце из политетрафторэтилена (ПТФЭ) при начальной температуре опыта $T_n = 22,9$ °С. Радиус нагревателя $R = 4$ мм. Мощность на нагревателе $W = 0,6$ Вт. Шаг измерения температуры $\Delta\tau = 0,5$ с. Материал подложки зонда – рипор, толщина подложки – 20 мм. $T^* = T_n + T$.

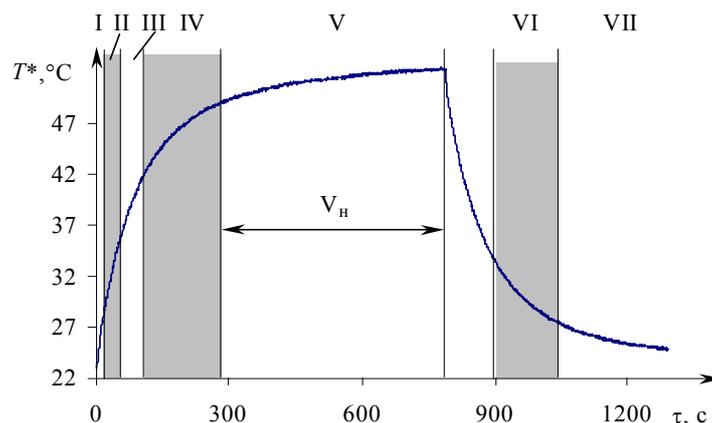


Рис. 2 Термограмма для материала ПТФЭ

Согласно методу, разработанному авторами, на термограмме можно выделить семь областей, соответствующих различным состояниям функционирования ИВС (рис. 2).

Первой (I) области термограммы соответствует одномерное температурное поле в образце. Тепловой поток, поступающий в исследуемое изделие (образец), изменяется во времени, так как нагреватель обладает инерционностью и присутствует термическое сопротивление между нагревателем и образцом.

Второй (II) области термограммы отвечает одномерное температурное поле в образце, но процесс проходит стадию регуляризации. Тепловые потоки, поступающие в образец и зонд, практически становятся постоянными.

Третьей (III) области термограммы соответствует двухмерное температурное поле в образце, поскольку нельзя пренебречь распространением тепла в радиальном направлении. Тепловой поток, поступающий в образец, снова становится переменным.

Четвертой (IV) области термограммы соответствует тепловой процесс, который проходит стадию регуляризации. Тепловой поток становится практически постоянным.

Пятой (V) области термограммы (стадия нагрева) соответствует тепловой процесс, в котором нарушаются условия неограниченности образца или зонда при нагревании. Тепловой поток опять становится переменным.

После отключения нагревателя на стадии охлаждения можно выделить шестую (VI) область термограммы, соответствующую тепловому процессу, который также проходит стадию регуляризации, и седьмую (VII) область, где тепловой поток изменяется.

В области II термограмма описывается уравнением вида [1]:

$$T(t') = \frac{2qt'}{(\varepsilon + \varepsilon')\sqrt{\pi}} - \frac{qc_n}{(\varepsilon + \varepsilon')^2}, \quad (1)$$

где τ – время; $t' = \sqrt{\tau}$; $\varepsilon, \varepsilon'$ – тепловые активности исследуемого материала и материала подложки зонда; c_n – теплоемкость единицы площади нагревателя; q – тепловой поток на нагревателе.

Уравнения, описывающие области IV и VI термограммы, имеют вид:

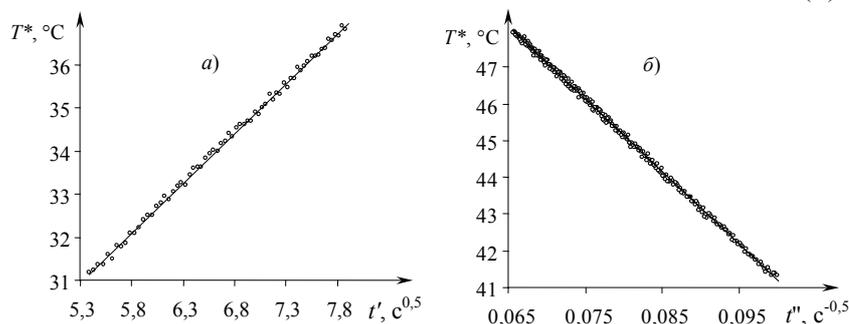
$$T(t'') = \frac{qR}{\lambda + \lambda'} \left(1 - \frac{R(\varepsilon + \varepsilon')}{\sqrt{\pi}(\lambda + \lambda')} t'' \right), \quad (2)$$

$$T(t'') = \frac{qR^2(\varepsilon + \varepsilon')}{\sqrt{\pi}(\lambda + \lambda')^2} t'', \quad (3)$$

где $t'' = \frac{1}{\sqrt{\tau}}$; λ, λ' – теплопроводности исследуемого материала и материала подложки зонда; R – эквивалентный радиус нагревателя.

Как видно из выражений (1)–(3), областям II, IV и VI будут соответствовать прямолинейные отрезки (рис. 3):

$$T(t') = d_1 t' + d_0, \quad T(t'') = b_1 t'' + b_0, \quad T(t'') = h t''. \quad (4)$$



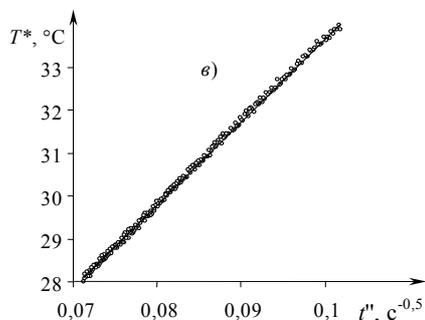


Рис. 3 Участки термограммы для ПТФЭ:
а – II-й участок термограммы
в координатах T^* , t' ;
б – IV-й участок термограммы
в координатах T^* , t'' ;
в – VI-й участок термограммы
в координатах T^* , t''

Участки термограммы II, IV, и VI условно назовем "рабочими". Часть информации, после окончания IV и VI участков термограммы, не может быть использована.

Разработаны критерии пошагового контроля и процедуры, позволяющие автоматически отключать нагреватель с целью сокращения длительности временного участка нагрева V_n в пятой (V) области и отключать регистрацию термограммы, вскоре после завершения шестой (VI) области.

Основные операции по определению ТФХ:

1 **Градуировка прибора.** Снятие термограмм на двух образцах с известными ТФХ, определение рабочих участков термограмм, расчет постоянных прибора.

2 **Снятие термограммы на исследуемом образце.** Определение рабочих участков термограммы. Расчет значений коэффициентов d_0 , d_1 , b_0 , b_1 , h зависимостей (4) и значений ТФХ – коэффициентов тепловой активности ϵ , теплопроводности λ , температуропроводности a и объемной теплоемкости c_p .

Предложенный многомодельный метод обладает высокой информативностью, достаточной чувствительностью и воспроизводимостью результатов измерений. Метод предусматривает получение за один опыт значений комплекса ТФХ с гарантируемой точностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Об одном методе термического анализа для неразрушающего контроля теплофизических свойств полимеров / Н. Ф. Майникова, Ю. Л. Муромцев, И. В. Рогов, А. А. Балашов // Пластические массы. 2001. № 2. С. 30–33.
- 2 Meßrechner ZILA-1000, ZILA Elektronik GmbH, Zella-Mehlis, Germany.

Кафедра "Гидравлика и теплотехника"

УДК 66.011.001.57:677.842.41

*Д. С. Дворецкий**

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИБКИХ ХТП

ПРИ ОПТИМАЛЬНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ (ХТП) ВСЕГДА СЛЕДУЕТ УЧИТЫВАТЬ ОГРАНИЧЕНИЯ ПО КАЧЕСТВУ ПРОДУКЦИИ, ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ХТП, ЕГО ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И Т.П. РАЗЛИЧАЮТ "ЖЕСТКИЕ" ОГРАНИЧЕНИЯ, НАРУШЕНИЕ КОТОРЫХ НЕДОПУСТИМО, И

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. С. И. Дворецкого.

"МЯГКИЕ", КОТОРЫЕ В ЦЕЛОМ ДОЛЖНЫ ВЫПОЛНЯТЬСЯ С ЗАДАННОЙ ВЕРОЯТНОСТЬЮ. ПРОБЛЕМА ВЫПОЛНЕНИЯ ОГРАНИЧЕНИЙ СИЛЬНО ОСЛОЖНЯЕТСЯ НАЛИЧИЕМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В ФИЗИЧЕСКОЙ, ХИМИЧЕСКОЙ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ: НЕТОЧНОСТЬ (НЕЗНАНИЕ) ФИЗИЧЕСКИХ, ХИМИЧЕСКИХ, КИНЕТИЧЕСКИХ И ДР. ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ, ЛЕЖАЩИХ В ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССОВ И АППАРАТОВ; ДРЕЙФ КОЭФФИЦИЕНТОВ МОДЕЛЕЙ В ХОДЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА; ИЗМЕНЕНИЕ ВНЕШНИХ ПАРАМЕТРОВ (ТЕМПЕРАТУРЫ, СКОРОСТИ И СОСТАВА ПОТОКОВ СЫРЬЯ И ДР.). В ЭТОМ СЛУЧАЕ ВОЗНИКАЕТ НЕОБХОДИМОСТЬ СОЗДАНИЯ ГИБКОСТИ ГИБКОСТЬЮ ХТП ЗДЕСЬ ПОНИМАЕТСЯ ЕГО СПОСОБНОСТЬ К СОХРАНЕНИЮ СВОЕГО ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ (ВЫПОЛНЕНИЕ ОГРАНИЧЕНИЙ НА ЭТАПЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ) НЕЗАВИСИМО ОТ СЛУЧАЙНОГО ИЗМЕНЕНИЯ ВНУТРЕННИХ И ВНЕШНИХ НЕОПРЕДЕЛЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ЗА СЧЕТ СООТВЕТСТВУЮЩЕЙ ПОДСТРОЙКИ УПРАВЛЯЮЩИХ ПЕРЕМЕННЫХ. РАЗЛИЧАЮТ ГИБКОСТЬ (УПРАВЛЯЕМОСТЬ) ХТП В СТАТИКЕ И ДИНАМИКЕ, ОБА ВИДА ГИБКОСТИ ОПРЕДЕЛЯЮТСЯ КОНСТРУКТИВНЫМИ И РЕЖИМНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ХТП, А ТАКЖЕ ОБЕСПЕЧИВАЮТСЯ СООТВЕТСТВУЮЩИМ ВЫБОРОМ КЛАССА, СТРУКТУРЫ И НАСТРОЕЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ, РЕАЛИЗУЮЩЕЙ СООТВЕТСТВУЮЩИЕ РЕЖИМЫ ХТП.

ДЛЯ ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИБКИХ ХТП НЕОБХОДИМО ЗАДАТЬ ФОРМУ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ И ОГРАНИЧЕНИЙ ЗАДАЧИ, КОТОРАЯ ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ ХАРАКТЕРОМ ИНФОРМАЦИИ, СОДЕРЖАЩЕЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ, И ПРОЯВЛЕНИЕМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ НА ЭТАПЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ХТП. КОНЦЕПЦИЯ ДВУХ ЭТАПОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ХТП ПРЕДПОЛАГАЕТ, ЧТО НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ХТП НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ ПРИСУТСТВУЕТ ПРАКТИЧЕСКИ ВСЕГДА, А НА ЭТАПЕ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ МОГУТ ИМЕТЬ МЕСТО РАЗЛИЧНЫЕ СИТУАЦИИ.

Задача 1. Пусть на этапе эксплуатации ХТП область неопределенных параметров Ξ та же, что и на этапе проектирования. В этом случае можно сформулировать одноэтапную задачу стохастического программирования $I_1^* = \min_{d,z} M_{\xi} \{I(d, z, \xi)\}$ при выполнении условий гибкости ХТП

$$\max_{j \in J} \max_{\xi \in \Xi} \varphi_j(d, z, \xi) \leq 0 \quad \text{или} \quad \rho_{\text{зад}} - \text{Вер}_{\xi} \left[\max_{j \in J} \varphi_j(d, z, \xi) \leq 0 \right] \leq 0,$$

где d, z – векторы конструктивных параметров аппаратного оформления ХТП и управляющих воздействий (режимных переменных), соответственно; ξ – вектор неопределенных параметров, $\xi \in \Xi$; $\text{Вер}_{\xi}[\bullet]$ – вероятность выполнения условия $[\bullet]$; $M_{\xi}\{\bullet\}$ – математическое ожидание величины $\{\bullet\}$; $\rho_{\text{зад}}$ – заданное значение вероятности.

Задача 2. Пусть на этапе эксплуатации ХТП неопределенные параметры ξ могут быть идентифицированы с требуемой точностью в каждый момент времени. Для этого случая можно сформулировать более тонкую двухэтапную задачу стохастического программирования $I_2^* = \min_d M_{\xi} \{I^{\otimes}(d, \xi)\}$ при выполнении условий гибкости ХТП

$$\chi^{(2)}(d) = \max_{\xi \in \Xi} \min_z \max_{j \in J} \varphi_j(d, z, \xi) \leq 0,$$

где $I^{\otimes}(d, \xi) = \min_z I(d, z, \xi) \mid \varphi_j(d, z, \xi) \leq 0, j \in J$;

$$\text{или} \quad I^{\otimes}(d, \xi) = \begin{cases} \int_{\Xi^{\otimes}} (\min_z I(d, z, \xi) \mid \varphi_j(d, z, \xi) \leq 0, j \in J) P(\xi) d\xi, & \text{если } \xi \in \Xi^{\otimes}; \\ \int_{\Xi \setminus \Xi^{\otimes}} \left(\min_z \left[I(d, z, \xi) + A \max_{j \in J} (\varphi_j(d, z, \xi), 0) \right] \right) P(\xi) d\xi, & \text{если } \xi \notin \Xi^{\otimes}, \end{cases}$$

$$\rho_{\text{зад}} - \text{Вер}_{\xi} [\xi \in \Xi^{\otimes}] \leq 0,$$

$$\Xi^{\otimes} = \Xi^{\otimes}(d) = \left\{ \xi : \min_z \max_{j \in J} \varphi_j(d, z, \xi) \leq 0, \xi \in \Xi \right\},$$

где A – штрафной коэффициент; J^{\otimes} – множество индексов ограничений, за нарушение которых берется штраф; $P(\xi)$ – плотность распределения вероятности ξ .

Отметим, что если существует такое d , что $\chi^2(d) \leq 0$, то при $\rho_{\text{зад}} = 1$ задача с мягкими ограничениями переходит в задачу с жесткими ограничениями.

Задача 3. Вектор неопределенных параметров ξ состоит из двух подвекторов ξ^1 и ξ^2 , т.е. $\xi = (\xi^1, \xi^2)$. В подвектор ξ^1 входят параметры, которые могут быть идентифицированы на этапе эксплуатации ХТП, а в подвектор ξ^2 – параметры, имеющие неопределенности на этапе эксплуатации те же, что и на этапе проектирования. Пусть при этом $\xi^1 \in \Xi^1$ и $\xi^2 \in \Xi^2$. Для этого случая двухэтапная задача стохастического программирования имеет вид.

$$I_3^* = \min_{d \in D} M_{\xi^1} \left\{ I^{\otimes}(d, \xi^1) \right\},$$

при выполнении условий гибкости ХТП

$$\chi^{(3)}(d) = \max_{\xi^1 \in \Xi^1} \min_z \max_{\xi^2 \in \Xi^2} \max_{j \in J} \varphi_j(d, z, \xi^1, \xi^2) \leq 0,$$

где

$$I^{\otimes}(d, \xi^1) = \min_z M_{\xi^2} \left\{ I(d, z, \xi^1, \xi^2) \mid \max_{\xi^2 \in \Xi^2} \varphi_j(d, z, \xi^1, \xi^2) \leq 0, j \in J; \right.$$

или

$$I^{\otimes} = \min_z M_{\xi^2} \left\{ I(d, z, \xi^1, \xi^2) \mid \text{Вер}_{\xi^2} [\varphi_j(d, z, \xi^1, \xi^2) \leq 0] \geq \rho_{\text{зад}}, j \in J. \right.$$

ТАКИМ ОБРАЗОМ, ОПТИМИЗАЦИОННАЯ ЗАДАЧА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ХТП МОЖЕТ БЫТЬ СФОРМУЛИРОВАНА С УЧЕТОМ РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЕЙ ИНФОРМАЦИИ О ХТП, ДОСТУПНОЙ НА ЭТАПЕ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ. КАЖДОЕ РЕШЕНИЕ ДАЕТ ОПТИМАЛЬНЫЙ ВАРИАНТ ХТП ДЛЯ ДАННОГО УРОВНЯ ИНФОРМАЦИИ. СЛЕДОВАТЕЛЬНО, ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ НУЖНО УЧИТЫВАТЬ, ЧТО САМО ПОЛУЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ СВЯЗАНО С ОПРЕДЕЛЕННЫМИ ЗАТРАТАМИ. РАЗРАБОТКА БОЛЕЕ ТОЧНЫХ МОДЕЛЕЙ, УСТАНОВКА НОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ И СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ НЕОПРЕДЕЛЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОВЫШАЮТ УРОВЕНЬ ДОСТУПНОЙ ИНФОРМАЦИИ О ХТП, НО ТРЕБУЮТ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЗАТРАТ. ПРИ ЭТОМ ВОЗНИКАЕТ ВАЖНАЯ ПРОБЛЕМА ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО (ИЛИ РАЗУМНОГО) УРОВНЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ В КАЧЕСТВЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ХТП.

Метод и алгоритм решения задачи 1 изложены в [1, 2]. В настоящей статье рассмотрим основные подходы к решению двухэтапных задач 2, 3 стохастического программирования. Запишем выражение для функции гибкости ХТП применительно к задачам 2, 3 с жесткими ограничениями:

$$\chi^{(i)}(d) = \max_{u^{(i)} \in U^{(i)}} h^{(i)}(d, u^{(i)}), \quad i = 2, 3,$$

$$u^{(i)} = \begin{cases} \xi, & i = 2 \\ \xi^1, & i = 3 \end{cases}, \quad u^{(i)} = \begin{cases} \Xi, & i = 2 \\ \Xi^1, & i = 3 \end{cases},$$

$$h^{(2)}(d, u^{(2)}) = \min_z \max_{j \in J} \varphi_j(d, z, \xi),$$

$$h^{(3)}(d, u^{(3)}) = \min_z \max_{\xi^2 \in \Xi^2} \max_{j \in J} \varphi_j(d, z, \xi^1, \xi^2).$$

В задачах 2, 3 вычисление функции гибкости сводится к максимизации функции $h^{(i)}(d, u^{(i)})$ в области U^i ($i = 2, 3$). Для максимизации $h^{(i)}(d, u^{(i)})$ используем метод ветвей и границ и алгоритмы вычисления верхней и нижней оценки функций $\chi^{(i)}(d)$. Получим эти алгоритмы.

Изменим порядок выполнения первых двух операций при вычислении $\chi^{(i)}(d)$, и обозначим полученные выражения через $\chi_U^{(i)}(d)$, в результате

$$\chi_U^{(2)}(d) = \min_z \max_{j \in J} \max_{\xi \in \Xi} \varphi_j(d, z, \xi),$$

$$\chi_U^{(3)}(d) = \min_z \max_{\xi^1 \in \Xi^1} \max_{\xi^2 \in \Xi^2} \max_{j \in J} \varphi_j(d, z, \xi^1, \xi^2),$$

Используя эквивалентное соотношение вида

$$\min_x \max_y f(x, y) \geq \max_y \min_x f(x, y),$$

легко доказать выполнение неравенства

$$\chi_U^{(i)}(d) \geq \chi^{(i)}(d), \quad i = 2, 3. \quad (1)$$

Следовательно, $\chi_U^{(i)}(d)$ есть верхняя граница для $\chi^{(i)}(d)$, $i = 2, 3$.

Для задачи 3 справедливы равенства

$$\max_{\xi^1 \in \Xi^1} \max_{\xi^2 \in \Xi^2} \max_{j \in J} \varphi_j(d, z, \xi) = \max_{\xi \in \Xi} \max_{j \in J} \varphi_j(d, z, \xi) = \max_{j \in J} \max_{\xi \in \Xi} \varphi_j(d, z, \xi).$$

Таким образом,

$$\chi_U^{(2)}(d) = \chi_U^{(3)}(d) = \chi_U = \min_z \max_{j \in J} \max_{\xi \in \Xi} \varphi_j(d, z, \xi).$$

Метод вычисления χ детально рассмотрен в [2].

Рассмотрим алгоритм определения нижней оценки. В качестве последней можно взять значение $h^{(i)}(d, u^{(i)})$ в произвольной точке области U^i . Способ выбора точки обсуждается в [3].

Рассмотрим вспомогательную задачу $I_i^U = \min_d M_{u^i} \{I^*(d, u^i)\}$ при условии $\chi_U^{(i)}(d) \leq 0$. Из (1) следует, что $I_i^* \leq I_i^U$, следовательно, решение вспомогательной задачи дает верхнюю оценку оптимального значения критерия.

Проанализируем задачу

$$I_i^L = \min_d M_{u^i} \{I^*(d, u^i)\}$$

при условиях

$$h^{(i)}(d, u^{(i,l)}) \leq 0, \quad u^{(i,l)} \in U^i, \quad i \in K,$$

где $u^{(i,l)}$ – некоторые точки в U^i ; K – множество индексов точек.

Поскольку $\max_{u^i \in U^i} h^{(i)}(d, u^{(i)}) \geq h(d, u^{(i,l)})$, $u^{(i,l)} \in U^i$, то имеет место $I_i^L \leq I_i^*$, и решение последней задачи дает нижнюю оценку для критерия оптимизации для задач 2, 3:

- для задачи 2 имеем

$$I_2^L = \min_{d, z} M_{\xi} \{I^*(d, \xi)\} \quad (2)$$

при условиях $\varphi_j(d, z^l, \xi^l) \leq 0, j = 1, \dots, m; l \in K$.

- для задачи 3 имеем

$$I_3^L = \min_{d, z^l} M_{\xi^1} \{I^*(d, \xi^1)\}$$

при условиях $\max_{\xi^2 \in \Xi^2} \varphi_j(d, z^l, \xi^1, \xi^2) \leq 0, j = 1, \dots, m; l \in K$.

Рассмотрим некоторую подобласть $\Xi_{U,S} \in \Xi$. Для задачи 2 размерность Ξ_S совпадает с размерностью Ξ , в задаче 3 размерность Ξ_S равна размерности Ξ^1 .

Аналогично функции $\chi_U^{(i)}(d)$, введенной выше для всей области Ξ , можно ввести функцию $\chi_{US}^{(i)}(d)$ для подобласти Ξ_S . Пусть Ξ или Ξ^1 разбиты на подобласти

$$\Xi_1 \cup \Xi_2 \cup \dots \cup \Xi_N = \begin{cases} \Xi, & i = 2, \\ \Xi, & i = 3. \end{cases}$$

Рассмотрим задачу

$$I_i^{U,N} = \min_d M_{u^i} \{f^*(d, u^i)\} \quad (3)$$

при условии

$$\chi_{U,1}^{(i)}(d) \leq 0, \dots, \chi_{U,N}^{(i)} \leq 0. \quad (4)$$

В работах [2, 3] показано, что для случая $i = 2$, выполняются неравенства $I_2^* \leq I_2^{U,N} \leq I_2^U$.

Это означает, что деление Ξ на подобласти улучшает верхнюю оценку. То же самое имеет место и в задаче 3. В [2, 3] разработан метод решения оптимизационной задачи для $i = 2$, который использует данное свойство. На каждой итерации верхнюю и нижнюю оценку ($I_2^{U,N} \leq I_2^L$) оптимального значения I_2^* рассчитывают в результате решения задач (2) и (3). Стратегия деления подобластей оказывает сильное влияние на эффективность вычислительной процедуры. Самый простой способ – делить все подобласти, но при этом размерность задач (2), (3) может стать недопустимо большой.

Можно рекомендовать следующее правило: на данной итерации делению подвергаются только те подобласти T_S , для которых ограничения (4) активны.

РАССМОТРЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОЛОЖЕНЫ В ОСНОВУ АЛГОРИТМОВ, КОТОРЫЕ УСПЕШНО ИСПОЛЬЗОВАЛИСЬ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ "ГИБКИХ" НЕЛИНЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ ТОНКОГО ОРГАНИЧЕСКОГО СИНТЕЗА (ДИАЗОТИРОВАНИЯ, АЗОСОЧЕТАНИЯ, НИТРОВАНИЯ, ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ КОНДЕНСАЦИИ), "ГИБКИХ" АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК (НА БАЗЕ МАЛОГАБАРИТНЫХ ТУРБУЛЕНТНЫХ ТРУБЧАТЫХ РЕАКТОРОВ) СИНТЕЗА АЗОПИГМЕНТОВ И ХИМИКАТОВ-ДОБАВОК ДЛЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бодров В. И., Дворецкий С. И., Дворецкий Д. С. Оптимальное проектирование энерго- и ресурсосберегающих процессов и аппаратов химической технологии // ТОХТ. 1997. Т. 31. № 5. С. 542–548.
- 2 Островский Г. М., Волин Ю. М., Барит Е. И., Сенявин М. М. Оптимизация химико-технологических процессов в условиях неопределенности // ТОХТ. 1993. Т. 27. № 2. С. 183–191.
- 3 Островский Г. М., Волин Ю. М., Сенявин М. М., Бережинский Т. А. О гибкости химико-технологических процессов // ТОХТ. 1994. Т. 28. № 1. С. 54–61.

М. Е. Глинкин, Е. И. Глинкин

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
КОМПЬЮТЕРНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА (АС) КОМПЬЮТЕРНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА РАЗВИВАЮТСЯ ОТ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ (ПП) К ИНТЕГРАЛЬНЫМ СХЕМАМ МАЛОЙ (ИС) И СРЕДНЕЙ (СИС) СТЕПЕНИ ИНТЕГРАЦИИ ЗА СЧЕТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ОТ ОБМЕНА ЭНЕРГИЕЙ К ПРЕОБРАЗОВАНИЮ СИГНАЛА ДО УПРАВЛЕНИЯ СТРУКТУРНОЙ (СМ. РИС.). СТАНОВЛЕНИЕ СХЕМОТЕХНИКИ АС СООТВЕТСТВУЕТ ИНТЕГРАЦИИ ПРИНЦИПАЛЬНЫХ СХЕМ ПП В ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИС И СТРУКТУРНЫЕ НА УРОВНЕ СИС ПРИ ИХ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ НА КАЖДОМ ИНТЕГРАЛЬНОМ БАЗИСЕ ПО ЭВОЛЮЦИИ СООТВЕТСТВУЮЩЕГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОЦЕССА [1].

Полупроводниковые приборы делят по функции обмена: проводимость-выпрямление-усиление на варисторы, вентили и усилители для организации полупроводникового (ПЭП), вентильного (ВЭП) и тиристорного (ТЭП) электропривода. В основу ПЭП положена способность варисторов изменять проводимость при обмене энергией от источников тепла и света, объема и давления. Термо-, фото- и тензоэффект реализуют в параметрических генераторах, преобразователях и индикаторах энергии для измерения и контроля температуры, освещенности и давления. ВЭП используют одностороннюю проводимость тока при изменении полярности напряжения, на базе вентильного эффекта $p-n$ перехода диодов реализуют выпрямители и стабилизаторы, фильтры и компенсаторы энергии. Повышают КПД обмена энергии ВЭП при замене однотактного (по одной полуволне) на двухтактное (по положительной и отрицательной полярности) включение вентилях. Тиристорный электропривод улучшает эффективность выпрямления, инверсии и преобразования за счет усиления сигнала, что повышает точность и оперативность, расширяет диапазон и линейность. Полупроводниковый привод осуществляет обмен энергией по жесткой структуре на комбинаторных схемах с релейным алгоритмом переключения, что соответствует конструированию неуправляемых электрических автоматов (холодильники, конвейеры, вентиляторы).

В базисе интегральных схем (ИС) повышается гибкость обмена энергией за счет преобразования сигнала, дифференцирующего электропривод на аналоговый (АП), импульсный (ИП) и цифровой (ЦП). АП основан на преобразовании амплитуды напряжения или тока, активных или реактивных сопротивлений или мощности. Временные преобразования разделяют ИП на широтный и частотный, фазо- и числоимпульсный, которые в отличие от АП более эффективны метрологически и технологически за счет высокой помехозащищенности импульсов от дрейфа амплитуды и низкой энергоемкости импульсного обмена энергией. ЦП повышают точность и надежность энергообмена за счет представления сигнала в цифровом эквиваленте параллельного, последовательного или смешанного кода в пространственно-временном функциональном континууме. За счет преобразования импульсов жесткая структура электромеханических автоматов становится более гибкой и экономичной, что снижает вес и габариты оборудования, повышает технологичность процессов и производительность энергоресурсов.

Аппаратно управляемый электропривод на уровне средних ИС (СИС) по функции управления структурой в пространственно-временном континууме целесообразно дифференцировать на пространственные, временные и функциональные преобразователи энергии. Пространственные преобразователи адресуют электромагнитные (генераторы, преобразователи, нагрузку) в параллельное, последовательное и смешанное соединение по схеме звезда, треугольник и звезда-треугольник. Функциональные преобразователи аппаратно управляют кодированием выпрямителей для преобразования энергии трехфазной цепи переменного тока в энергию постоянного тока. Временные преобразователи синхронизируют по жесткому алгоритму в фазо-, широтно-, частотоимпульсной форме обратное (инверсное) представление энергии из постоянного в переменный ток. Инверторы коммутируют постоянную амплитуду в трехфазный ступенчатый сигнал посредством жесткой синхронизации после-

довательностью импульсов трехфазной сети переменного тока. В базе СИС управляемые преобразователи энергии систематизируются по координатам управления на модули: нагрузка, инверторы, выпрямители, что повышает технологичность конструирования схем аппаратных средств электропривода.

Развитие АС в архитектуру формируется в базе больших ИС (БИС) при появлении программного обеспечения (ПО) за счет интеграции управляемого преобразования энергией с функцией хранения информации, организующей программирование алгоритма (см. рис.). Программно управляемые преобразователи энергии (БИС) систематизируются по процессам хранение-передача-обработка на интерфейсы памяти (ИП), ввода-вывода (ИВВ) и микропроцессоры (М). Архитектура электропривода в базе БИС конструируется по шинной (параллельной), кольцевой (последовательной) и магистральной (смешанной) структуре схемотехники с организацией хранения, передачи и обработки информации параллельно, последовательно и параллельно-последовательно (смешанно) во времени по соответствующим правилам кодирования мнемотехники. На уровне БИС организуются программно управляемые нагрузки, инверторы и выпрямители за счет интеграции в архитектуру интерфейсов и микропроцессора. Программно управляемый электропривод конструируют на диодно-логических матрицах ИВВ, запоминающих устройствах ИП и программируемых логических матрицах М для реализации архитектуры с жесткой программой (электромеханическая система канатной дороги), программным (гранулятор) и микропрограммным (электрокар) управлением.

Математическое обеспечение (МО) развивается за счет интеграции с программно управляемым обменом энергии процесса обработки информации по операторам исчисления и счисления, функции вычисления (см. рис. 1). Вычислительный электропривод рационально систематизировать на статистический, динамический и кинетический по разделам физики, описываемых линейными, квазилинейными и нелинейными математическими операторами вычисления, реализуемыми аппаратно соответственно на миниЭВМ, микрокалькуляторах (МК) и микроЭВМ. Примерами вычислительного привода служат центрифуги с постоянным моментом, очистные комбайны с постоянной мощностью и станки с числовым программным управлением. Анализ развития вычислительного электропривода показывает совершенствование универсальной архитектуры из АС и ПО за счет увеличения информативности МО, интегрирующегося с метрологическими средствами (МС) в информационное обеспечение (ИО) эффективности МС осуществляется в базе микропроцессорных измерительных средств (МИС) при интеграции вычислительных процессов обмена энергией с функцией измерения за счет развития последней от контроля качества через оценку количества к регулированию по критериям оптимизации. При этом МИС логично дифференцировать по вектору метрологической эффективности на микроконтроллерный (МЭП), автоматический (АЭП) и компьютерный (КЭП) электропривод. МЭП управляет контролем качества без количественной оценки параметров, при этом механизмами управляют двигатели по П-закону регулирования, контролируя допуск по нормируемым эквивалентам. АЭП управляет скоростью ω двигателя при количественной оценке по амплитудно-частотным законам сохранения перегрузочной способности. Без контроля качества в АЭП организована оценка количества амплитуды, импульсов, цифрового эквивалента для управления механическими характеристиками двигателя при регулировании электрическими величинами.

Компьютерный электропривод оптимизирует электромеханические характеристики и режимы при количественной оценке качественных характеристик – параметров за счет интеграции функций МЭП и АЭП по различным критериям. КЭП включает наряду с универсальной архитектурой и информативным МО эффективные метрологические средства на уровне нормируемых мер и эквивалентов, оценок и критериев, оптимизирующих эффективность по методам коррекции, калибровки и идентификации. Интеграция компонент в коммуникабельное информационное обеспечение формирует КЭП с адаптивным диапазоном и априорной точностью, управляемых по нормируемым мерам цифровых эквивалентов.

ТАКИМ ОБРАЗОМ, КОМПЬЮТЕРНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД – ИСТОРИЧЕСКИЙ ПРОДУКТ ЭВОЛЮЦИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ПРИВОДА В ПРОЦЕССЕ ИНФОРМАТИЗАЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА, ОБУСЛОВЛЕННЫЙ НТР – ИНТЕГРАЛА МЕХАНИЗАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ. КЭП ОТЛИЧАЕТ ОТ ДРУГИХ ПРИВОДОВ КОММУНИКАБЕЛЬНОЕ ИО, ОРГАНИЗОВАННОЕ ИЗ ЭФФЕКТИВНЫХ МС И ИНФОРМАТИВНОГО МО, ГИБКОГО ПО И УПОРЯДОЧЕННЫХ В АССОЦИАТИВНУЮ МАТРИЦУ АС. РАЗВИТИЕ КОММУНИКАБЕЛЬНО-

ГО ИО КЭП ОПРЕДЕЛЕНО ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОЙ ИНТЕГРАЦИЕЙ ФУНКЦИИ ОБМЕНА ЭНЕРГИИ С ИНФОРМАЦИОННЫМИ ПРОЦЕССАМИ ОТ УРОВНЯ ПП ДО БАЗИСОВ МИКРОСХЕМ РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНИ ИЕРАРХИИ, ИНИЦИИРУЮЩИХ МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ.

Информационный анализ показывает, что компьютерный электропривод – это интеллектуальная электромеханическая система, предназначенная для механизации и автоматизации, электрификации и информатизации современных технологий для совершенствования производительности труда и повышения благосостояния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Глинкин Е. И., Глинкин М. Е. Схемотехника МИС: Компьютерный электропривод. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2002, 76 с.

Кафедра "Электрооборудование и автоматизация"

УДК 681.335

С. И. Чичев, Е. И. Глинкин

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОДСТАНЦИЯМИ НА ПРЕДПРИЯТИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Автоматизированное (т.е. с участием оператора-диспетчера) управление технологическим процессом подстанций на предприятиях электрических сетей (ПЭС), обеспечивая процессы в системе "регулятор-объект управления", имело свой путь развития: местная автоматика (МА) – телемеханика (ТМ) – автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП). Специфика и сложность технологических процессов энергетики обусловили появление разнообразных устройств автоматики, телемеханики и АСУ, отличающихся функциональным назначением, а также способом преобразования, приема, передачи и сохранения информации.

Однако, сложность эксплуатации и состыковки различных в принципах работы устройств автоматики, телемеханики и АСУ неизбежно приводит к снижению эффективности управления технологическим процессом распределения и потребления электроэнергии. А если учесть, что стоимость средств передачи данных и каналов связи, необходимых для управления подстанциями, составляет 50 ... 70 % стоимости средств автоматизации, то становится очевидным, что для предприятия электрических сетей, на современном этапе, проблема выбора пути дальнейшего развития средств автоматизации является более чем актуальной.

Для филиала Тамбовэнерго "Моршанские электрические сети" (МОЭС), на современном этапе актуальна проблема разработки и внедрения на производстве автоматизированной системы диспетчерского управления технологическим процессом (АСДУ ТП) территориально-распределенных подстанций напряжением 110/35/10 кВ, 110/35/6 кВ, 35/10 кВ.

Организованные ВЧ каналами по ЛЭП – 35 кВ, технические средства автоматизации в МОЭС представлены семью каналами ТМ – (устройства ТМ-800) и четырьмя каналами ТС – (телесигнализации – УТС-8).

Очевидно, на предприятии МОЭС, имеющем в своем составе 36 подстанций различного класса напряжения уровень телемеханизации составляет всего 19,4 %. Кроме этого, на центральной базе предприятия локальной сетью персональных компьютеров (ПК) представлена АСУ ОП, частично выполняющая функции организации производства: планового отдела (ПО), производственно-технического отдела (ПТО) и бухгалтерии.

Технологический процесс передачи-приема и потребления электроэнергии на предприятии электрических сетей является столь сложным, динамичным и подверженным случайным возмущающим воздействиям, что без автоматизированного управления его функционирование просто невозможно.

Автоматизация оперативно-диспетчерского управления технологическим процессом подстанций является одной из важных задач совершенствования управления производством в ПЭС. Это тем более важно, что структурно и функционально задачи оперативно-диспетчерского управления в наибольшей степени подготовлены к постановке на ЭВМ. В то же время, создание АСДУ ТП подстанций в ПЭС имеет много специфических черт. Это связано с такими особенностями электроэнергетики, как: совпадение во времени производства и потребления энергии и невозможность ее складирования, взаимосвязь режимов большого количества работающих подстанций, размещенных на большой территории и связанных линиями электропередачи и др.

Комплексный подход к проблеме автоматизации на предприятиях электрических сетей позволяет решать как общие задачи управления по различным подсистемам: производственно-технической деятельности, энергоремонта, сбыта и др., так и конкретные в комплексе АСУ ТП подстанций, связанные с решением задач трех уровней.

Верхний уровень представлен оборудованием локальной сети и персональными компьютерами (ПК), обладающими ресурсами достаточными для полного отображения информации о режиме и для управления объектами.

Средний уровень представлен "Сервером" для централизованной обработки информации, ее хранения в архивах и выдачи по требованию соответствующих задач, запускаемых на рабочих станциях. Нижний уровень *обеспечивает соединение технологического оборудования с верхними уровнями системы, а также проведения первичной обработки, фильтрации данных и обработки управляющих воздействий с верхнего уровня.*

В ПОСЛЕДНЕЕ ВРЕМЯ, В СВЯЗИ С КАЧЕСТВЕННЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ СОСТАВА ТЕХНИЧЕСКИХ И ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ, ПОЯВИЛАСЬ РЕАЛЬНАЯ ВОЗМОЖНОСТЬ СОЗДАНИЯ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ВСЕГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЦИКЛА, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩЕЙ РЕШЕНИЕ ВСЕХ ЗАДАЧ СБОРА, ОБРАБОТКИ, ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ, А ТАКЖЕ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ. ТАКАЯ СИСТЕМА ПРИ ОДНОВРЕМЕННОЙ РАБОТЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ РАЗЛИЧНОГО РАНГА МОГЛА БЫ ПРЕДОСТАВЛЯТЬ НЕОБХОДИМУЮ ДЛЯ НИХ ИНФОРМАЦИЮ, ПРИ ЭТОМ, НЕ НАРУШАЯ РАБОТЫ МОДУЛЕЙ, КОНТРОЛИРУЮЩИХ РАБОТУ ОБЪЕКТА.

Система должна обладать дружественным для каждого пользователя интерфейсом и отображать данные в удобном для восприятия виде, что становится возможным при использовании современных мощных средств графического представления информации.

В основу общей идеологической концепции построения АСУ ТП положены следующие принципы, отработанные на различных энергетических объектах РАО "ЕЭС России" в условиях многолетней эксплуатации:

- вся информация, поступающая от объекта, должна быть синхронизирована с точностью до 1 мс по отношению к абсолютному времени;
- на уровне сервера должны производиться централизованная обработка и архивирование информации. Рабочие станции получают необходимые данные в отформатированном виде из динамической или статической части архива сервера;
- пользователь должен иметь доступ к оперативной информации, позволяющей качественно и количественно оценить состояние объекта или подсистемы;
- при любом состоянии экрана (вызове любого видеокadra) дежурный должен получать оперативную информацию об изменении состояния любой из подсистем объекта в объеме, позволяющем оценить тяжесть и место аварии; вывод качественной информации при аварии или смене режима должен производиться по требованию дежурного подачей однократного сигнала (нажатия клавиши) из любой видеоформы;
- информация дежурному персоналу должна предоставляться с использованием всех современных средств отображения (изменение цветовой гаммы, вывод информации в графической, табличной и обобщенной форме, использование объемных изображений, использование аудиосредств и т.д.);
- система должна обеспечивать возможность модификации видеоформ пользователем простыми средствами самостоятельно без изменения и переработки программного обеспечения;

- в системе должно быть полностью исключено "навязывание" количественной информации дежурному, т.е. исключается автоматически всплывающее меню, автоматическая система видеок кадров по событиям и т.д.;

- несанкционированный доступ к рабочей станции и системе отображения должен быть запрещен системой паролей.

В настоящее время, в связи с бурным внедрением в технику автоматизированного управления микропроцессоров и цифровых ЭВМ разработаны программные технические комплексы такие как: КОМПАС ("Юг-Система" г. Краснодар), ВЕНЕЦ (НИИПТ г. Санкт-Петербург), SMART (ЗАО РТС офт и ЦДУ ЕЭС России г. Москва) и др., которые позволяют создавать системы управления и контроля всего технологического цикла: сбора, обработки, передачи информации, а также управления подстанциями в режиме реального времени.

В составе АСДУ ТП подстанций, на базе программных технических комплексов (ПТК), предусматриваются следующие функции оперативно-диспетчерского управления:

- сбор и первичная обработка дискретной и аналоговой информации;
- формирование, обновление, корректировка базы данных;
- регистрация аварийных событий и переходных процессов;
- фиксация факта и времени выдачи управляющих команд;
- учет электроэнергии, отпущенной потребителям;
- отображение и документирование информации для оперативного персонала;
- контроль текущих значений параметров режима;
- контроль качества напряжения;
- контроль работы трансформаторов и др. оборудования;
- контроль состояния сети оперативного тока;
- реализация команд телеуправления и др.

Как правило, программные технические комплексы ориентированы на поддержку большинства протоколов отечественных устройств телемеханики, такие как УТМ-7, ТМ-512, ТМ-800, комплекса ГРАНИТ и др., которыми оснащены многие предприятия электрических сетей.

Таким образом, развитие средств автоматизации на предприятиях электрических сетей (в частности, МОЭС), с точки зрения технической и экономической, должно идти именно по пути внедрения в производство программных технических комплексов.

Кафедра "Электрооборудование и автоматизация"

УДК 621.382.2

К. А. Шultzгин, К. Н. Филиппов, О. А. Ныркова

АРХИТЕКТУРА МИКРОПРОЦЕССОРНОГО АНАЛИЗАТОРА ВЛАЖНОСТИ "ТЕМП-283"*

Основой аналитического контроля влажности древесины являются физико-химические методы измерения на базе микропроцессорных анализаторов с адаптивным диапазоном экспресс-анализа с точностью нормированных мер.

Известны классические способы экспресс-анализа влажности капиллярно-пористых материалов [1, 2], заключающиеся в осуществлении контакта с образцом при помощи электродов, расположенных вдоль линии, на фиксированном расстоянии друг от друга, в которых влажность определяют по текущему электрическому сопротивлению пробы материала, используя статистическую модель.

Основными недостатками классических способов являются: низкая точность измерения из-за отсутствия информативных параметров и использование только статистических моделей, что привело к созданию аналитической методики определения влажности по информативным электрическим характеристикам [3–5]. На базе этой методики был создан микропроцессорный анализатор влажности "ТЕМП-283".

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. Е. И. Глинкина.

Связь влаги с электрофизическими характеристиками осуществлена по аналогии с эмпирической зависимостью весового метода [1, 5] моделью делителя токов, где проведена оценка математического обеспечения определения влажности статистической моделью калибровки по линейному закону [5].

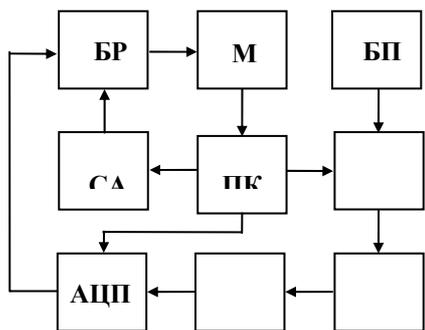


Рис. 1 Структурная схема микропроцессорного анализатора "ТЕМП-284"

Для автоматизации экспресс-контроля влажности создан микропроцессорный анализатор "ТЕМП-283", структурная схема (рис. 1) которого включает персональный компьютер (ПК), цифроаналоговый преобразователь (ЦАП), блок питания ЦАП (БП), преобразователь напряжения (ПН), измерительную ячейку (ИЯ), аналого-цифровой преобразователь (АЦП), селектор адреса (СА), блок регистров (БР) и мультиплексор (М).

Блок-схема (рис. 2) программного обеспечения микропроцессорного анализатора влажности "ТЕМП-283" автоматизирует процессы управления, контроля и анализа влажности исследуемой пробы материала.

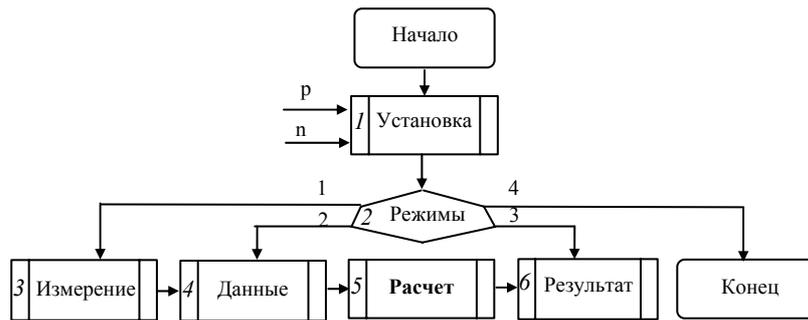


Рис. 2 Блок-схема программного обеспечения микропроцессорного анализатора "ТЕМП-283"

программе блок 1 инициализирует начальные значения для расчетов, блок 2 выбирает режим работы программы, блок 3 подготавливает водит новый эксперимент, блок 4 сохраняет и открывает данные, обрабатывает данные экспере- по инженерной методике экс- анализа влажности капиллярно- пористых материалов по токам, блок 6 визуализирует результаты на дисплей компьютера.

В лизирует четов, про- и про- 4 блок 5 римента пресс- кратным

ПРИ ЗАПУСКЕ ПРОГРАММЫ (МЕТОД.EXE) ПРОИСХОДИТ УСТАНОВКА НАЧАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ И ЗАПУСКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ. ДАЛЕЕ ВЫСВЕЧИВАЕТСЯ ГЛАВНОЕ ОКНО, В ЛЕВОМ ВЕРХНЕМ УГЛУ КОТОРОГО ПОЯВЛЯЮТСЯ КНОПКИ ВЫБОРА РЕЖИМА РАБОТЫ. КНОПКИ ЗАПУСКАЮТ СООТВЕТСТВУЮЩИЕ ПОДПРОГРАММЫ НОВОГО ЭКСПЕРИМЕНТА, ОТКРЫТИЯ ФАЙЛА ДАННЫХ И СОХРАНЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА.

ПРИ ВЫБОРЕ РЕЖИМА РАБОТЫ "ЭКСПЕРИМЕНТ" НА ЭКРАН ВЫВОДИТСЯ ОКНО, В КОТОРОЕ НЕОБХОДИМО ВВЕСТИ МАССУ ИССЛЕДУЕМОГО ОБРАЗЦА ДРЕВЕСИНЫ, БЕЗ УЧЕТА МАССЫ ЭЛЕКТРОДОВ. НАЖАТИЕ ЗАПУСКАЕТ ПРОЦЕСС

ПОСЛЕ ИЛИ ЗАГРУЗКИ ФАЙЛА,

ВЫЧИСЛЕНИЕ ПО ВЛАЖНОСТИ ТОКАМ. НА ПОЛУЧЕННЫЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ (ВАХ) В ГРАФИЧЕСКОМ И АНАЛИТИЧЕСКОМ (ТАБЛИЦЫ) ВИДАХ (РИС. 3).

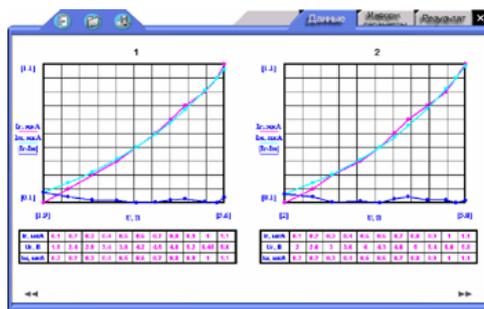


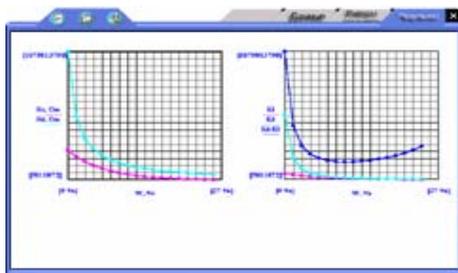
Рис. 3 Рассчитанные данные

ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ДАННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТА ИЗ ПОДПРОГРАММА РАСЧЕТА АВТОМАТИЧЕСКИ ПРОИЗВОДИТ МЕТОДИКЕ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА ДРЕВЕСИНЫ ПО КРАТНЫМ ЭКРАН ВЫВОДЯТСЯ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

В окне отображаются две экспериментальные ВАХ. Для просмотра остальных графиков необходимо нажать на клавиатуре стрелки вправо или влево, в зависимости от необходимого направления перемещения, или стрелочки прокрутки (справа и слева снизу).

Рассмотренные графики выводятся во вкладке "Данные".

Для просмотра графиков с информативными параметрами необходимо нажать на вкладку "Информативные параметры". В последней вкладке – "Результат" представлен сопоставительный анализ способа определения влажности по кратным токам с кондуктометрическим (рис. 4). Слева в окне выводится график зависимости диффузионного (верхний) $R_d(W)$ и дифференциального (нижний) $R_i(W)$ сопротив-



ления от влажности. В окне справа выводятся кривые коэффициентов чувствительности $K_d(W)$ (средний) и $K_i(W)$ (нижний) указанных выше методов, где верхний график – кривая коэффициента качества (отношение коэффициентов чувствительности). Седлообразная форма кривой качества (верхний график) указывает на то, что кондуктометрический метод по дифференциальным сопротивлениям способен охарактеризовать достаточную влажность лишь на линейном участке кривой качества.

В первой вкладке приводятся элементы теории влажности, истории развития методов определения влажности и их краткий смысл.

Для удобства работы с полученными данными реализован алгоритм передачи данных в текстовый редактор Word, выполненный на базе COM объектов, реализована возможность сохранения в файл полученных графиков и таблиц, предусмотрено решение не только экспериментальных, но и инженерных задач.

РАЗРАБОТАННАЯ ПРОГРАММА ОТЛИЧАЕТСЯ ОТ АНАЛОГОВ ГИБКИМ ИНТЕРФЕЙСОМ, ВОЗМОЖНОСТЬЮ ЗАДАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЙ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА, А ТАКЖЕ ЖЕСТКИМ КОНТРОЛЕМ ОШИБОК РАСЧЕТОВ. ВСЕ ЭТО ПОЗВОЛЯЕТ БЫСТРО И ЭФФЕКТИВНО ПРОВОДИТЬ ЭКСПЕРИМЕНТЫ И РАСЧЕТЫ, СОХРАНИТЬ НЕОБХОДИМЫЕ ДАННЫЕ.

Таким образом, разработана архитектура микропроцессорного анализатора влажности "ТЕМП-283" на базе аналитической методики с линейным законом экспресс-анализа влажности по оптимальным параметрам физико-химического процесса, удовлетворяющей исходным требованиям по диапазону контроля и точности.

Информационное обеспечение включает комплекс математического и программного обеспечения, аппаратных и метрологических средств, что позволяет его использовать для научных исследований, в учебно-методической работе и на производстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Берлинер М. А. Измерения влажности. М.: Энергия, 1973. 488 с.
- 2 Кулаков М. В. Технологические измерения и приборы для химических производств. М.: Машиностроение, 1974. 464 с.
- 3 Патент № 2187098 РФ. Способ для определения влажности капиллярно-пористых материалов / И. Г. Летягин, Е. И. Глинкин, О. А. Ныркова и др. G 01 N 27/04, 2002. Бюл. № 22.
- 4 Ныркова О. А. Моделирование статических характеристик аналитического контроля // Труды ТГТУ. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2001. № 9. С. 63–68.
- 5 Схемотехника измерительно-вычислительных систем / Под ред. Е. И. Глинкина. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2000. 80 с.

Кафедра "Электрооборудование и автоматизация"

УДК 681.3:660

В. Г. Мокрозуб, М. П. Мариковская, А. Е. Юминов

**АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ПРИВОДОВ ПЕРЕМЕШИВАЮЩИХ УСТРОЙСТВ
ЕМКОСТНЫХ АППАРАТОВ**

Основным аппаратом в многоассортиментных малотоннажных химических производствах является емкостной аппарат с перемешивающим устройством. Качество перемешивания среды в аппарате определяется характеристиками привода, который собирается из стандартных и нестандартных элементов: мотор-редуктора, вала, муфты, стойки, подшипников, уплотнительного устройства, мешалки.

Исходными данными при проектировании привода являются тип мешалки, частота ее вращения и мощность перемешивания, найденные из гидродинамического расчета. Проектирование заключается в подборе таких вариантов исполнения привода, которые удовлетворяют исходным данным, и выборе из этих вариантов наиболее предпочтительного с точки зрения некоторого критерия эффективности. Результатом проектирования является спецификация, сборочный чертеж и чертежи деталей привода.

В настоящей работе описывается структура разрабатываемой на кафедре ГАПС системы автоматизированного проектирования приводов перемешивающих устройств емкостных аппаратов. Основной задачей первой версии данной системы является автоматизированная генерация вариантов исполнения приводов и выдача готовой конструкторской документации.

Процесс проектирования привода может быть разбит на следующие этапы:

- выбор мотор-редуктора или его проектирование;
- расчет и проектирование вала;
- выбор стойки, подшипников, корпусов и крышек подшипников;
- выбор муфты;
- выбор уплотнительного устройства.

Структура системы, позволяющей выполнить перечисленные выше этапы, представлена на рис. 1. Система состоит из управляющей программы, которая в ручном или автоматическом режиме вызывает модуль, выполняющий определенный этап проектирования. Обмен данными между модулями осуществляется через единое информационное пространство, включающее в себя базы данных стандартных элементов (муфты, уплотнения, подшипники и т.д.), результаты работы отдельных модулей (база проекта) и информационно-логическую модель привода.

Исходными данными для выбора мотор-редуктора являются мощность на перемешивание и частота вращения выходного вала.

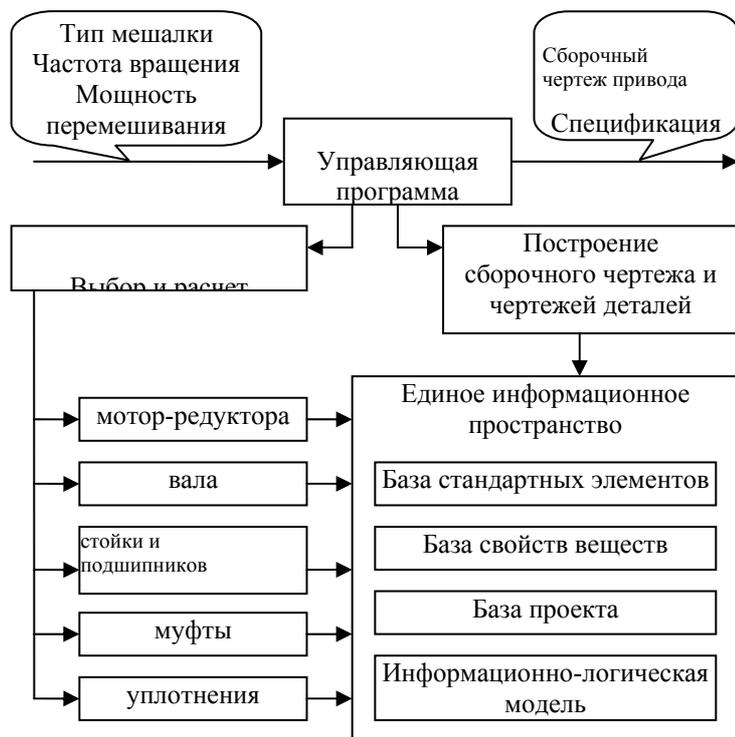


РИС. 1 СХЕМА СИСТЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИВОДА

Расчет вала проводится по РДРТМ 26-01-72-82 [1].

Стойка с подшипниками выбираются в зависимости от конструкции аппарата и типа установки вала (консольного или однопролетного). По ОСТ 26-01-109-85 стойки в сборе с подшипниками изготавливаются нескольких типов и исполнений для различных объемов, давления в корпусе аппарата и предполагаемого типа уплотнительного устройства.

Уплотнительное устройство выбирается, исходя из частоты вращения и диаметра герметизируемого вала, а также рабочих условий (температуры, давления) и свойств среды в аппарате (токсичности, взрывоопасности и др.).

В настоящее время практически реализовано два модуля, модуль выбора мотор-

редуктора и модуль расчета вала.

Основой модуля выбора мотор-редуктора является методика, изложенная в [2], согласно которой выбор осуществляется по частоте вращения выходного вала, режиму эксплуатации, номинальному и максимальному крутящему моменту, конструктивным и эксплуатационным особенностям привода. База данных в настоящее время содержит наименования всех мотор-редукторов, выпускаемых ОАО "Тамбовполимермаш", включая их габаритные и присоединительные размеры, а также графическое представление.

Модуль расчета вертикальных валов перемешивающих устройств, разработан на основе методики [1]. Исходными данными являются: геометрические размеры рассчитываемого вала, условия его работы (найденные из гидродинамического расчета), тип и число перемешивающих устройств, характеристики материала вала и перемешиваемой среды. Основным результатом расчета является значение диаметра поперечного сечения вала удовлетворяющее условиям виброустойчивости, жесткости и прочности. Методика [1] адаптирована к ее применению на компьютере, в частности, имеется возможность просматривать эпюры динамических отклонений вала, крутящих и изгибающих моментов, эквивалентных напряжений.

Разработанные программы прошли тестовое применение студентами специализации 17.05.14 при изучении курса "Расчет и конструирование", выполнении курсовых и дипломных проектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 РДРТМ 26-01-72-82. Валы вертикальные аппаратов с перемешивающими устройствами. Методы расчета.
- 2 ГОСТ 16532-70. Метод расчета геометрических параметров зубчатых передач.

Кафедра "Гибкие автоматизированные производственные системы"

УДК 681.3.068

В. Г. МОКРОЗУБ, А. А. ЧЕТЫРИН

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ШКАФОВ АВТОМАТИКИ ПОЛИМЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ СУЩЕСТВУЕТ МНОЖЕСТВО СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ОХВАТЫВАЮЩИХ РАЗЛИЧНЫЕ ОБЛАСТИ ПРОИЗВОДСТВА. ЧЕМ УНИВЕРСАЛЬНЕЕ СИСТЕМА, ТЕМ СЛОЖНЕЕ ЕЕ АДАПТАЦИЯ К КОНКРЕТНОМУ ПРОИЗВОДСТВУ. ПО ЗАКАЗУ ОАО "ТАМБОВПОЛИМЕРМАШ" КАФЕДРОЙ ГАПС ТГТУ РАЗРАБОТАНА СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ШКАФОВ АВТОМАТИКИ ПОЛИМЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ.

СИСТЕМА ПОЗВОЛЯЕТ РАЗРАБОТАТЬ ТРЕХМЕРНУЮ МОДЕЛЬ ПАНЕЛИ С ЭЛЕМЕНТАМИ ЭЛЕКТРОАВТОМАТИКИ И ПОЛУЧИТЬ СБОРОЧНЫЕ ЧЕРТЕЖИ И ЧЕРТЕЖИ ДЕТАЛЕЙ С НЕОБХОДИМЫМИ ВИДАМИ, РАЗРЕЗАМИ И СЕЧЕНИЯМИ. СПЕЦИФИКАЦИЯ НА ИЗДЕЛИЕ СОСТАВЛЯЕТСЯ АВТОМАТИЧЕСКИ НА ОСНОВании ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПО СПОСОБАМ КРЕПЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ, НАХОДЯЩЕЙСЯ В БАЗЕ ДАННЫХ.

Структура системы представлена на рис. 1.

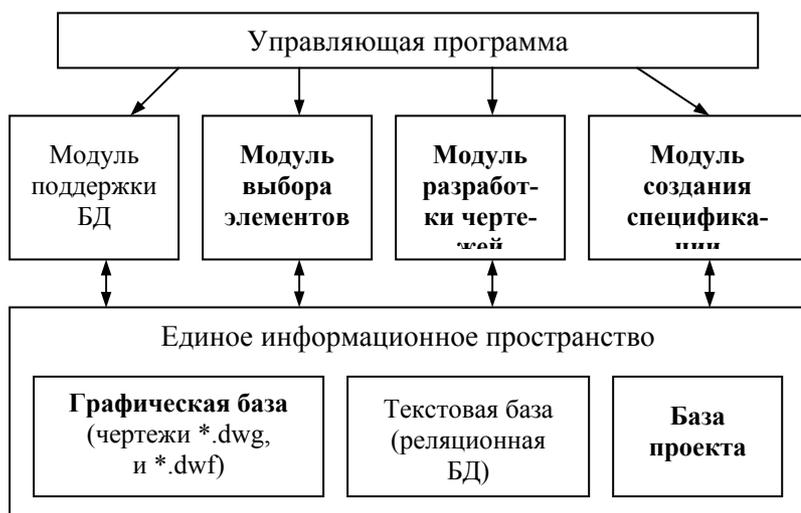


Рис. 1 Структура системы

Основой системы служит управляющая программа, которая в интерактивном режиме вызывает тот или иной рабочий модуль.

Все модули работают в едином информационном пространстве, включающем в себя графическую и текстовую базы данных элементов электроавтоматики (реле, переключатели, трансформаторы, резисторы, блоки зажимов и т.д.) и базу проекта. Графическая информация представлена 3D чертежами элементов в формате dwg и dxf. Текстовая информация находится в реляционной базе данных, реализованной в среде MS-Access, и содержит классификатор и реестр элементов, классификатор и реестр характеристик элементов, таблицу характеристик конкретного объекта, таблицу стандартов (ГОСТ, ТУ и т.п.) и т.д. Обмен информации между рабочими модулями осуществляется через базу проекта.

Модуль поддержки базы данных служит для редактирования существующих и добавления новых записей.

Модуль выбора элементов (рис. 2) позволяет найти элементы с необходимыми характеристиками и передать данные для модуля составления спецификации и для модуля разработки чертежей.

Модуль разработки чертежей позволяет в интерактивном режиме в среде AutoCAD разрабатывать сборочный чертеж и чертеж общего вида панели.

Модуль создания спецификации на основании данных трехмерной модели и информации о способах крепления элементов позволяет создать полный перечень всех сборочных единиц, деталей и стандартных изделий.

ОПИСАННАЯ СИСТЕМА В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ ПРОХОДИТ ТЕСТОВУЮ ЭКСПЛУАТАЦИЮ В ОТДЕЛЕ ЭЛЕКТРОАВТОМАТИКИ ОАО "ТАМБОВПОЛИМЕРМАШ".

КАФЕДРА "ГИБКИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ"

УДК 519.242

А. Н. Банников, В. Н. Казаков

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ СТАТИСТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Целью данной работы является исследование и сравнительная оценка двух методов идентификации статистических объектов.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ – ТАБЛИЧНО ЗАДАННАЯ ФУНКЦИЯ $y(x_i)$ $i=1, \dots, n$. ЦЕЛЬЮ ПОЛИНОМИАЛЬНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЯВЛЯЕТСЯ НАХОЖДЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПОЛИНОМА ВИДА

$$y = A(n)x^n + A(n-1)x^{n-1} + \dots + A(1)x^1 + A(0), \quad (1)$$

где $A(n), A(n-1), \dots, A(0)$ – неизвестные коэффициенты; x – входная переменная; y – выходная. Основопологающими критериями идентификации являются показатели адекватности модели. Модель считается адекватной объекту, если она удовлетворяет требованиям по точности в необходимом диапазоне изменения переменных x и y . Точность оценивается с помощью показателей, вычисляемых по разностям между экспериментальными y_i и расчетными по модели \tilde{y}_i значениями выходной переменной. Наиболее часто используются следующие показатели:

- максимальная ошибка (погрешность)

$$\Delta y_{\max} = \max \{ |y_i - \tilde{y}_i|, \quad i = 1, 2, \dots, N \};$$

- средняя абсолютная ошибка

$$\Delta \bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - \tilde{y}_i|;$$

- средняя относительная погрешность

$$\bar{\delta}_y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|y_i - \tilde{y}_i|}{\bar{y}} \cdot 100\%;$$

- средняя квадратическая ошибка

$$\sigma = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \tilde{y}_i)^2$$

и другие.

Первый исследуемый метод – аппроксимация методом наименьших квадратов. Суть метода заключается в минимизации суммы квадратов разностей между экспериментальными y_i и расчетными по модели \tilde{y}_i значениями выходной переменной

$$Q = \sum_{i=1}^N (\tilde{y}_i - y_i)^2 \rightarrow \min. \quad (2)$$

Из (2) видно, что Q является вогнутой квадратичной функцией, следовательно, она имеет минимум, причем, только один. Минимизация (2) осуществляется путем решением системы уравнений, состоящей из частных производных по коэффициентам полинома, относительно неизвестных коэффициентов:

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial A(n)} = 0; \\ \frac{\partial Q}{\partial A(n-1)} = 0; \\ \dots\dots\dots \\ \frac{\partial Q}{\partial A(1)} = 0; \\ \frac{\partial Q}{\partial A(0)} = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Второй исследуемый метод – интерполяция. Суть метода заключается в усреднении исходных данных на нескольких интервалах. Количество интервалов зависит от степени интерполирующего полино-

ма. Например, если имеется двадцать значений исходных данных, а порядок интерполирующего полинома равен трем, то коэффициенты получают, решая следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^5 \bar{y}_i - \tilde{y}_1 = 0; \\ \sum_{i=6}^{10} \bar{y}_i - \tilde{y}_2 = 0; \\ \sum_{i=11}^{15} \bar{y}_i - \tilde{y}_3 = 0; \\ \sum_{i=16}^{20} \bar{y}_i - \tilde{y}_4 = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Сравнивая (3) и (4) видно, что метод наименьших квадратов более трудоемок, чем метод интерполяции.

Для оценки параметров адекватности при том и другом методе был проведен эксперимент. Основная идея этого эксперимента заключается в определении средней относительной погрешности ($\bar{\delta}_y$) при интерполяции и аппроксимации одних и тех же данных. В качестве исходных данных взята модель второго порядка с заранее заданными коэффициентами

$$y = 0,0093x^2 - 0,738x + 17,146. \quad (5)$$

По данной модели рассчитано 17 значений y_i , при x_i , находящемся в интервале 10 ... 42. Для объективности эксперимента он проводился несколько раз, причем, каждый раз к рассчитанным y_i добавлялись случайные числа с равномерным распределением и разными математическими ожиданиями. Все расчеты проводились в системе MATLAB 6.0. По результатам эксперимента составлена табл. 1.

1 Результаты эксперимента

$M(y_i)$	1	2	3	4	5
$\bar{\delta}_y$, аппрокс.	4,29	6,86	7,53	12,39	15,46
$\bar{\delta}_y$, интерпол.	4,66	6,81	8,18	12,14	15,75

Из анализа табл. 1 видно, что при увеличении разброса данных величина ошибки растет как в методе наименьших квадратов, так и при интерполяции. Так же нетрудно заметить, что ошибка идентификации двумя исследуемыми методами приблизительно равны, следовательно, целесообразно идентификацию статистических данных проводить наименее трудоемким способом – методом интерполяции.

Кафедра "Конструирования радиоэлектронных и микропроцессорных систем"

УДК 681.542.4.001

А. А. Голощапов, Л. А. Ныркова

**ОЦЕНКА АНАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА
АППРОКСИМАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК***

**АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД АППРОКСИМАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
НЕОБХОДИМ ПРИ РАБОТЕ С ЗАШУМЛЕННЫМИ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИМИ КРИВЫ-**

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. Е. И. Глинкина.

МИ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ АППРОКСИМИРУЮЩИХ КРИВЫХ АДЕКВАТНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТУ.

Для реализации поставленной цели необходимо сопоставить аналитический метод аппроксимации динамических характеристик со статистическим методом, например, с методом наименьших квадратов. Поэтому необходимо оценить аналитическую функцию со статистическими кривыми, аппроксимированными по количеству экспериментальных точек. Данная задача включает:

- аппроксимацию динамических кривых, параметры которых определены по статистическому и аналитическому методам;
- оценку эффективности по среднеквадратическому отклонению от числа точек экспериментальной кривой.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД АППРОКСИМАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК [1] ЗАКЛЮЧАЕТСЯ В СЛЕДУЮЩЕМ. ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ МАКСИМАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ U_M КРИВОЙ, ПОЛУЧЕННОЙ МЕТОДОМ НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ [2] (РИС. 1, КРИВАЯ 2) ПО УРАВНЕНИЮ

$$y_i = az_i,$$

где a – коэффициент, определяемый из соотношения

$$a \sum_{i=1}^n z_i^2 = \sum_{i=1}^n z_i U_{\varepsilon_i},$$

U_{ε_i} – значения экспериментальной кривой (рис. 1, кривая 1); z_i – параметр, описывающий характер экспериментальной кривой,

$$z_i = 1 - e^{-t_i},$$

где t_i – текущее время.

ПО УСТАНОВИВШЕМОМУ ЗНАЧЕНИЮ НОРМИРУЕТСЯ ВРЕМЯ T_1 И T_2 , ПО КОТОРЫМ ОПРЕДЕЛЯЮТ ИНФОРМАТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ E И T .

ПО РЕЖИМНЫМ И ИНФОРМАТИВНЫМ ПАРАМЕТРАМ ВОССТАНАВЛИВАЕТСЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ КРИВАЯ ПО АНАЛИТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ (РИС. 1, КРИВАЯ 3) В НОРМИРОВАННЫХ КООРДИНАТАХ:

$$u_i = E \left(1 - e^{-\frac{t_i}{T}} \right).$$

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АНАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА АППРОКСИМАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОЛИЧЕСТВА ТОЧЕК ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ КРИВОЙ ПРОВЕДЕНА В СЛЕДУЮЩЕМ ПОРЯДКЕ.

ВЫБИРАЕТСЯ ОПРЕДЕЛЕННОЕ КОЛИЧЕСТВО ТОЧЕК N ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ КРИВОЙ. НАПРИМЕР, $N = 10$, Т.Е. БЕРУТСЯ ПЕРВЫЕ ДЕСЯТЬ ТОЧЕК ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ КРИВОЙ. АППРОКСИМИРУЕТСЯ ПОЛУЧЕННАЯ КРИВАЯ ПО СТАТИСТИ-

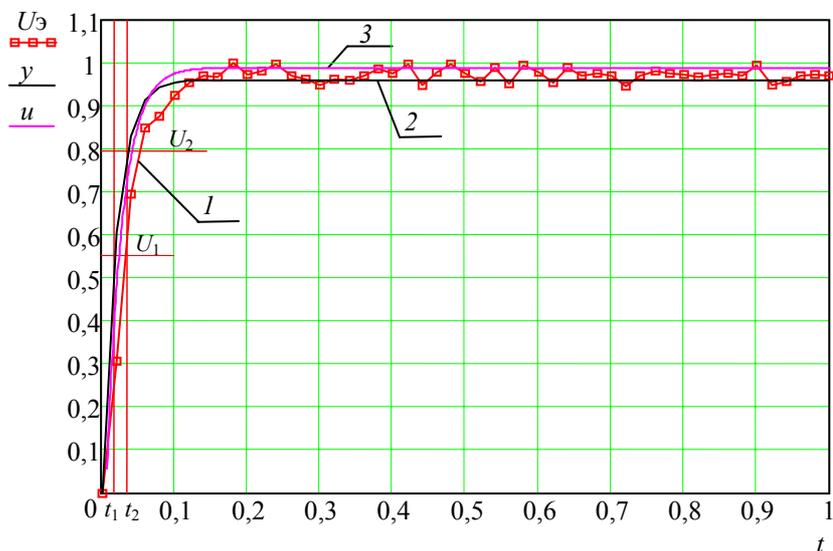


РИС. 1

ЧЕСКОМУ МЕТОДУ АППРОКСИМАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК. УВЕЛИЧИВАЯ N , ПОЛУЧАЮТСЯ НОВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ КРИВЫЕ, КОТОРЫЕ ТАКЖЕ АППРОКСИМИРУЮТСЯ.

ДЛЯ ОЦЕНКИ АДЕКВАТНОСТИ АППРОКСИМИРУЮЩИХ КРИВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТУ НЕОБХОДИМО ТАКЖЕ АППРОКСИМИРОВАТЬ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ КРИВЫЕ ПО АНАЛИТИЧЕСКОМУ МЕТОДУ И РАССЧИТАТЬ СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКОЕ ОТКЛОНЕНИЕ ПО ФОРМУЛЕ

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (u_{эТi} - u_i)^2}{n-1}},$$

ГДЕ U_i – ЗНАЧЕНИЯ АППРОКСИМИРУЮЩЕЙ КРИВОЙ; $U_{эТi}$ – ЗНАЧЕНИЯ ЭТАЛОННОЙ АППРОКСИМИРУЮЩЕЙ КРИВОЙ.

ЗА ЭТАЛОН ПРИНИМАЕТСЯ АППРОКСИМИРУЮЩАЯ КРИВАЯ, ВОССТАНОВЛЕННАЯ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ КРИВОЙ С $N = 50$ ОТНОСИТЕЛЬНО АНАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА.

В РЕЗУЛЬТАТЕ ПОЛУЧЕНЫ ЗАВИСИМОСТИ СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКОГО ОТКЛОНЕНИЯ δ ОТ КОЛИЧЕСТВА ТОЧЕК N (РИС. 2, КРИВАЯ 1), ИЗ КОТОРЫХ ВИДНО,

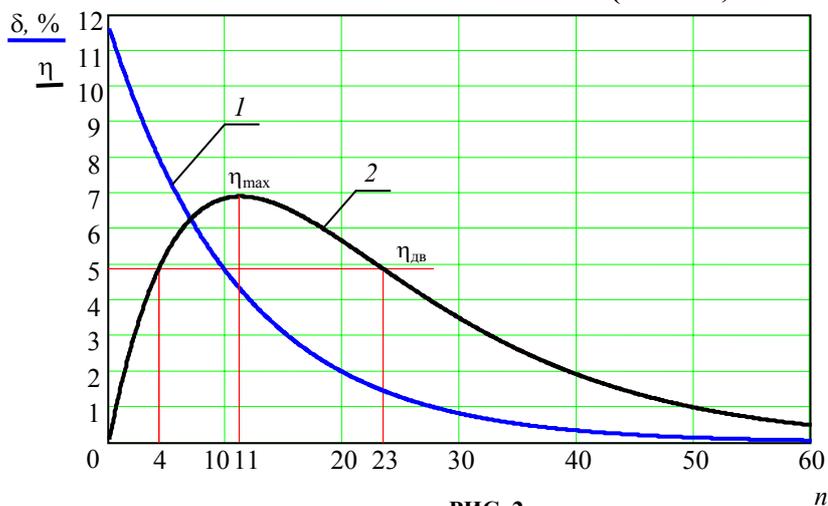


РИС. 2

ЧТО ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ КОЛИЧЕСТВА ТОЧЕК, ПОГРЕШНОСТЬ УМЕНЬШАЕТСЯ. ДАННЫЙ ГРАФИК ПОЗВОЛЯЕТ ОПРЕДЕЛИТЬ ПОГРЕШНОСТЬ ПО ЗАДАННОМУ КОЛИЧЕСТВУ ТОЧЕК. ВОЗМОЖНО И ОБРАТНОЕ ДЕЙСТВИЕ: ПО ЗАДАННОЙ ТОЧНОСТИ МОЖНО ОПРЕДЕЛИТЬ КОЛИЧЕСТВО ТОЧЕК, КОТОРЫЕ НЕОБХОДИМО ДЛЯ ЕЕ ДОСТИЖЕНИЯ.

ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ ТОЧНОСТНЫЙ ДИАПАЗОН, КОТОРЫЙ ПРОВОДИТ ОЦЕНКУ АДЕКВАТНОСТИ АППРОКСИМИРУЮЩИХ КРИВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНО. ДЛЯ ЭТОГО ПОЛУЧЕНЫ ЗАВИСИМОСТИ ПОГРЕШНОСТИ δ И ЭФФЕКТИВНОСТИ η ОТ ЧИСЛА ТОЧЕК ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ КРИВОЙ N (РИС. 2, КРИВАЯ 1, 2):

$$\eta_i = \delta_i n_i.$$

ИЗ РИС. 2 ВИДНО, ЧТО НАИБОЛЕЕ ТОЧНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ВОЗМОЖНО ПОЛУЧИТЬ ПРИ $N = 11$.

ПО МАКСИМАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ η_{\max} НАХОДИТСЯ ЗНАЧЕНИЕ ДОВЕРИТЕЛЬНОЙ ВЕРОЯТНОСТИ $\eta_{\text{дв}} = \eta_{\max} / \sqrt{2}$, КОТОРЫЙ СООТВЕТСТВУЕТ ДИАПАЗОН $N = \overline{4, 23}$.

ОЦЕНКА АНАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА АППРОКСИМАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОКАЗЫВАЕТ, ЧТО ДЛЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО МЕТОДА ЦЕЛЕСООБРАЗНО ПРИНЯТЬ ЗА ТОЧНОСТНЫЙ ДИАПАЗОН $n = \overline{11, 23}$, ТАК КАК ПРИ ЧИСЛЕ ТОЧЕК МЕНЬШЕ 11 РЕЗКО ВОЗРАСТАЕТ ПОГРЕШНОСТЬ, А ПРИ 23 И БОЛЬШЕ – УВЕЛИЧИВАЕТСЯ ВРЕМЯ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ. ПРИ ВЫБРАННОМ ДИАПАЗОНЕ ПОГРЕШНОСТЬ КОЛЕБЛЕТСЯ В ПРЕДЕЛАХ 1,5 ... 4,5 %. НАПРОТИВ, ДЛЯ АНАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА АППРОКСИМАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОЧНОСТНЫЙ ДИАПАЗОН ОГРАНИЧИВАЕТСЯ НАЛИЧИЕМ ДВУХ ТОЧЕК, ПРИ ЭТОМ ПОГРЕШНОСТЬ НЕ ПРЕВЫШАЕТ 3 %.

ТАКИМ ОБРАЗОМ, ПРЕДЛОЖЕННАЯ ОЦЕНКА ПОКАЗЫВАЕТ, ЧТО ЭФФЕКТИВНОСТЬ АНАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА АППРОКСИМАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ КРИВОЙ ПО СРАВНЕНИЮ СО СТАТИСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ВОЗРАСТАЕТ НА ПОРЯДОК, А ОПЕРАТИВНОСТЬ В 5–10 РАЗ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 НЫРКОВА Л. А., НЫРКОВА О. А., ГОЛОЩАПОВ А. А. МЕТОДИКА ЭНЕРГОКОНТРОЛЯ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА // СБ. ТЕЗ. МЕЖДУНАР. НАУЧ.-ТЕХН. КОНФ.: ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ. АВТОМАТИЗАЦИЯ. ГОМЕЛЬ, 2001. С. 33–35.

2 ГЛИНКИН Е. И. СХЕМОТЕХНИКА МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ. ТАМБОВ: ИЗД-ВО ТАМБ. ГОС. ТЕХН. УН-ТА, 1998. 158 С.

Кафедра "Электрооборудование и автоматизация"

УДК 65.018

М. М. Фокин, С. В. Пономарев

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССНОГО ПОДХОДА В СИСТЕМАХ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

В настоящее время многие предприятия для закрепления и улучшения своего положения на рынке вынуждены искать новые методы управления организацией, нацеленные на повышение конкурентоспособности выпускаемой продукции или оказываемой услуги. Большинство из них сделало ставку на систему менеджмента качества (СМК), подготовленную по требованиям стандартов семейства ИСО серии 9000. В Российской Федерации в настоящее время действует ГОСТ Р ИСО 9001-2001 [1], определяющий требования к системам менеджмента качества. Для успешного внедрения системы менеджмента качества по требованиям ИСО серии 9000 версии 2000 г. рекомендуется использовать восемь принципов менеджмента качества [2], один из которых требует применение процессного подхода.

В ТРЕТЬЕМ РАЗДЕЛЕ СЛОВАРЯ ТЕРМИНОВ [2] ПРОЦЕСС ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ КАК СОВОКУПНОСТЬ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ И ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ВИДОВ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ПРЕОБРАЗУЮЩАЯ ВХОДЫ В ВЫХОДЫ. ДЛЯ УСПЕШНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ДОЛЖНА ОПРЕДЕЛИТЬ БИЗНЕС-ПРОЦЕССЫ И ПРОЦЕССЫ СМК, СОВОКУПНОСТЬ КОТОРЫХ, НАРЯДУ С ИДЕНТИФИКАЦИЕЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ, МОЖЕТ СЧИТАТЬСЯ РЕАЛИЗАЦИЕЙ ПРОЦЕССНОГО ПОДХОДА.

ОДНАКО ПРИ ВНЕДРЕНИИ ПРОЦЕССНОГО ПОДХОДА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ВОЗНИКАЕТ НЕМАЛО ВОПРОСОВ [3]. ОСОБЕННО ЧАСТО ВОЗНИКАЮТ СЛЕДУЮЩИЕ ПРОБЛЕМЫ: КАКИЕ ПРОЦЕССЫ ОПИСЫВАТЬ, КАК ИХ ИДЕНТИФИЦИРОВАТЬ, КТО ДОЛЖЕН ЭТО ДЕЛАТЬ, КАК ОЦЕНИТЬ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА, ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ДР.

При построении процессной модели предприятия в общем случае полезно придерживаться следующей последовательности этапов [4]:

- 1 Идентифицировать процессы, необходимые и достаточные для функционирования предприятия.
- 2 Определить последовательность и взаимодействие процессов.
- 3 Выявить ключевые процессы с позиций стратегических целей и планов (например, по принципу Парето – 20 % процессов обеспечивают 80 % эффективности производства).
- 4 Назначить владельцев (ответственное лицо) соответствующих процессов.
- 5 Определить потребителей и поставщиков процессов.
- 6 Установить требования к входам и выходам процесса.
- 7 Выявить дополнительные входы процесса (ресурсы и управляющие воздействия).
- 8 Определить показатели и критерии, необходимые для обеспечения эффективного менеджмента этого процесса, т.е. измерить процесс.
- 9 Спланировать показатели качества и эффективности процесса.
- 10 Описать сам процесс и систему менеджмента процесса.
- 11 Разработать и внедрить методики оценки, мониторинга и анализа данных и показателей работы процесса.
- 12 Определить порядок проведения корректирующих и предупреждающих действий.
- 13 Установить перечень организационных мероприятий необходимых для осуществления деятельности по поддержанию процессов в рабочем состоянии (порядок внесения изменений в процесс).

Для проектирования процессной модели предприятия предлагается воспользоваться методологией *SADT* (*Structured Analysis and Design Technique* – методология структурного анализа и проектирования), применяемой для реализации Программы интегрированной компьютеризации производства *ICAM* (*Integrated Computer Aided Manufacturing*). Методология *SADT* определяет, что модель может базироваться либо на бизнес-процессах предприятия, либо на его объектах [5]. Более интересным, с точки зрения системы менеджмента качества, является первый подход, где *SADT*-модели принято называть функциональными моделями, которые описываются по методологии *IDEF0* [6]. Функциональная модель, с требуемой степенью детализации, представляет собой систему бизнес-процессов, причем модель считается адекватной, если она отвечает на все вопросы относительно объекта моделирования.

В *IDEF0* модель представляет собой систему блоков, а система менеджмента качества представляет собой систему процессов. Рассмотрим сходство этих понятий. Ниже представлены вид *IDEF0*-блока (рис. 1, а) и процесса системы менеджмента качества (рис. 1, б). Блок и процесс графически представляются в виде прямоугольника, каждая сторона которого имеет свое функциональное назначение. Слева к блоку подводятся стрелки, обозначающие "вход", а справа – "выход". Сверху в блок подается "управление", а в процесс "управляющие воздействия", но функционально это идентичные понятия. Снизу поступают: для процесса "ресурсы", а для блока "механизмы". И ресурсы, и механизмы – это средства, с помощью которых обеспечивается преобразование входов в выходы, а управление и управляющие воздействия определяют условия для правильного преобразования входов в выходы. С нижней стороны блока подается сигнал "вызов" для связи с другими блоками, а у процесса эта функция реализуется как один из видов выхода.

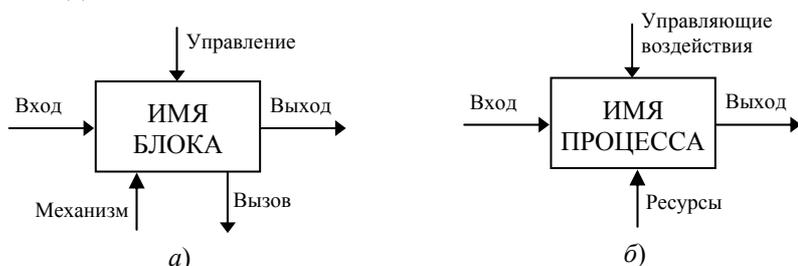


Рис. 1 Графическое представление *IDEF0*-блока (а) и процесса СМК (б)

Как видно из графического представления, блок и процесс – с точки зрения системы менеджмента качества – родственные понятия.

Для эффективной работы описывать процессы организации должны их владельцы. Причем, основной процесс (обеспечивающий достижение главных целей и решение основных задач) организации должен определять руководитель (лидер), а подпроцессы – его подчиненные. Вовлекая работников в работу по описанию процессов, организация более полно использует их способности. Требования к выходу процесса определяются потребителями процесса, а к входу – владельцами процесса. Задав количественные критерии к входам и выходам, можно оценивать эффективность выполнения процесса [7], что, в совокупности с соответствующими методами анализа, например *ABC (Activity Based Costing – Анализ затрат по видам деятельности)*, является реализацией принципа "Принятие решений, основанное на фактах", а вовлечение в определение требований к процессу потребителей (как внутренних, так и внешних) реализует принцип "Ориентация на потребителя".

По методике *IDEF0* функциональная модель строится путем декомпозиции основного процесса организации на несколько подпроцессов, каждый из которых, в свою очередь, декомпозируется на несколько более простых процессов, что соответствует типичной организационной структуре предприятия, построенной на принципе иерархической подчиненности.

Большим достоинством *IDEF0*-моделирования является то, что потребителем и оценщиком результата работы сотрудника (выполнения процесса) является не его руководитель, а владелец следующего процесса, который может быть на разных уровнях подчиненности, в том числе и на более низком, что, несомненно, способствует улучшению взаимодействия внутри организации и возникновению большего числа вертикальных связей. Применение *IDEF0*-технологий для описания процессов предприятия способствует выявлению, пониманию и менеджменту взаимосвязанных процессов как системы, содействует повышению результативности и эффективности функционирования организации при достижении ее целей, чем реализуется еще один принцип менеджмента качества – "Системный подход".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 ГОСТ Р ИСО 9001-2001. Системы менеджмента качества. Требования. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001. 26 с.
- 2 ГОСТ Р ИСО 9000-2001. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001. 30 с.
- 3 Владимирцев А. В., Марцынковский О. А., Шеханов Ю. Ф. Внедрение процессной модели на предприятиях // Методы менеджмента качества. 2002. № 8. С. 15–21.
- 4 Швец В. Е. Измерение процессов в современной системе менеджмента качества // Методы менеджмента качества. 2001. № 1. С. 11–13.
- 5 Волчков С. А., Балахонова И. В. Непрерывное улучшение бизнес-процессов на базе стандартов ERP и ИСО серии 9000 // Методы менеджмента качества. 2001. № 2. С. 17–22.
- 6 Р 50.1.028-2001. Рекомендации по стандартизации. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001. 50 с.
- 7 Клиенти К., Грассо Д., Пинко С. Экспериментальный количественный метод оценки компаний на соответствие требованиям стандартов ИСО серии 9000 // Европейское качество. 2001. Т. 8. № 5. С. 57–63.

Кафедра "Автоматизированные системы и приборы"

УДК 65.018

С. В. Пономарев, Э. В. Злобин,
В. А. Самодуров, С. И. Марков

МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА КАК АНАЛОГ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Согласно международным стандартам (МС) ИСО серии 9000, любая деятельность или операция, которая получает что-то "на входе" и превращает это в нечто "на выходе", может быть рассмотрена как

процесс, независимо от того, связано ли это с изготовлением продукции или предоставлением услуг [1]. Систематическая идентификация и управление различными процессами, реализуемыми внутри организации, а также их взаимосвязи представлены в этих стандартах как процессный подход.

В процессе подготовки системы менеджмента качества (СМК) Тамбовского государственного технического университета к сертификации появилась необходимость провести сравнительный анализ модели СМК с техническими системами автоматического регулирования (САР). В результате проведенных исследований выявлена аналогия между функциональными возможностями блоков простейшей САР (рис. 1) и моделью СМК, основанной на процессном подходе (рис. 2) [2].

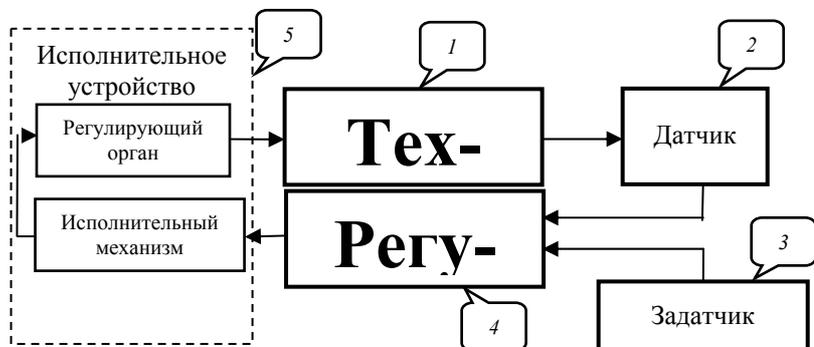


Рис. 1 Структурная схема системы автоматического регулирования

В САР регулируемый параметр технологического объекта 1 воспринимается датчиком 2, сигнал с которого поступает на регулирующий преобразователь 4. Кроме того, на регулирующий преобразователь подается сигнал с задатчика 3. Регулирующий преобразователь сравнивает сигналы, поступившие с задатчика и датчика, и вырабатывает сигнал управления. Сигнал управления с регулирующего преобразователя следует на исполнительное устройство 5, которое осуществляет управляющее воздействие на технологический объект, например, изменяет расход теплоносителя, подводимого к объекту.

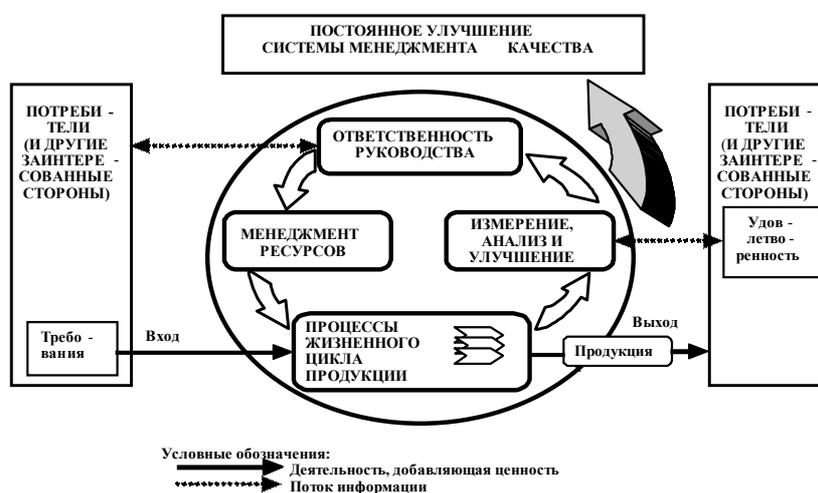


Рис. 2 Модель системы менеджмента качества, основанной на процессном подходе

ДВИЖУЩАЯ СИЛА ПРИВЕДЕННОЙ МОДЕЛИ – ПОТРЕБИТЕЛЬ, ПОСКОЛЬКУ ВСЕ ДЕЙСТВИЯ В ОБЛАСТИ КАЧЕСТВА НАЧИНАЮТСЯ С НЕГО И ИМ ЖЕ ЗАКАНЧИВАЮТСЯ.

Главная группа процессов, итогом которых является поставка продукции или услуг потребителям, представлена в виде функционального блока под названием "процессы жизненного цикла продукции". Требования, запросы и пожелания потребителей являются входом для СМК. Этот вход служит основой для планирования и последующего производства продукции или услуг. Обратная связь с потребителями (информация об удовлетворенности потребителей и пр.) осуществляется через функциональный блок "измерение, анализ и улучшение". Остальные функциональные блоки представленной модели охватывают действия, обеспечивающие правильное протекание процессов жизненного цикла продукции или услуг.

В результате анализа модели СМК и модели САР выявлена аналогия функциональных блоков рассматриваемых систем.

Аналогом технологического объекта систем автоматического регулирования в модели СМК является группа "Процессы жизненного цикла продукции" (рис. 3, поз. 1').

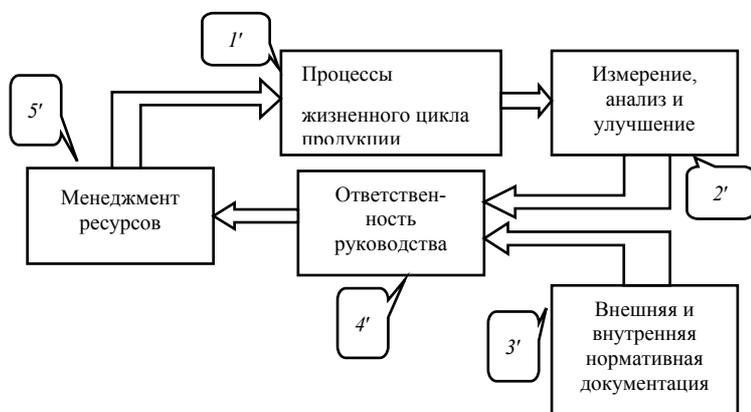


Рис. 3 Сравнительная схема функциональных блоков модели СМК и САР

Важная задача СМК – получение информации о ключевых аспектах деятельности организации. Функциональный блок 2' "Измерение, анализ и улучшение" (см. рис. 3) нацелен на получение точных и надежных данных, которые являются первичной информацией для последующего совершенствования производственных процессов. В САР первичная информация воспринимается блоком 2 "Датчик" (рис. 1). Следовательно, блок 2 на рис. 1 и блок 2' на рис. 3 аналогичны по функциональному назначению.

Данные блока 2' "Измерение, анализ и улучшение" поступают в администрацию организации (функциональный блок 4' "Ответственность руководства" на рис. 3) и обрабатываются с учетом федеральных законов, другой внешней нормативной документации, нормативной документации организации, представленных в виде блока 3' на рис. 3. Блок 4' "Ответственность руководства" по своему функциональному назначению схож с блоком 4 "Регулирующий преобразователь" на рис. 1. Функции федеральных законов и прочей нормативной документации аналогичны функциям блока 3 "Задатчик" на рис. 1.

Принятые руководством решения (например, выделение финансовых, материальных и других ресурсов, переподготовка кадров и т.п.) в рамках СМК направляются в виде приказов, распоряжений и другого воздействия в соответствующие структурные подразделения организации (функциональный блок 5' "Менеджмент ресурсов" на рис. 3), который непосредственно воздействует на блок 1' "Процессы жизненного цикла продукции". В САР блок 5 "Исполнительное устройство", принявшее сигнал управления от регулирующего преобразователя, осуществляет управляющее воздействие на технологический объект, что приводит его в равновесное состояние. По аналогии управляющее воздействие блока 5' "Менеджмент ресурсов" приводит процессы СМК в желаемое равновесное состояние.

Как было сказано выше, входом для СМК являются требования потребителей. В САР аналогом требований потребителей являются, например, требования технологического регламента, а аналогом удовлетворенности потребителей является соблюдение этих требований.

В вышеизложенном материале сделана попытка провести аналогию между САР и моделью СМК, основанной на процессном подходе. В результате проведенной работы было выявлено, что функциональные назначения блоков САР и модели СМК схожи, но необходимо отметить и отличие рассматриваемых систем. В модели СМК присутствует требование постоянного улучшения, тогда как при работе САР, в большинстве случаев, не формулируется требований к постоянному улучшению ее функционирования.

Обнаруженная идентичность функциональных назначений блоков двух рассматриваемых систем поможет более детально понять модель СМК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Воробьев Г. В. Некоторые подходы к построению систем качества по МС ИСО серии 9000:2000 // Стандарты и качество. 2002. № 4. С. 43–45.
- 2 **ГОСТ Р ИСО 9001-2001. СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА. ТРЕБОВАНИЯ. М.: ИПК ИЗД-ВО СТАНДАРТОВ, 2001. 26 С.**

Кафедра "Автоматизированные системы и приборы"

УДК 658.562

А. В. Трофимов, Е. С. Паченская

ПРОЦЕДУРА РАЗРАБОТКИ СТАНДАРТА ПРЕДПРИЯТИЯ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

НАЗНАЧЕНИЕ СТАНДАРТОВ ПРЕДПРИЯТИЯ – ДОКУМЕНТИРОВАТЬ ВСЕ ПРОЦЕДУРЫ И ЧЕТКО РЕГЛАМЕНТИРОВАТЬ ВСЕ ПРОЦЕССЫ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ПРЕДПРИЯТИЯ. ОСНОВАНИЕМ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СТАНДАРТА ПРЕДПРИЯТИЯ ЯВЛЯЮТСЯ: ОТЧЕТЫ ВНЕШНЕГО И ВНУТРЕННЕГО АУДИТОВ; ИЗМЕНЕНИЕ ЗАДАЧ И ПОРЯДКИ РАБОТ; ИЗМЕНЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ; ВНЕДРЕНИЕ НОВЫХ ВИДОВ СЫРЬЯ И МАТЕРИАЛОВ; ОСВОЕНИЕ НОВЫХ ИЗДЕЛИЙ; ПРЕДЛОЖЕНИЯ ОТ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ И ДОЛЖНОСТНЫХ ЛИЦ.

Стандарты предприятия разрабатываются для тех подразделений данного предприятия, которые включены в систему менеджмента качества (СМК).

Разработку стандарта целесообразнее поручать тем сотрудникам, которые работают с рассматриваемым процессом или процедурой. Представители консультирующей фирмы могут оказывать помощь разработчиками и рекомендовать им форму стандарта.

Разработка стандарта предприятия начинается с определения глобальных целей подразделения, либо службы предприятия. Процессы, направленные на достижение этих целей, подлежат тщательному рассмотрению. Если есть необходимость, процесс делят на подпроцессы, причем на каждый подпроцесс разрабатывается свой стандарт.

Процессы (подпроцессы) состоят из процедур, подлежащих обязательному документированию. Каждый процесс определяется со всеми своими процедурами и для него уполномоченный сотрудник подразделения начинает разрабатывать стандарт предприятия.

Для начала определяется назначение стандарта. К примеру, стандарт "Разработка стандартов предприятия системе менеджмента качества", разрабатываемый группой качества предприятия самым пер-

вым, имеет назначение обеспечить единую форму разработки стандартов по СМК и установить требования к их обозначению, содержанию, согласованию, утверждению.

Следующий шаг разработчика стандарта – это определение области применения стандарта. В разделе "Область применения" указываются структурные подразделения предприятия (СПП), для работы которых этот стандарт имеет значение.

Ответственность за разработку, внесение изменений и внедрение разрабатываемого стандарта несет руководитель подразделения, сотрудник которого разрабатывает этот стандарт. Контроль исполнения стандартов предприятия по системе менеджмента качества осуществляет представитель руководства по качеству. Ответственность остальных лиц устанавливается в специальном разделе стандарта предприятия по шагам процесса, на который разрабатывается данный стандарт.

Далее в стандарте предприятия должны быть рассмотрены и расшифрованы все использующиеся при описании процесса определения, сокращения и обозначения. Стандарт должен быть простым и понятным даже тому, кто непосредственно не связан с данным процессом, не является представителем данного подразделения.

Сложилось, что на предприятиях, где система менеджмента качества лишь начала функционировать, или на тех, где еще только готовятся к сертификации, сотрудники отлично знают свой процесс, но испытывают трудности при разработке стандарта. Причинами этого являются недостаточная документация процедур процесса, неустановленная ответственность лиц и размытость требований к процессу. К взаимопониманию должны прийти три стороны: непосредственный разработчик (подразделение), группа качества предприятия и консультирующий специалист.

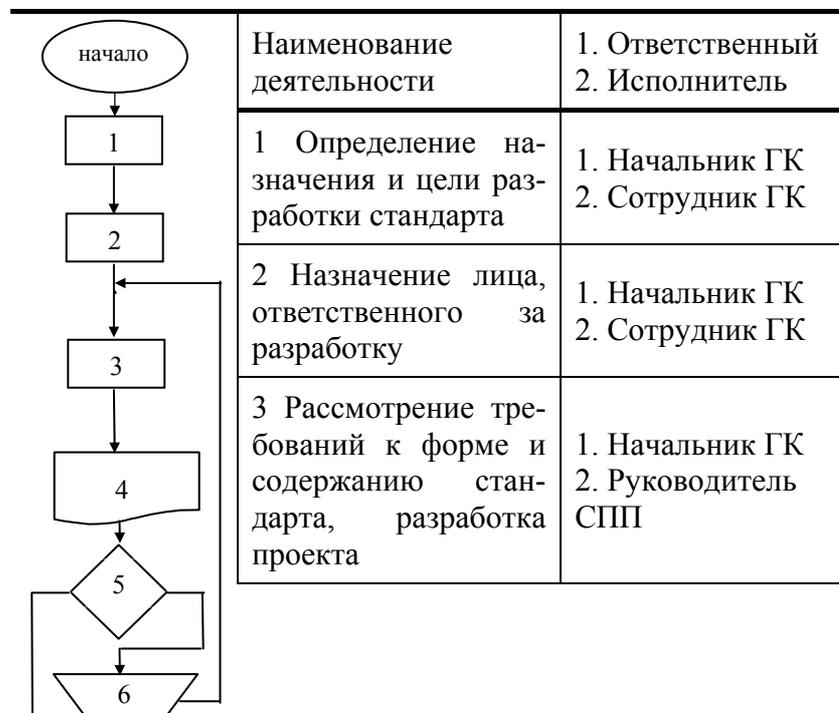
После раздела "Определения, сокращения и обозначения стандарта" идет раздел "Описание процесса". В этом разделе идет подробное описание процесса, для которого разрабатывается стандарт предприятия. При изложении раздела возможно применение следующих способов описания процесса:

- текстовый – в соответствии с ГОСТ 2.105-95;
- матричный – в виде матрицы;
- алгоритмический – изображение процесса алгоритмическими символами.

Процесс разработки стандарта предприятия системы менеджмента качества представлен в табл. 1.

Следующим шагом разработки стандарта предприятия является определение формы документации процесса и срока ее хранения. Это определяет сам разработчик, руководствуясь собственным опытом и требованиями, как нормативной документации, так и потребителей продукции. К примеру, срок хранения приказов по предприятию, как правило, пять лет, а срок хранения протоколов поверки средств измерений – три года.

1 Процесс разработки стандарта предприятия



4	Согласование проекта стандарта предприятия	1. Начальник ГК 2. Руководитель СПП
5	Решение о согласовании: да – на утверждение, нет – на доработку	1. Начальник ГК 2. Сотрудник ГК
6	Доработка стандарта	1. Начальник ГК 2. Руководитель СПП
7	Печатание, регистрация и утверждение стандарта у руководства	1. Начальник ГК 2. Сотрудник ГК
8	Размножение стандарта и выдача в подразделения	1. Начальник ГК 2. Сотрудник ГК

В каждом стандарте предприятия необходимо предусмотреть порядок внесения изменений. В процессе работы с этим стандартом может возникнуть необходимость что-то добавить или убрать. Стандарты являются рабочими документами. С их требованиями сотрудники, задействованные в процессе, сталкиваются постоянно. Так как процесс требует постоянного улучшения, то внесение изменений станет необходимым для любого стандарта. Должен быть разработан документ системы менеджмента качества, регламентирующий порядок внесения изменений в стандарт предприятия.

В процессах предприятия задействовано множество разных подразделений, поэтому, хотя стандарт и разрабатывается каким-то одним подразделением, в нем могут быть рассмотрены процедуры выполняемые сотрудниками других подразделений самостоятельно или совместно с сотрудниками подразделения-разработчика. В таких случаях стандарт направляется и в другие подразделения. Стандарт предприятия должен содержать в себе указание, куда направляются его копии. Естественно, подлинники всех стандартов должны храниться в одном месте – либо в архиве, либо в группе качества.

Необходимо отметить, что согласование стандарта ведется в соответствии с четкой иерархией заинтересованных лиц и подразделений. Все, без исключения, стандарты непременно согласовываются с руководителем группы качества и утверждаются руководителем предприятия. Также идет согласование с руководителями подразделений, которые принимают непосредственное участие в процессе.

Первый проект стандарта проверяется руководителем группы качества и консультантом. Подразделения получают экземпляры-копии с оригинала, каждый из которых имеет свой инвентарный номер и номер экземпляра. Первый номер получает подразделение-разработчик.

Процедура разработки стандарта предприятия, рассмотренная выше, может варьироваться в пределах требований системы ИСО.

Кафедра "Автоматизированные системы и приборы"

Метрологический анализ бесконтактных
методов неразрушающего контроля ТФС
материалов на основе математического
описания измерительных процедур и цепей

Для оценки погрешностей и их характеристик в методах неразрушающего контроля (НК) теплофизических свойств (ТФС) материалов и готовых изделий используется математическое описание измерительных процедур и цепей в виде последовательности измерительных преобразований (уравнений измерений) с последующим разложением погрешности в полную группу составляющих, каждая из которых связана с преобразованием (частью измерительной процедуры), ее порождающим. Подобный подход создает предпосылки для выделения доминирующих компонент в составе полной погрешности определения ТФС, что, в конечном итоге, позволяет осуществить целенаправленное воздействие на источники погрешности.

Для разработанного бесконтактного метода НК ТФС [1], уравнения для определения коэффициентов температуропроводности a и теплопроводности λ имеют следующий вид:

$$a = \frac{V(R_1 - x_1)}{2 \ln \left[\frac{R_{x1}}{R_1} \right]}, \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{q_{\text{ит}}}{2\pi T_1^*(x)[R_{x2} - R_{x1}]}, \quad (2)$$

где V – скорость движения источника и термоприемников относительно исследуемого тела, м/с; R_1 , R_{x1} , R_{x2} – соответственно, заданное и найденные расстояния между центром пятна нагрева и точками контроля температуры, м; x_1 – расстояние между центром пятна нагрева и проекцией точки R_1 на линию движения источника тепла, м; $q_{\text{ит}}$ – мощность источника тепла (лазера), Вт; $T_1^*(x)$ – значение интегральной во времени избыточной температуры в точке на расстоянии R_{x2} от центра пятна нагрева при мощности источника $2q_{\text{ит}}$.

Структура уравнения (1) показывает, что полная погрешность Δa_j^* зависит от точности установления V , R_1 , x_1 , а также от точности измерений R_{x1} . Следовательно,

$$\Delta a_j^* = a_j^* - a_j = \Delta_V a_j^* + \Delta_{R_1} a_j^* + \Delta_{x1} a_j^* + \Delta_{R_{x1}} a_j^*, \quad (3)$$

где $\Delta_V a_j^* = \frac{\Delta V (R_{1j} - x_{1j})}{2 \ln \left[\frac{R_{x1j}}{R_{1j}} \right]}$ – погрешность, обусловленная отличием V от истинного значения $V_{\text{и}}$, т.е.

$$V = V_{\text{и}} + \Delta V;$$

$$\Delta_{R_1} a_j^* = \frac{V}{2} \left[\frac{R_{\text{ит}} + \Delta R_1 - x_{1j}}{\ln \left[\frac{R_{x1j}}{R_{1\text{и}} + \Delta R_1} \right]} - \frac{R_{1\text{и}} - x_{1j}}{\ln \left[\frac{R_{x1j}}{R_{1\text{и}}} \right]} \right] - \text{погрешность, обусловленная отличием } R_1 \text{ от } R_{1\text{и}} \text{ (} R_1 = R_{1\text{и}} + \Delta R_1 \text{)};$$

$$\Delta_{x1} a_j^* = - \frac{V \Delta x_1}{2 \ln \left[\frac{R_{x1j}}{R_{1j}} \right]} - \text{погрешность, обусловленная отличием } x_1 \text{ от } x_{1\text{и}} \text{ (} x_1 = x_{1\text{и}} + \Delta x_1 \text{)};$$

$$\Delta_{R_{x1}} a_j^* = \frac{V(R_{1j} - x_{1j})}{2} \left[\frac{1}{\ln \left[\frac{R_{x1и} + \Delta R_{x1}}{R_{1j}} \right]} - \frac{1}{\ln \left[\frac{R_{x1и}}{R_{1j}} \right]} \right] - \text{погрешность, обусловленная отличием } R_{x1} \text{ от } R_{x1и} (R_{x1} = R_{x1и} + \Delta R_{x1}).$$

Структура уравнения (2) показывает, что полная погрешность $\Delta \lambda_j^*$ зависит от точности установления $q_{ит}$, а также от точности измерений $T_1^*(x)$, R_{x1} , R_{x2} . Следовательно,

$$\Delta \lambda_j^* = \Delta_{q_{ит}} \lambda_j^* + \Delta_{T_1^*(x)} \lambda_j^* + \Delta_{R_{x1}} \lambda_j^* + \Delta_{R_{x2}} \lambda_j^*, \quad (4)$$

где $\Delta_{q_{ит}} \lambda_j^* = \frac{\Delta q_{ит}}{2 \pi T_{1j}^*(x) [R_{x2j} - R_{x1j}]}$ – погрешность из-за отличия $q_{ит}$ от $q_{ит}^и$ ($q_{ит} = q_{ит}^и + \Delta q_{ит}$);

$$\Delta_{T_1^*(x)} \lambda_j^* = \frac{q_{итj}}{2 \pi (R_{x2} - R_{x1})} \left[\frac{1}{T_{1и}^*(x) + \Delta T_1^*(x)} - \frac{1}{T_{1и}^*(x)} \right] - \text{погрешность из-за отличия } T_1^*(x) \text{ от } T_{1и}^*(x) [T_1^*(x) = T_{1и}^*(x) + \Delta T_1^*(x)];$$

$$\Delta_{R_{x1}} \lambda_j^* = \frac{q_{итj}}{2 \pi T_{1j}^*(x)} \left[\frac{1}{R_{x2j} - R_{x1и} - \Delta R_{x1}} - \frac{1}{R_{x2j} - R_{x1и}} \right] - \text{погрешность из-за отличия } R_{x1} \text{ от } R_{x1и} (R_{x1} = R_{x1и} + \Delta R_{x1});$$

$$\Delta_{R_{x2}} \lambda_j^* = \frac{q_{итj}}{2 \pi T_{1j}^*(x)} \left[\frac{1}{R_{x2и} + \Delta R_{x2} - R_{x1j}} - \frac{1}{R_{x2и} - R_{x1j}} \right] - \text{погрешность из-за отличия } R_{x2} \text{ от } R_{x2и} (R_{x2} = R_{x2и} + \Delta R_{x2}).$$

Полученные для компонент соотношения позволяют оценить характеристики введенных компонент, выделить доминанты и определить характеристики полных погрешностей Δa_j^* и $\Delta \lambda_j^*$. Результаты выделения доминант представлены в табл. 1.

1 Результаты выделения доминант

Параметр	V	R_1	x_1	R_{x1}	$q_{ит}$	$T_1^*(x)$	R_{x2}	
Максимальное отклонение, %	δa	10	49,7 1	24,1 4	12,9 9	–	–	–
	$\delta \lambda$	–	–	–	12,7 3	10	12,73	28,6 4

Анализ исходных данных и прямой расчет показывает, что из четырех компонент a доминируют R_1 и x_1 , далее R_{x1} и V .

Для λ доминирует R_{x2} , далее по степени значимости следуют $T_1^*(x)$, R_{x1} и $q_{ит}$.

Полученная информация о доминирующих компонентах и их вкладе в общую погрешность позволяет показать их влияние на результат эксперимента, целенаправленно влияя на источник погрешности.

Список литературы

1 Чернышов А. В. Частотно-импульсный бесконтактный метод неразрушающего контроля ТФХ материалов и изделий // Труды ТГТУ. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2001. Вып. 9. С. 28–33.

образований (уравнений измерений) с последующим разложением погрешности в полную группу составляющих, каждая из которых связана с преобразованием (частью измерительной процедуры), ее порождающим. Подобный подход создает предпосылки для выделения доминирующих компонент в составе полной погрешности определения ТФС, что, в конечном итоге, позволяет осуществить целенаправленное воздействие на источники погрешности.

Для разработанного бесконтактного метода НК ТФС [1], уравнения для определения коэффициентов температуропроводности a и теплопроводности λ имеют следующий вид:

$$a = \frac{V(R_1 - x_1)}{2 \ln \left[\frac{R_{x1}}{R_1} \right]}, \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{q_{\text{ит}}}{2\pi T_1^*(x)[R_{x2} - R_{x1}]}, \quad (2)$$

где V – скорость движения источника и термоприемников относительно исследуемого тела, м/с; R_1 , R_{x1} , R_{x2} – соответственно, заданное и найденные расстояния между центром пятна нагрева и точками контроля температуры, м; x_1 – расстояние между центром пятна нагрева и проекцией точки R_1 на линию движения источника тепла, м; $q_{\text{ит}}$ – мощность источника тепла (лазера), Вт; $T_1^*(x)$ – значение интегральной во времени избыточной температуры в точке на расстоянии R_{x2} от центра пятна нагрева при мощности источника $2q_{\text{ит}}$.

Структура уравнения (1) показывает, что полная погрешность Δa_j^* зависит от точности установления V , R_1 , x_1 , а также от точности измерений R_{x1} . Следовательно,

$$\Delta a_j^* = a_j^* - a_j = \Delta_V a_j^* + \Delta_{R_1} a_j^* + \Delta_{x_1} a_j^* + \Delta_{R_{x1}} a_j^*, \quad (3)$$

где $\Delta_V a_j^* = \frac{\Delta V (R_{1j} - x_{1j})}{2 \ln \left[\frac{R_{x1j}}{R_{1j}} \right]}$ – погрешность, обусловленная отличием V от истинного значения $V_{\text{и}}$, т.е.

$$V = V_{\text{и}} + \Delta V;$$

$$\Delta_{R_1} a_j^* = \frac{V}{2} \left[\frac{R_{\text{ит}} + \Delta R_1 - x_{1j}}{\ln \left[\frac{R_{x1j}}{R_{1\text{и}} + \Delta R_1} \right]} - \frac{R_{1\text{и}} - x_{1j}}{\ln \left[\frac{R_{x1j}}{R_{1\text{и}}} \right]} \right] - \text{погрешность, обусловленная отличием } R_1 \text{ от } R_{1\text{и}} \text{ (} R_1 = R_{1\text{и}} + \Delta R_1 \text{)};$$

$$\Delta_{x_1} a_j^* = - \frac{V \Delta x_1}{2 \ln \left[\frac{R_{x1j}}{R_{1j}} \right]} - \text{погрешность, обусловленная отличием } x_1 \text{ от } x_{1\text{и}} \text{ (} x_1 = x_{1\text{и}} + \Delta x_1 \text{)};$$

$$\Delta_{R_{x1}} a_j^* = \frac{V (R_{1j} - x_{1j})}{2} \left[\frac{1}{\ln \left[\frac{R_{x1\text{и}} + \Delta R_{x1}}{R_{1j}} \right]} - \frac{1}{\ln \left[\frac{R_{x1\text{и}}}{R_{1j}} \right]} \right] - \text{погрешность, обусловленная отличием } R_{x1} \text{ от } R_{x1\text{и}} \text{ (} R_{x1} = R_{x1\text{и}} + \Delta R_{x1} \text{)}.$$

Структура уравнения (2) показывает, что полная погрешность $\Delta \lambda_j^*$ зависит от точности установления $q_{\text{ит}}$, а также от точности измерений $T_1^*(x)$, R_{x1} , R_{x2} . Следовательно,

$$\Delta\lambda_j^* = \Delta_{q_{ит}} \lambda_j^* + \Delta_{T_1^*(x)} \lambda_j^* + \Delta_{R_{x1}} \lambda_j^* + \Delta_{R_{x2}} \lambda_j^*, \quad (4)$$

где $\Delta_{q_{ит}} \lambda_j^* = \frac{\Delta q_{ит}}{2\pi T_{1j}^*(x) [R_{x2j} - R_{x1j}]}$ – погрешность из-за отличия $q_{ит}$ от $q_{ит}^н$ ($q_{ит} = q_{ит}^н + \Delta q_{ит}$);

$\Delta_{T_1^*(x)} \lambda_j^* = \frac{q_{итj}}{2\pi(R_{x2} - R_{x1})} \left[\frac{1}{T_{1и}^*(x) + \Delta T_1^*(x)} - \frac{1}{T_{1и}^*(x)} \right]$ – погрешность из-за отличия $T_1^*(x)$ от $T_{1и}^*(x) [T_1^*(x) = T_{1и}^*(x) + \Delta T_1^*(x)]$;

$\Delta_{R_{x1}} \lambda_j^* = \frac{q_{итj}}{2\pi T_{1j}^*(x)} \left[\frac{1}{R_{x2j} - R_{x1и} - \Delta R_{x1}} - \frac{1}{R_{x2j} - R_{x1и}} \right]$ – погрешность из-за отличия R_{x1} от $R_{x1и}$ ($R_{x1} = R_{x1и} + \Delta R_{x1}$);

$\Delta_{R_{x2}} \lambda_j^* = \frac{q_{итj}}{2\pi T_{1j}^*(x)} \left[\frac{1}{R_{x2и} + \Delta R_{x2} - R_{x1j}} - \frac{1}{R_{x2и} - R_{x1j}} \right]$ – погрешность из-за отличия R_{x2} от $R_{x2и}$ ($R_{x2} = R_{x2и} + \Delta R_{x2}$).

Полученные для компонент соотношения позволяют оценить характеристики введенных компонент, выделить доминанты и определить характеристики полных погрешностей Δa_j^* и $\Delta \lambda_j^*$. Результаты выделения доминант представлены в табл. 1.

1 Результаты выделения доминант

Параметр		V	R_1	x_1	R_{x1}	$q_{ит}$	$T_1^*(x)$	R_{x2}
Максимальное отклонение, %	δa	10	49,7 1	24,1 4	12,9 9	–	–	–
	$\delta \lambda$	–	–	–	12,7 3	10	12,73	28,6 4

Анализ исходных данных и прямой расчет показывает, что из четырех компонент a доминируют R_1 и x_1 , далее R_{x1} и V .

Для λ доминирует R_{x2} , далее по степени значимости следуют $T_1^*(x)$, R_{x1} и $q_{ит}$.

Полученная информация о доминирующих компонентах и их вкладе в общую погрешность позволяет показать их влияние на результат эксперимента, целенаправленно влияя на источник погрешности.

Список литературы

2 Чернышов А. В. Частотно-импульсный бесконтактный метод неразрушающего контроля ТФХ материалов и изделий // Труды ТГТУ. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2001. Вып. 9. С. 28–33.

КАФЕДРА "КРИМИНАЛИСТИКА И ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ПРАВОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ"
УДК 681.2:536.6

С. А. ХАБАРОВ, З. М. СЕЛИВАНОВА, М. М. АНОШИН

**МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ**

При проведении неразрушающего контроля (НК) теплофизических свойств материалов (ТФСМ) с помощью измерительного термозонда, подключенного к микропроцессорному устройству, одним из факторов, значительно влияющим на погрешность НК ТФСМ, является нерациональное размещение термодатчиков в подложке измерительного зонда. При этом искажается истинная информация о температурном поле в подложке. Поэтому разработка методики, заключающейся в оптимальном размещении датчиков в подложке термозонда, способствует повышению точности НК ТФСМ [1].

Традиционно теплофизическое измерение начинается при стабилизации температурного поля в подложке термозонда, поэтому необходимо перед началом измерения определять среднеинтегральное значение температуры в подложке [2].

Измерение температуры подложки осуществляется дифференциальными термопарами (ДТ), расположенными в горизонтальном направлении от нагревателя в точках x_{gi}, x_{gj} : $\Delta T(x, \tau) = T(x_{gj}, \tau) - T(x_{gi}, \tau)$, а разность температур, определяемая ДТ, расположенными в вертикальном направлении от нагревателя, в точках z_{vi}, z_{vj} : $\Delta T(z, \tau) = T(z_{vj}, \tau) - T(z_{vi}, \tau)$, где g, v – номера ДТ [3].

В процессе экспериментов ДТ размещались в подложке зонда на расстоянии одного миллиметра от нагревателя и от края подложки, а расстояние между x_{gi}, x_{gj} и z_{vi}, z_{vj} варьировалось с шагом один миллиметр. Температура при частотно-импульсном тепловом воздействии на исследуемый объект в точках контроля x, z при подаче n -го импульса рассчитывается по известному соотношению теории теплопроводности [4]:

$$T(x, z, \tau) = \frac{QF}{2\pi\lambda} \sum_{i=1}^n \frac{1}{i} \exp\left[-\frac{x^2 + z^2}{4a\Delta\tau l}\right],$$

где F – частота тепловых импульсов, Гц; $\Delta\tau$ – интервал времени между тепловыми импульсами, с; Q – мощность теплового воздействия, Вт; a – коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{с}$; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/мК; n – количество импульсов; τ – время, с.

Тогда разность температур в подложке термозонда в горизонтальном направлении от нагревателя в точках x_{gi}, x_{gj} определяется выражением

$$\Delta T(x_{gi}, \tau) = \frac{QF}{2\pi\lambda\tau} \left[\sum_{l=1}^n \frac{1}{l} \exp\left(-\frac{x^2}{4a\Delta\tau l}\right) - \sum_{l=1}^n \frac{1}{l} \exp\left(-\frac{x_{gi}^2}{4a\Delta\tau l}\right) \right]$$

Аналогично рассчитывается разность температур в вертикальном направлении от нагревателя в точках z_{vi}, z_{vj}

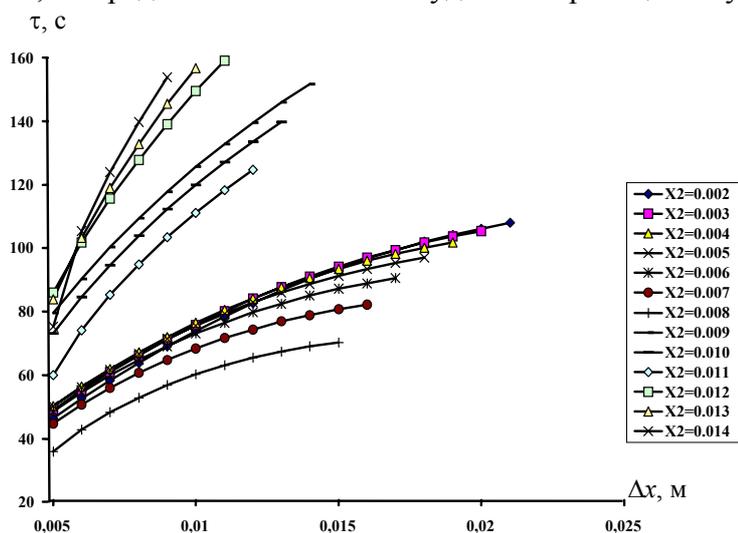
$$\Delta T(z_{vi}, \tau) = \frac{QF}{2\pi\lambda\tau} \left[\sum_{l=1}^n \frac{1}{l} \exp\left(-\frac{z^2}{4a\Delta\tau l}\right) - \sum_{l=1}^n \frac{1}{l} \exp\left(-\frac{z_{vi}^2}{4a\Delta\tau l}\right) \right]$$

Экспериментальным и расчетным путем установлено, что термостабилизация по объему подложки термозонда при помещении его на вспомогательный образец наступает при выполнении неравенств $\Delta T(x, \tau) < T_0$ и $\Delta T(z, \tau) < T_0$, где T_0 – наперед заданное среднеинтегральное значение температуры подложки термозонда, определяющее момент ее термостабилизации. Очевидно, что значение T_0 будет различным для отличающихся по теплопроводности классам исследуемых материалов.

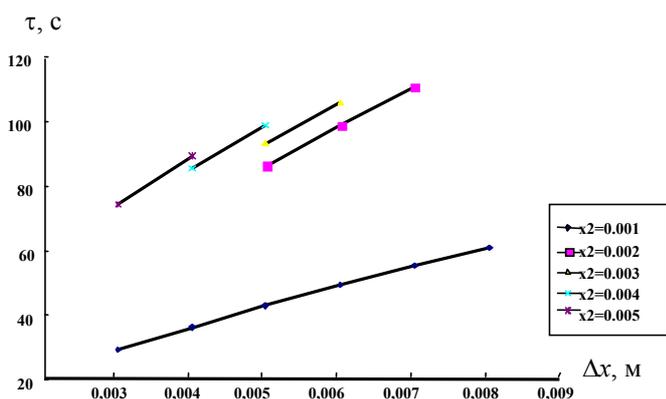
Из данных неравенств находят значение τ_{\max} , при котором выполняются данные неравенства.

Разработана программа расчета максимального времени τ_{\max} достижения разности температур в подложке в указанных выше точках контроля заданной величины T_0 . Данная программа выполнена на

языке программирования "Pascal" и позволяет решить выше указанные неравенства путем подбора значений, с определенной точностью удовлетворяющих ему.



a)



б)

Рис. 1 Графики расчетных зависимостей при расположении ДТ:

a – $\tau_{\max} = f(\Delta x_{gji})$ в горизонтальном направлении от нагревателя;

б – $\tau_{\max} = f(\Delta z_{vji})$ в вертикальном направлении от нагревателя

При выполнении расчетов по определению τ_{\max} расстояние между точками контроля варьировалось с шагом один миллиметр.

При этом, проведены расчеты $\tau_{\max} = f(\Delta x)$ и $\tau_{\max} = f(\Delta z)$, где Δx и Δz – расстояния между точками контроля температуры в подложке термозонда, для подложки, выполненной из рипора, ПММ, газосиликата.

В качестве примера на рис. 1 приведены графики расчетных зависимостей $\tau_{\max} = f(\Delta x_{gji})$ и $\tau_{\max} = f(\Delta z_{vji})$ для подложки из рипора.

Приведенные графики позволяют определить τ_{\max} термостабилизации подложки и соответствующие ему оптимальные расстояния между точками контроля температуры Δx_{gji} и Δz_{vji} , согласно заданному значению T_0 .

Проведены также эксперименты по определению $\Delta T(x_{gji}, \tau)$, $\Delta T(z_{vji}, \tau)$ и τ_{\max} в подложке термозонда, выполненной из вышеуказанных материалов различной теплопроводности.

Таким образом, проведенный анализ расчетных и экспериментальных данных по определению $\Delta T(x_{gji}, \tau)$, $\Delta T(z_{vji}, \tau)$, $\tau_{\max} = f(\Delta x_{gji})$, $\tau_{\max} = f(\Delta z_{vji})$ способствует получению достоверной информации о вышеуказанных параметрах, о температурном поле в подложке термозонда, о выборе оптимального расположения ДТ в подложке термозонда, а, следовательно, уменьшению общей погрешности результатов измерения, как показывают расчеты, на 5 ... 7 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Муромцев Ю. Л., Селиванова З. М. Адаптивное микропроцессорное средство для контроля теплофизических свойств материалов // Проектирование и технология электронных средств. 2002. № 3. С. 44–48.
- 2 Чернышов В. Н., Селиванова З. М. Оперативный метод неразрушающего контроля теплофизических свойств твердых материалов // Вестник ТГТУ. 2002. Т. 8. № 1. С. 79–83.
- 3 Селиванова З. М. Определение оптимального размещения датчиков термозонда для неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов // VII научная конф. ТГТУ: Тез. докл. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2002. С. 100.
- 4 Лыков А. В. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа, 1967. 600 с.

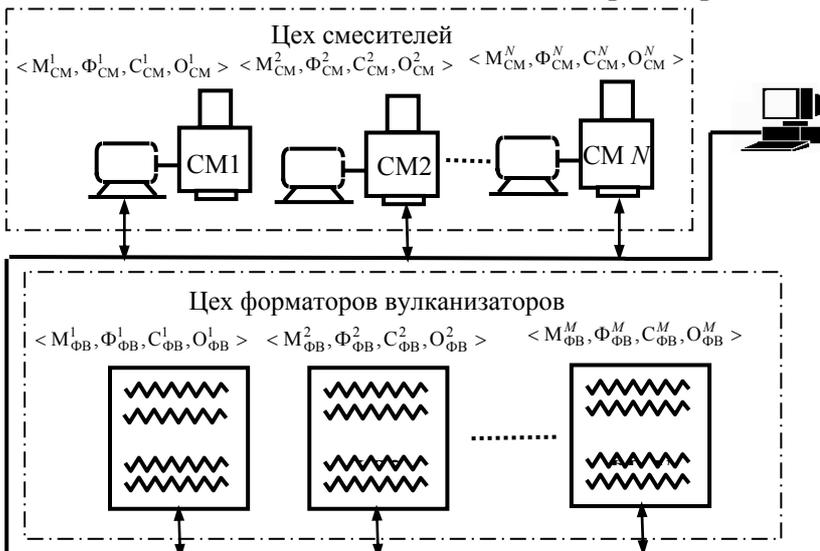
Кафедра "Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем"

УДК 681.5.001.26

Н.А. Кольтюков, А.И. Кольтюкова

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПРОИЗВОДСТВУ И ПЕРЕРАБОТКЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Любое предприятие, занимающееся производством и переработкой полимерных материалов, использует в своей деятельности различное энергоемкое оборудование. Например, основным производственным оборудованием шинных заводов являются смесители и форматоры вулканизаторы. На их долю приходятся основные производственные затраты электроэнергии, помимо этого от их режима функционирования зависит количество брака в готовой продукции. Поэтому для повышения качества продукции и снижения ее себестоимости необходимо использовать принципы оптимального энергосберегающего управления.



На рис. 1 представлен распространенный вариант построение системы оптимального энергосберегающего управления энергоемким оборудованием предприятия, производящего полимерные материалы.

РИС. 1 СИСТЕМА ОПТИМАЛЬНОГО ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ

КАЖДЫЙ ЭНЕРГОЕМКИЙ ОБЪЕКТ ОПИСЫВАЕТСЯ ТАК НАЗЫВАЕМОЙ ЧЕТВЕРКОЙ (ФРЕЙМОМ) ИЗ БАЗЫ ЗНАНИЙ $\langle M_i^j, \Phi_i^j, C_i^j, O_i^j \rangle$, $i \in \{CM, FB\}$, $j = \overline{1, N(M)}$, ГДЕ M – МОДЕЛЬ ОБЪЕКТА, Φ – ФУНКЦИОНАЛ, C – СТРАТЕГИЯ УПРАВЛЕНИЯ, O – ОГРАНИЧЕНИЯ. ОДНАКО ЭНЕРГОЕМКИЕ ОБЪЕКТЫ НА ПРАКТИКЕ ЧАСТО БЫВАЮТ СЛОЖНЫМИ, НАПРИМЕР, В СОСТАВ ТИПОВОГО СМЕСИТЕЛЯ ВХОДЯТ ТРИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА – ГЛАВНЫЙ, СИСТЕМЫ СМАЗКИ И СИСТЕМЫ ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ. КРОМЕ ТОГО, КАЖДЫЙ ИЗ ЭТИХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ИМЕЕТ СВОИ ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ; ТАК КАК, ГЛАВНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОДВЕРЖЕН НЕПРЕРЫВНОМУ ИЗМЕНЕНИЮ НАГРУЗКИ, МОМЕНТ ВКЛЮЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СИСТЕМЫ ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ ЗАВИСИТ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ В СМЕСИТЕЛЬНОЙ КАМЕРЕ И Т.П. (РИС. 2).

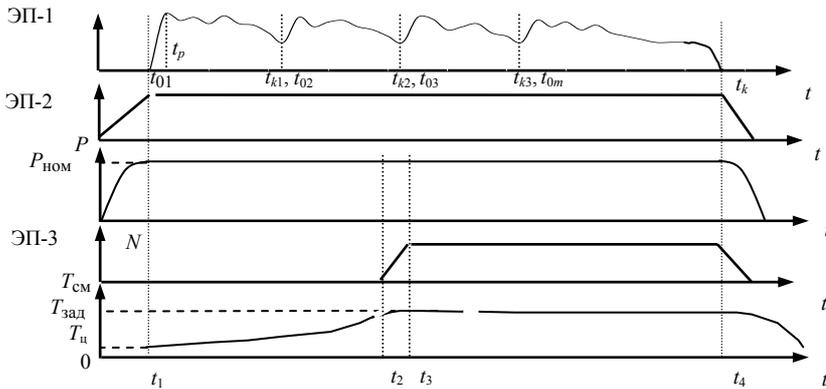


Рис. 2 Циклограмма работы многоприводной установки:

W, N – потребляемые мощности; P – давление масла;

T – температура охлаждающей жидкости; t – время

ЗАДАЧУ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ МНОГОПРИВОДНЫМ ОБЪЕКТОМ МОЖНО ПРЕДСТАВИТЬ В ВИДЕ СОВОКУПНОСТИ ОТДЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ:

• ЭП1:

$$\dot{z} = f_1(z(t), u_{\Gamma 1}(t), w(t), A, B), t \in [t_1, t_4]; \quad (1)$$

$$w_j^{\text{pp}}(t + \Delta t) = \varphi(w_j(t), \psi_j), j = \overline{1, m}, \quad z = (z_1, z_2)^T;$$

$$\forall t \in [t_1, t_4]: u_{\Gamma 1}(t) \in [u_H, u_B], \quad z(t_{0i}) = z^{0i} \rightarrow z(t_{ki}) = z^{ki}, \quad i = \overline{1, m},$$

$$P_M(t_1) \geq P_{\text{НОМ}}, \quad I_{\Gamma 1} = \sum_{i=1}^m \int_{t_{0i}}^{t_{ki}} u^2(t) dt \rightarrow \min_{u_{\Gamma 1}, t_{ki}}$$

• ЭП2:

$$\dot{z} = f_2(z(t), u_M(t), A_2, B_2), \quad t \in [t_0, t_1], \quad z = (z_1, z_2)^T, \quad (2)$$

$$\forall t \in [0, t_1]: u_M(t) \in [u_H, u_B], \quad z(t=0) = 0 \rightarrow z(t_1) = z^k,$$

$$P_M = f_{2a}(z(t), u(t), A_{2a}, B_{2a}) \quad t \in [t_1, t_4],$$

$$\forall t \in [t_1, t_4]: u_M(t) \in [u_H, u_B]; \quad P_M(t) = P_{\text{НОМ}},$$

$$I_M = \int_0^{t_1} u^2(t) dt \rightarrow \min_u$$

• ЭП3:

$$\dot{z} = f_3(z(t), u(t), A_3, B_3) \quad t \in [t_2, t_3], \quad z = (z_1, z_2)^T, \quad (3)$$

$$\forall t \in [t_2, t_3]: u(t) \in [u_H, u_B], \quad z(t_2) = 0 \rightarrow z(t_3) = z^k,$$

$$t_2 = f_{3a}(T_{3ад}, W), \quad T_{3ад\min} \leq T_{3ад}(t_2) \leq T_{3ад\max}, \quad W(t_2) \leq W_{доп},$$

$$T = f_{3б}(z(t), u(t), A_{3б}, B_{3б}), \quad t \in [t_3, t_4],$$

$$\forall t \in [t_3, t_4]: u_{хл}(t) \in [u_H, u_B]; \quad T_{хл}(t) = T_{доп},$$

$$I_{хл} = \int_{t_2}^{t_3} u^2(t) dt \rightarrow \min_u,$$

ГДЕ Z – ВЕКТОР ФАЗОВЫХ КООРДИНАТ; $U_{ГЛ}$, U_M , $U_{ХЛ}$ – УПРАВЛЕНИЕ (СКАЛЯРНОЕ); A , B , A_2 , B_2 , A_3 , B_3 , ψ – ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛЕЙ; P_M – ДАВЛЕНИЕ В СИСТЕМЕ СМАЗКИ; $I_{ГЛ}$, I_M , $I_{ХЛ}$ – МИНИМИЗИРУЕМЫЙ ФУНКЦИОНАЛ; T – ТЕМПЕРАТУРА ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ; W – ВЕЛИЧИНА НАГРУЗКИ НА ЭП1.

ОСОБЕННОСТЬЮ РАБОТЫ ЭП1 СМЕСИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ, ЯВЛЯЮТСЯ ЧАСТЫЕ И ЗНАЧИТЕЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ НАГРУЗКИ НА ПРИВОДНУЮ ЧАСТЬ, ЧТО В СВОЮ ОЧЕРЕДЬ ВЕДЕТ К ПОВЫШЕННЫМ ЭНЕРГОЗАТРАТАМ.

ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ (1) МОДЕЛЬ ОБЪЕКТА, УЧИТЫВАЮЩАЯ НЕПРЕРЫВНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ НАГРУЗКИ, ПРЕДСТАВЛЯЕТСЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ УРАВНЕНИЕМ С РАЗРЫВНОЙ ПРАВОЙ ЧАСТЬЮ В ВИДЕ M СТАДИЙ

$$z = \begin{cases} A_1 z(t) + B_1 [u_{ГЛ}(t) + w_1(t)], & z_j \in [z_j^o, z_j^{n1}], \\ \dots \\ A_m z(t) + B_m [u_{ГЛ}(t) + w_m(t)], & z_j \in [z_j^{nm-1}, z_j^k], \end{cases} \quad (4)$$

и моделью прогнозирования нагрузки

$$w_j^{пр}(t) = \bar{w}_j + \phi_{1j}(w_{t-1} - \bar{w}_j) + \phi_{2j}(w_{t-2} - \bar{w}_j), \quad (5)$$

где z – n -вектор фазовых координат; z_j – компонента z , определяющая границы переключения стадии; z_j^o, z_j^k – начальное и конечное значения z_j ; $A_j, B_j, j = \overline{1, m}$ – матрицы параметров для m стадий; $w_j^{пр}(t)$ – нагрузка на электродвигатель на j -й стадии.

Общий минимизируемый функционал для трех электродвигателей равен сумме функционалов:

$$I_{\Sigma} = I_M(u_M; 0, t_1) + I_{за}(u_{за}, t_{кj}; t_1, t_4) + I_{хл}(u_{хл}, t_2; t_2, t_3) \rightarrow \min_{u_{за}, u_{хл}, u_M, t_2, t_{кj}}. \quad (6)$$

Аналогичным образом описываются другие смесители и форматоры вулканизаторы.

Дальнейшее повышение эффективности функционирования предприятий по производству и переработке полимерных материалов возможно за счет совместного решения задач оптимального энергосберегающего управления энергоемкими объектами и оптимального управления производственными потоками, где производственный поток как объект управления представляется совокупностью технологических процессов, выполняемых для производства продукции в рамках предприятия. Структурная схема производственного потока представлена на рис.3.



Рис. 3 Структура производственного потока предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление.- М.: "Мир", 1974. – 408 с.
2. Файзрахманов Р.А. Концепция иерархической системы управления материальными производственными потоками с учетом влияния факторов среды// Приборы и системы управления. – 2002. – N8.
3. Гаврилов Д.А. Управление производством на базе стандарта MRP II : Принципы и практика / Д.А. Гаврилов.-Санкт-Петербург: Питер, 2002.-340 с.
4. Рябинин Д.Д., Лукач Ю.Е. Смесительные машины для пластмасс и резиновых смесей – М.: "Машиностроение", 1972. – 278 с.

КАФЕДРА «КОНСТРУИРОВАНИЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ И МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ»

УДК 681.5.001.26

Н.А. Кольтюков, А.И.Кольтюкова

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПРОИЗВОДСТВУ И ПЕРЕРАБОТКЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Любое предприятие, занимающееся производством и переработкой полимерных материалов, использует в своей деятельности различное энергоемкое оборудование. Например, основным производственным оборудованием шинных заводов являются смесители и форматоры вулканизаторы. На их долю приходятся основные производственные затраты электроэнергии, помимо этого от их режима функционирования зависит количество брака в готовой продукции. Поэтому для повышения качества продукции и снижения ее себестоимости необходимо использовать принципы оптимального энергосберегающего управления.

На рис. 1 представлен распространенный вариант построение системы оптимального энергосберегающего управления энергоемким оборудованием предприятия, производящего полимерные материалы.

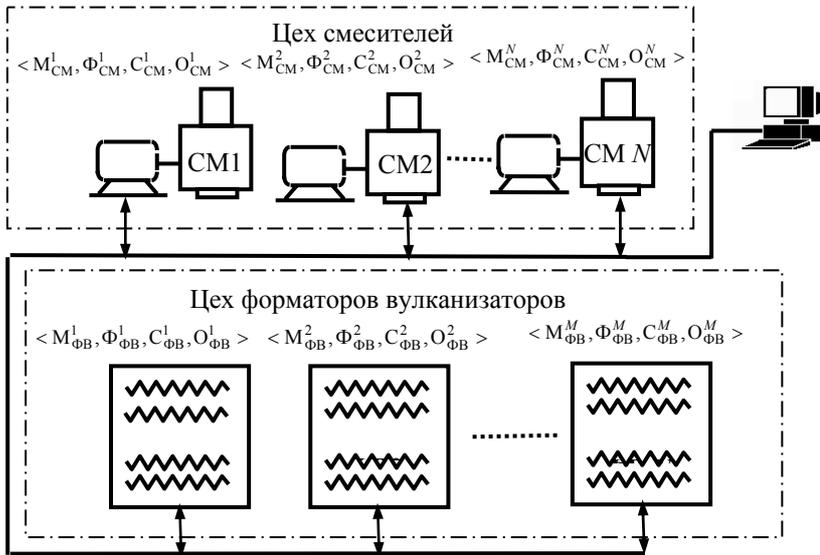


РИС. 1 СИСТЕМА ОПТИМАЛЬНОГО ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ

ЭНЕРГОЕМКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ КАЖДЫЙ ЭНЕРГОЕМКИЙ ОБЪЕКТ ОПИСЫВАЕТСЯ ТАК НАЗЫВАЕМОЙ ЧЕТВЕРКОЙ (ФРЕЙМОМ) ИЗ БАЗЫ ЗНАНИЙ $\langle M_i^j, \Phi_i^j, C_i^j, O_i^j \rangle$, $i \in \{CM, ФВ\}$, $j = \overline{1, N(M)}$, ГДЕ M – МОДЕЛЬ ОБЪЕКТА, Φ – ФУНКЦИОНАЛ, C – СТРАТЕГИЯ УПРАВЛЕНИЯ, O – ОГРАНИЧЕНИЯ. ОДНАКО ЭНЕРГОЕМКИЕ ОБЪЕКТЫ НА ПРАКТИКЕ ЧАСТО БЫВАЮТ СЛОЖНЫМИ, НАПРИМЕР, В СОСТАВ ТИПОВОГО

СМЕСИТЕЛЯ ВХОДЯТ ТРИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА – ГЛАВНЫЙ, СИСТЕМЫ СМАЗКИ И СИСТЕМЫ ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ. КРОМЕ ТОГО, КАЖДЫЙ ИЗ ЭТИХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ИМЕЕТ СВОИ ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ; ТАК КАК, ГЛАВНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОДВЕРЖЕН НЕПРЕРЫВНОМУ ИЗМЕНЕНИЮ НАГРУЗКИ, МОМЕНТ ВКЛЮЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СИСТЕМЫ ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ ЗАВИСИТ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ В СМЕСИТЕЛЬНОЙ КАМЕРЕ И Т.П. (РИС. 2).

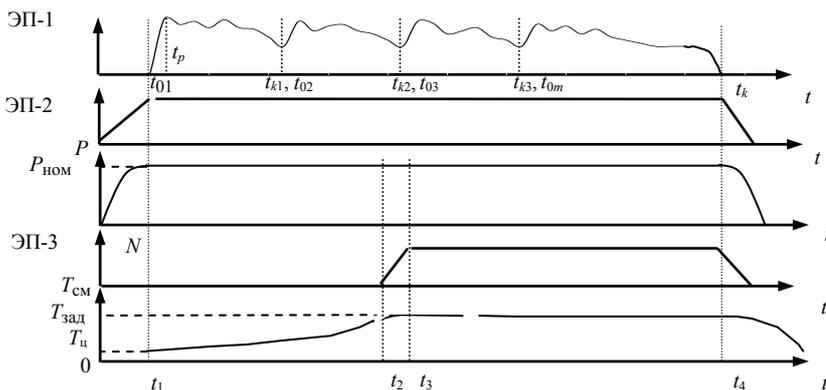


Рис. 2 Циклограмма работы многоприводной установки:

W, N – потребляемые мощности; P – давление масла;
 T – температура охлаждающей жидкости; t – время

ЗАДАЧУ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ МНОГОПРИВОДНЫМ ОБЪЕКТОМ МОЖНО ПРЕДСТАВИТЬ В ВИДЕ СОВОКУПНОСТИ ОТДЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ:

• ЭП1:

$$\dot{z} = f_1(z(t), u_{гп}(t), w(t), A, B), t \in [t_1, t_4]; \quad (1)$$

$$w_j^{пп}(t + \Delta t) = \varphi(w_j(t), \psi_j), j = \overline{1, m}, \quad z = (z_1, z_2)^T;$$

$$\forall t \in [t_1, t_4]: u_{гп}(t) \in [u_n, u_b], \quad z(t_{0i}) = z^{0i} \rightarrow z(t_{ki}) = z^{ki}, \quad i = \overline{1, m},$$

$$P_M(t_1) \geq P_{НОМ}, \quad I_{гп} = \sum_{i=1}^m \int_{t_{0i}}^{t_{ki}} u^2(t) dt \rightarrow \min_{u_{гп}, t_{ki}}$$

• ЭП2:

$$\dot{z} = f_2(z(t), u_M(t), A_2, B_2), \quad t \in [t_0, t_1], \quad z = (z_1, z_2)^T, \quad (2)$$

$$\forall t \in [0, t_1]: u_M(t) \in [u_H, u_B], \quad z(t=0) = 0 \rightarrow z(t_1) = z^k,$$

$$P_M = f_{2a}(z(t), u(t), A_{2a}, B_{2a}) \quad t \in [t_1, t_4],$$

$$\forall t \in [t_1, t_4]: u_M(t) \in [u_H, u_B]; \quad P_M(t) = P_{\text{НОМ}}, \quad I_M = \int_0^{t_1} u^2(t) dt \rightarrow \min_u,$$

• ЭПЗ:

$$\dot{z} = f_3(z(t), u(t), A_3, B_3) \quad t \in [t_2, t_3], \quad z = (z_1, z_2)^T, \quad (3)$$

$$\forall t \in [t_2, t_3]: u(t) \in [u_H, u_B], \quad z(t_2) = 0 \rightarrow z(t_3) = z^k,$$

$$t_2 = f_{3a}(T_{\text{зад}}, W), \quad T_{\text{зад}_{\min}} \leq T_{\text{зад}}(t_2) \leq T_{\text{зад}_{\max}}, \quad W(t_2) \leq W_{\text{доп}},$$

$$T = f_{3b}(z(t), u(t), A_{3b}, B_{3b}), \quad t \in [t_3, t_4],$$

$$\forall t \in [t_3, t_4]: u_{\text{ХЛ}}(t) \in [u_H, u_B]; \quad T_{\text{ХЛ}}(t) = T_{\text{доп}},$$

$$I_{\text{ХЛ}} = \int_{t_2}^{t_3} u^2(t) dt \rightarrow \min_u,$$

ГДЕ Z – ВЕКТОР ФАЗОВЫХ КООРДИНАТ; $U_{\text{ГЛ}}, U_M, U_{\text{ХЛ}}$ – УПРАВЛЕНИЕ (СКАЛЯРНОЕ); $A, B, A_2, B_2, A_3, B_3, \psi$ – ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛЕЙ; P_M – ДАВЛЕНИЕ В СИСТЕМЕ СМАЗКИ; $I_{\text{ГЛ}}, I_M, I_{\text{ХЛ}}$ – МИНИМИЗИРУЕМЫЙ ФУНКЦИОНАЛ; T – ТЕМПЕРАТУРА ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ; W – ВЕЛИЧИНА НАГРУЗКИ НА ЭПЗ.

ОСОБЕННОСТЬЮ РАБОТЫ ЭПЗ СМЕСИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ, ЯВЛЯЮТСЯ ЧАСТЫЕ И ЗНАЧИТЕЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ НАГРУЗКИ НА ПРИВОДНУЮ ЧАСТЬ, ЧТО В СВОЮ ОЧЕРЕДЬ ВЕДЕТ К ПОВЫШЕННЫМ ЭНЕРГОЗАТРАТАМ.

ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ (1) МОДЕЛЬ ОБЪЕКТА, УЧИТЫВАЮЩАЯ НЕПРЕРЫВНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ НАГРУЗКИ, ПРЕДСТАВЛЯЕТСЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ УРАВНЕНИЕМ С РАЗРЫВНОЙ ПРАВОЙ ЧАСТЬЮ В ВИДЕ M СТАДИЙ

$$z = \begin{cases} A_1 z(t) + B_1 [u_{\text{ГЛ}}(t) + w_1(t)], & z_j \in [z_j^o, z_j^{n1}], \\ \dots \\ A_m z(t) + B_m [u_{\text{ГЛ}}(t) + w_m(t)], & z_j \in [z_j^{nm-1}, z_j^k], \end{cases} \quad (4)$$

и моделью прогнозирования нагрузки

$$w_j^{\text{пр}}(t) = \bar{w}_j + \phi_{1j}(w_{t-1} - \bar{w}_j) + \phi_{2j}(w_{t-2} - \bar{w}_j), \quad (5)$$

где z – n -вектор фазовых координат; z_j – компонента z , определяющая границы переключения стадии; z_j^o, z_j^k – начальное и конечное значения z_j ; $A_j, B_j, j = \overline{1, m}$ – матрицы параметров для m стадий; $w_j^{\text{пр}}(t)$ – нагрузка на электродвигатель на j -й стадии.

Общий минимизируемый функционал для трех электродвигателей равен сумме функционалов:

$$I_{\Sigma} = I_M(u_M; 0, t_1) + I_{\text{ГЛ}}(u_{\text{ГЛ}}, t_k; t_1, t_4) + I_{\text{ХЛ}}(u_{\text{ХЛ}}, t_2; t_2, t_3) \rightarrow \min_{u_{\text{ГЛ}}, u_{\text{ХЛ}}, u_M, t_2, t_k}. \quad (6)$$

Аналогичным образом описываются другие смесители и форматоры вулканизаторы.

Дальнейшее повышение эффективности функционирования предприятий по производству и переработке полимерных материалов возможно за счет совместного решения задач оптимального энергосберегающего управления энергоемкими объектами и оптимального управления производственными потоками, где производственный поток как объект управления представляется совокупностью технологических процессов, выполняемых для производства продукции в рамках предприятия. Структурная схема производственного потока представлена на рис. 3.

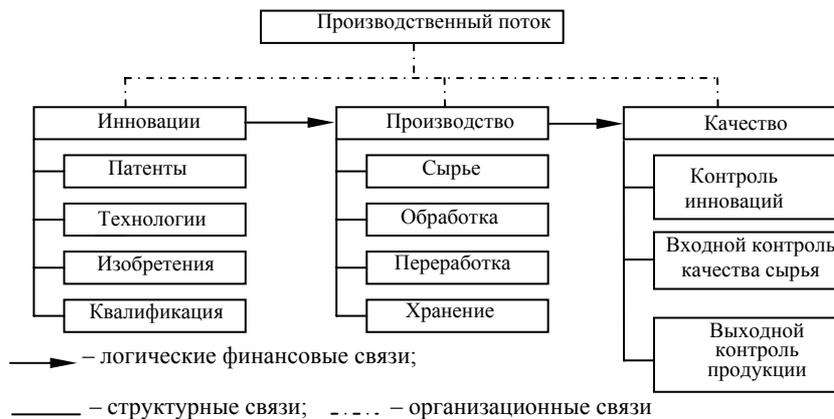


Рис. 3 Структура производственного потока предприятия
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. М.: Мир, 1974. 408 с.
- 2 Файзрахманов Р. А. Концепция иерархической системы управления материальными производственными потоками с учетом влияния факторов среды // Приборы и системы управления. 2002. № 8.
- 3 Гаврилов Д. А. Управление производством на базе стандарта MRP II: Принципы и практика / Д. А. Гаврилов. СПб.: Питер, 2002. 340 с.
- 4 Рябинин Д. Д., Лукач Ю. Е. Смесительные машины для пластмасс и резиновых смесей. М.: Машиностроение, 1972. 278 с.

КАФЕДРА "КОНСТРУИРОВАНИЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ И МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ"

УДК 681.5.08:536:3

О. А. БЕЛОУСОВ*

**ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И
 МОНИТОРИНГА НА БАЗЕ MINIWEBSERVER**

ОДНИМ ИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ УДАЛЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ И МОНИТОРИНГА ЯВЛЯЕТСЯ СОЗДАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УДАЛЕННОГО ДОСТУПА. ПРИ ВНЕДРЕНИИ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ УДАЛЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ ОСНОВНЫМ СДЕРЖИВАЮЩИМ ФАКТОРОМ ЯВЛЯЕТСЯ ОТСУТСТВИЕ ДЕШЕВЫХ СИСТЕМ

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. Ю. Л. Муромцева.

ТЕМ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ (СМИУ), КОТОРЫЕ ПОЗВОЛЯЮТ ОПЕРАТИВНО В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ КОРРЕКТИРОВАТЬ АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ШИРОКОГО КЛАССА ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИИ В РАЗЛИЧНЫХ СИТУАЦИЯХ.

ВО МНОГИХ СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ НЕ ПРЕДУСМОТРЕНА ВОЗМОЖНОСТЬ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ С МИНИМУМОМ ЗАТРАТ ЭНЕРГИИ, А ТАКЖЕ АВТОМАТИЧЕСКАЯ ПЕРЕНАСТРОЙКА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ СОСТОЯНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТА. ИССЛЕДОВАНИЯ ПОКАЗЫВАЮТ, ЧТО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ, РЕАЛИЗУЮЩИХ ФУНКЦИЮ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ И НАГРЕВАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ ПОЗВОЛЯЕТ СНИЗИТЬ ЗАТРАТЫ ЭНЕРГИИ В ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМАХ НА 15 ... 30 % [1].

Следует отметить, что динамичное развитие телекоммуникационных средств связи, широкого внедрения *Internet*-технологий открывает

новые возможности и перспективы развития подобных систем мониторинга и управления. Важным компонентом всех систем мониторинга и управления является программное обеспечение [2] с наличием графического интерфейса, работающим с электронными базами данных.

В общем случае создание СМиУ является комплексной задачей, включающей в себя как разработку структуры системы, так и средств программного и технического обеспечения.

В статье представлена структура СМиУ на базе устройства *MiniWebServer (MWS) IPC@CHIP* (фирмы – *BECK IPC GmbH*). Эти чипы спроектированы для коммуникаций, автоматизации офиса, массового хранения, промышленного управления, сбора данных, преобразования протоколов, мониторинга процессов и связи через *Ethernet*. Технические характеристики *MWS*: тактовая частота 20 МГц, до 1 Мб внутренней памяти (512 Кб – ОЗУ, 512 Кб – флэш), 6 × 256-байтовое пространство ввода/вывода, CMOS с источником питания пять вольт, четырнадцать программируемых портов ввода-вывода, два асинхронных последовательных порта, позволяющих дуплексную семи, восьми или девяти битовую пересылку данных, порты способны установить связь с сигналами *CTS*, *RTS*, *ENRX* и *RTR*, независимые генераторы частоты последовательных портов, *DMA* в последовательные порты и из них, *Ethernet* контроллер для *IEEE 80.2.3*, *10Base-T*, интегрированный *10Base-T* приемопередатчик, с автоопределением полярности и коррекции, возможностью обратной связи для диагностики, приемник и цепь подавления коллизий для уменьшения шумов, встроенные резисторы для *10Base-T* приложений, сторожевой таймер с возможностью демодуляции по ширине импульса, сброса регистра конфигурации, программируемый контроллер прерываний (до шести внешних и восьми внутренних прерываний), программируемая память и разъем для подключения внешних чипов.

В *MWS* интегрировано программное обеспечение, которое включено в *BIOS*. Состав программного обеспечения: операционная система реального времени (*RTOS*), способная выполнять несколько обычных DOS-приложений, полный стек *TCP/IP* и интерфейсы для взаимодействия *UDP* и *TCP* разъемов, *DHSP*-клиент, *FTP*-сервер, *WEB*-сервер (*http*), с возможностью использования *CGI* и *API* ввода/вывода, *PPP*-сервер, *time*-клиент, *email*-клиент, *telnet*- сервер и многое другое.

В сравнении с микроконтроллерами 80C186/188, *MWS* позволяет уменьшить размеры, потребление энергии и стоимость внедряемых систем, параллельно увеличивая их надежность, функциональность и производительность.

Возможности применения *MWS* очень разнообразны: простые системы, сложные автоматизированные системы и *fieldbus* системы. Многие устройства контроля и управления могут быть соединены с *MWS* и подключены к *Ethernet*. Для визуализации данных может использоваться *WEB*-браузер, а *Java*-программа на *HTML*-странице может легко обновлять значения. Для этого необходимо подключить чип к источнику питания и к *Ethernet*.

Умеренная цена и легкость удаленного управления, использование новых технологий, такие как *hand-held-PC* или мобильные телефоны с *WEB*-браузерами, открывают новые возможности создания автоматизированных систем.

Созданная информационная СМиУ используется как для проведения исследований при решении задач оптимального управления и автоматизации динамических объектов в реальном времени, так и

для учебных целей. Данная система позволяет в режиме удаленного доступа проводить сквозной цикл работ по моделированию и проектированию автоматических СМиУ динамическими объектами.

Система выполняет следующие функции: регистрация информации в реальном времени, преобразование полученной информации и передачи ее через *Ethernet* к пользователю в виде *html* страницы, прием полученной информации от пользователя и производить управление объектом, поддержание диалога с человеком – оператором через *WEB* интерфейс.

В СООТВЕТСТВИИ С ЭТИМ СТРУКТУРА ДАННОЙ СИСТЕМЫ (СМ. РИС. 1) ВКЛЮЧАЕТ СЛЕДУЮЩИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ БЛОКИ: MWS MINIWEBSERVER, ZILA 100 МИКРОПРОЦЕССОРНОЕ УСТРОЙСТВО, ЦИФРОВОЙ РЕГУЛЯТОР, УПРАВЛЯЕМЫЙ С MWS.

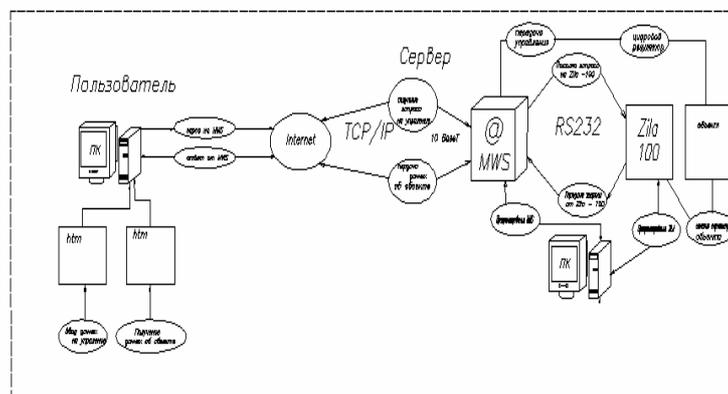


РИС. 1 СТРУКТУРНАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И КОНТРОЛЯ СМиУ

Программное обеспечение СМиУ разработано для операционной системы реального времени *RTOS* на языке *C++* для *DOS* приложений. СМиУ для пользователя представляет собой *HTTP*-соединение, в котором при использовании любого браузера, например *Microsoft Internet Explorer*, в строке адреса указывается *IP* адрес *MWS* и в окне браузера открывается главная страница, с интегрированным набором функций по управлению и мониторингу объекта, имитационным и натурным моделированием, сбором и обработкой информации, полученной от *MWS*.

Данная информационная система существенно расширяет возможности для моделирования автоматических систем управления и мониторинга за состоянием объектом, а также позволяет проводить на реальном объекте многократное снятие экспериментальных кривых при различных условиях функционирования, анализ электромагнитных помех, разработку и испытание различных алгоритмов фильтрации сигналов, натурное моделирование оптимального управления в соответствии с полученным алгоритмом и выбранной стратегией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Муромцев Ю. Л., Орлова Л. П. Информационные технологии в проектировании энергосберегающих систем управления динамическими режимами: Учеб. пособ. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. унта, 2000. 84 с.
- 2 Муромцев Ю. Л., Орлова Л. П., Муромцев Д. Ю. Информационные технологии энергосберегающего управления динамическими режимами: Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2000. № 7. С. 13–16.

В. Н. Дякин

Задача об оптимальном ИСПОЛЬЗОВАНИИ ресурсов предприятия с учетом инвестиций

КЛАССИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕСУРСОВ ПРЕДПРИЯТИЯ С ЦЕЛЬЮ МАКСИМИЗАЦИИ ПРИБЫЛИ [1, С. 19] НЕ ОТВЕЧАЕТ СОВРЕМЕННЫМ ЭКОНОМИЧЕСКИМ РЕАЛИЯМ ПО РЯДУ ПРИЧИН:

1 ОБЪЕМ ПРОДАЖ ПРОДУКЦИИ ОГРАНИЧЕН КАК СНИЗУ, ТАК И СВЕРХУ. ЭТО СВЯЗАНО С ТЕМ, ЧТО НА КАКОМ-ЛИБО ВРЕМЕННОМ ИНТЕРВАЛЕ ВСЕГДА ЕСТЬ ОГРАНИЧЕНИЕ НА МАКСИМАЛЬНЫЙ ОБЪЕМ СБЫТА. ОНО ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ ЕМКОСТЬЮ РЫНКА ТОГО ИЛИ ИНОГО ПРОДУКТА.

2 ИСХОДЯ ИЗ ТОГО, ЧТО ОБЪЕМ ПРОДАЖ ПРОДУКТА ОГРАНИЧЕН "СВЕРХУ", СЛЕДУЕТ, ЧТО И ОБЪЕМ ПРОИЗВОДСТВА ДАННОГО ПРОДУКТА ОГРАНИЧЕН. ПОЭТОМУ ДЛЯ ЕГО ПРОИЗВОДСТВА НЕ ПОТРЕБУЕТСЯ РЕСУРСОВ В ОБЪЕМЕ, БОЛЬШЕМ, ЧЕМ НЕОБХОДИМО ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МАКСИМАЛЬНОГО ОБЪЕМА, ОПРЕДЕЛЯЕМОГО ИЗ ЕМКОСТИ РЫНКА СБЫТА. ТОГДА МОЖНО ОТМЕТИТЬ, ЧТО РАСХОД КАКОГО-ЛИБО РЕСУРСА НА ОПРЕДЕЛЕННОМ ВРЕМЕННОМ ИНТЕРВАЛЕ ТАКЖЕ ОГРАНИЧЕН "СВЕРХУ" И "СНИЗУ" В СООТВЕТСТВИИ С МАКСИМАЛЬНОЙ И МИНИМАЛЬНОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОГРАММОЙ. ОДНАКО ЕСЛИ РАССМАТРИВАТЬ КОНКРЕТНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ, ОБЛАДАЮЩЕЕ К НАЧАЛУ ГОРИЗОНТА ПЛАНИРОВАНИЯ НЕКОТОРЫМИ ЗАПАСАМИ РЕСУРСОВ, ТО НИЖНЯЯ ГРАНИЦА ВЕКТОРА РЕСУРСОВ b БУДЕТ НЕ НУЛЕВОЙ (СООТВЕТСТВУЮЩЕЙ НУЛЕВОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОГРАММЕ), А НЕКОТОРОЙ b_n .

3 ДЛЯ ТОГО, ЧТОБЫ УВЕЛИЧИТЬ ЗАПАС РЕСУРСА СВЕРХ ТОГО, КОТОРЫМ ОБЛАДАЛО ПРЕДПРИЯТИЕ НА НАЧАЛО ГОРИЗОНТА ПЛАНИРОВАНИЯ, ПОТРЕБУЮТСЯ ИНВЕСТИЦИОННЫЕ ВЛОЖЕНИЯ. ИНВЕСТИЦИИ, В СВОЮ ОЧЕРЕДЬ, УМЕНЬШАЮТ ВЕЛИЧИНУ ПРИБЫЛИ ПРЕДПРИЯТИЯ, ТО ЕСТЬ НАПРЯМУЮ ВЛИЯЮТ НА ЦЕЛЕВУЮ ФУНКЦИЮ, УМЕНЬШАЯ ЕЕ.

МАТЕМАТИЧЕСКУЮ МОДЕЛЬ ЗАДАЧИ, УЧИТЫВАЮЩУЮ ВЫШЕСКАЗАННОЕ, МОЖНО ПРЕДСТАВИТЬ В СЛЕДУЮЩЕМ ВИДЕ. ЦЕЛЕВАЯ ФУНКЦИЯ ПРИБЫЛИ ПРЕДПРИЯТИЯ

$$Q = \left[\sum_{i=1}^n p_i x_i - I(b_n, b_k) \right] \rightarrow \max, \quad (1)$$

где Q – общая прибыль предприятия; n – число планируемых к выпуску продуктов; p_i – прибыль от единицы i -го продукта; x_i – объем продаж i -го продукта; b_n – вектор начального запаса ресурсов предприятия; b_k – вектор конечного запаса ресурсов предприятия; $I(b_n, b_k)$ – инвестиций на увеличение вектора запасов ресурсов предприятия от b_n до b_k .

При этом $Q \geq 0$, т.е. накладывается условие, что предприятие приносит прибыль. Система ограничений имеет вид

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n a_{ij} x_i \leq b_{kj}, & j = 1, 2, \dots, m; \\ x_{i \max} \geq x_i \geq 0, & i = 1, 2, \dots, n, \end{cases} \quad (2)$$

при этом b_{kj} лежит в пределах $b_{j \max} \geq b_{kj} \geq b_{ij}$, где a_{ij} – расход j -го ресурса на производство единицы i -го продукта; m – число ресурсов, необходимых для производства n продуктов; $x_{i \max}$ – максимальный объем продаж i -го продукта; $b_{j \max}$ – максимальный расход j -го ресурса, определяемый из условия выполнения максимальной производственной программы (x_{\max}); b_{ij} – начальный запас j -го ресурса; b_{kj} – конечный запас

j -го ресурса, максимизирующий прибыль предприятия.

ТАКИМ ОБРАЗОМ, ТРЕБУЕТСЯ МАКСИМИЗИРОВАТЬ ОБЩУЮ ПРИБЫЛЬ ПРЕДПРИЯТИЯ, ОПРЕДЕЛИТЬ ОБЪЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА, ИЗМЕНЕНИЯ ЗАПАСОВ РЕСУРСОВ ПРЕДПРИЯТИЯ И НЕОБХОДИМЫЕ ИНВЕСТИЦИОННЫЕ ЗАТРАТЫ, СВЯЗАННЫЕ С УВЕЛИЧЕНИЕМ ЗАПАСОВ РЕСУРСОВ ОТНОСИТЕЛЬНО НАЧАЛЬНЫХ.

Рассмотрим конкретный пример поставленной задачи.

Задача 1. Пусть планируются к продаже два продукта: x_1 и x_2 . Целевая функция имеет вид $Q = 10x_1 + 15x_2 - I$. Вектор начального запаса ресурсов $b_n = (4000, 7000, 4000)$. Система ограничений

$$\begin{cases} 250x_1 + 150x_2 \leq b_1; \\ 350x_1 + 250x_2 \leq b_2; \\ 100x_1 + 200x_2 \leq b_3; \\ 0 \leq x_1 \leq 20; \\ 0 \leq x_2 \leq 30. \end{cases}$$

Тогда вектор максимально допустимого расхода ресурсов $b_{\max} = (9500, 14500, 8000)$.

Пусть увеличение запаса ресурса 1 на 100 единиц потребует инвестиций в размере $\Delta I_1 = 5$, ресурса 2 на 100 единиц – $\Delta I_2 = 3$, ресурса 3 на 100 единиц – $\Delta I_3 = 6$. Тогда для выполнения максимальной производственной программы, требующей вектор запаса ресурсов b_{\max} , необходимы инвестиции в размере: $I(b_n, b_{\max}) = 275 + 225 + 240 = 740$. Целевая функция примет вид: $Q = 10x_1 + 15x_2 - 740$.

НА РИС. 1 ПРЕДСТАВЛЕНЫ ТРИ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТА ВЗАИМНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ СИСТЕМЫ ОГРАНИЧЕНИЙ И ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ:

1 Вариант для $Q_{\min}, L1_{\min}, L2_{\min}, L3_{\min}$. Он соответствует "минимальному" вектору расхода ресурсов $b_n = (4000, 7000, 4000)$. При этом величина инвестиций в увеличение запаса ресурсов $I(b_n, b_n) = 0$. Тогда целевая функция имеет вид: $Q_{\min} = 10x_1 + 15x_2$.

2 Вариант для $Q_{\max}, L1_{\max}, L2_{\max}, L3_{\max}$. Он соответствует "максимальному" вектору расхода ресурсов $b_{\max} = (9500, 14500, 8000)$. При этом величина инвестиций в увеличение запаса ресурсов $I(b_n, b_{\max}) = 740$. Тогда целевая функция имеет вид: $Q_{\max} = 10x_1 + 15x_2 - 740$.

3 Вариант для $Q', L1', L2', L3'$. Данный вариант является промежуточным между первым и вторым ("минимальным" и "максимальным" или "безинвестиционным" и вариантом с максимальными инвестициями в увеличение запаса ресурсов предприятия). При этом $b'_k = (6000, 10000, 5000)$, величина инвестиций $I(b_n, b'_k) = 100 + 90 + 60 = 250$, целевая функция имеет вид $Q' = 10x_1 + 15x_2 - 250$.

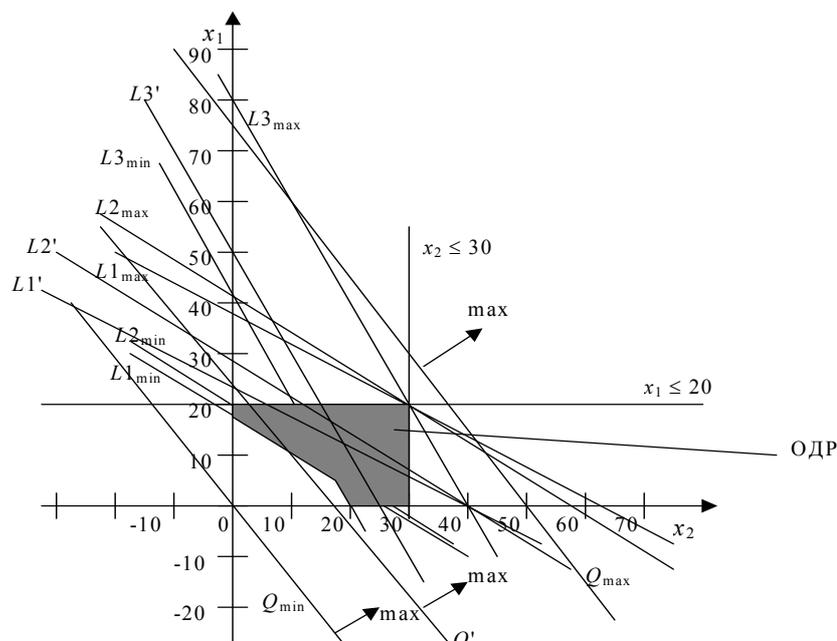


Рис. 1 Графическая иллюстрация решения задачи 1:
 $L1, L2, L3$ – ограничения на максимальный расход ресурсов;
 Q – целевая функция; $x_1 \leq 20$ и $x_2 \leq 30$ – максимальный выпуск продукции;
ОДР – область изменения расположения допустимых решений задачи оптимизации

Как видно из рис. 1 область допустимых решений варьируется в пределах области ОДР. Нижняя ее граница соответствует "минимальному" варианту вектора запасов ресурсов b_n , а верхняя – максимальному b_{max} . При решении задачи оптимизации прямая, соответствующая целевой функции Q , смещается в направлении, указанном на рисунке, т.е. вправо – вверх. При этом, как видно из рисунка, для вариантов Q_{min} и Q' указанные прямые лежат ниже верхней границы области допустимых решений, соответствующей данным вариантам, т.е. решение задачи оптимизации существует. Однако, для варианта Q_{max} прямая, соответствующая целевой функции, выходит за верхний край области допустимых решений. Таким образом, решения задачи оптимизации не существует.

Далее, как видно из рис. 1, максимальное значение Q для варианта Q' больше, чем для варианта Q_{min} . Нетрудно заметить, что и вариант Q' не самый оптимальный (есть постановки задачи, для которых $Q^* \geq Q'$).

Таким образом, возникает задача определения такого варианта b_k^* и соответствующего ему значения целевой функции $Q_{min} < Q^* < Q_{max}$, при котором оптимальное решение будет существовать и при этом являться максимальным среди всех допустимых решений.

Решения такой задачи можно добиться, используя поисковые методы, например метод Нелдера-Мида [2, с. 42–49]. При этом:

- за переменные выбираются конкретные варианты вектора запасов ресурсов b_k ;
- пределы изменения переменных ограничены векторами b_n и b_{max} для каждого из интервалов времени;
- значение целевой функции определяется путем решения задачи (1)–(2) для каждого из интервалов времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ В ЭКОНОМИКЕ / ПОД РЕД. Н. Ш. КРЕМЕРА. М.: БАНКИ И БИРЖИ, ЮНИТИ, 1997. 407 С.
- 2 БАНДИ Б. МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ. ВВОДНЫЙ КУРС: ПЕР. С АНГЛ. М.: РАДИО И СВЯЗЬ, 1988. 128 С.

Кафедра "Информационные процессы и управление"

УДК 681.3.068

С. Я. Егоров, М. С. Громов, С. П. Майоров

**СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАЗМЕЩЕНИЯ
ОБОРУДОВАНИЯ И ТРАССИРОВКИ ТРУБОПРОВОДОВ
В ЦЕХАХ АНГАРНОГО ТИПА**

При проектировании химических производств в цехах ангарного типа возникает необходимость в оптимальном расположении оборудования и оптимальной конфигурации трубопроводных сетей на основе различных критериев оптимальности.

Задача размещения оборудования рассматривается как оптимизационная задача с ограничениями. Основными и наиболее важным критерием оптимальности является: капитальные затраты в виде суммарной стоимости трубопроводных сетей, устройств для транспортировки веществ и производственная площадь.

Ограничениями являются: указания на места, где должны располагаться те или иные аппараты, ограничения по габаритам цеха, размещение группы аппаратов в ряд, размещение аппаратов друг под другом, ограничения по высоте размещения и пр.

Задача трассировки формулируется как задача многокритериальной оптимизации. Ее точное решение затруднительно. Одним из эффективных методов упрощения решения и получения результатов, приемлемых для конструктора при наличии многих показателей, является метод последовательной субоптимизации. Это наиболее удобный путь, позволяющий решить задачу проектирования с помощью не связанных между собой моделей исследования операций. Эффективность решения задачи зависит от взаимного учета критериев, по которым производится проектирование на отдельных этапах, и от точности математической модели проектируемых узлов.

Основные проблемы трассировки обусловлены сложностью составления программ алгоритмов и большими затратами машинного времени. Задача одновременной оптимизации всех соединений при трассировке пока не имеет алгоритмического решения, а перебор всех вариантов трассировки невозможен. Поэтому используются в основном методы локальной оптимизации трассировки, когда трасса оптимальна лишь на данном шаге при наличии ранее проведенных трасс.

Для решения задачи необходимо также проведение вспомогательных расчетов (гидравлические расчеты, тепловые и прочностные) с определением режима транспортировки, диаметров трубопроводов, времени транспортировки, создание необходимого избыточного давления в аппаратах и т.д.

Эти расчеты особенно важны при проектировании малотоннажных многоассортиментных производств, так как в них на одной технологической схеме выпускается одновременно несколько продуктов и необходимо точно знать время загрузки сырья в аппараты, выгрузки готовой продукции, промежуточной транспортировки реакционной массы. Оптимально рассчитав эти величины для конкретного случая, можно экономично распределить время обслуживания аппаратов и время использования аппаратов одной технологической схемы для получения различных продуктов.

Все перечисленные задачи можно решить при помощи новой системы, разработанной на кафедре ГАПС Тамбовского государственного технического университета. Система представляет собой пакет программ, которые разрабатывались отдельно и решали узкую специализированную задачу и потом были объединены. Таким образом, система позволяет решать задачи размещения оборудования, трассировки технологических коммуникаций в цехах ангарного типа.

Система предоставляет следующие возможности:

- 1) выбора оборудования из базы данных (БД);
- 2) задания связей оборудования;
- 3) ручного размещения оборудования;
- 4) автоматизированного размещения оборудования;
- 5) ручной трассировки трубопроводов;
- 6) автоматизированной трассировки трубопроводов;
- 7) создания пространственной модели размещенного оборудования и трубопроводов;
- 8) автоматического создания пространственной модели цеха и металлоконструкций;
- 9) сохранения проекта в БД и его последующего редактирования;
- 10) добавление оборудования в БД пользователем.

Базы данных оборудования содержат чертежи в формате DWF (рис. 1).

Пространственная модель создается в формате DXF, т.е. поддерживается средой AutoCAD (рис. 2).

Для автоматизированного размещения оборудования используется метод, основанный на алгоритме покоординатного спуска, преобразованный для случая дискретной оптимизации. Суть метода заключается в последовательном перемещении каждой единицы оборудования в пространстве последовательно по трем координатам в положительном и отрицательном направлении. В случае, если при перемещении оборудования значение критерия ухудшилось, то происхо-

дит возврат. Возврат также происходит, если при перемещении объектов нарушается хотя бы одно из наложенных ограничений. Перемещение оборудования производится на величину шага, который дробится в случае, если при перемещении каждой единицы оборудования во всех направлениях не происходит улучшения. Оптимизация заканчивается в случае, когда при шаге меньшем или равном минимальному, не происходит улучшения критерия. По завершении оптимизации пользователь имеет возможность ручной корректировки.

При трассировке трубопроводов в автоматическом режиме проводится максимально возможное число трасс. В то же время пользователь может создать свою трассу или выбрать из предложенных программой вариантов.

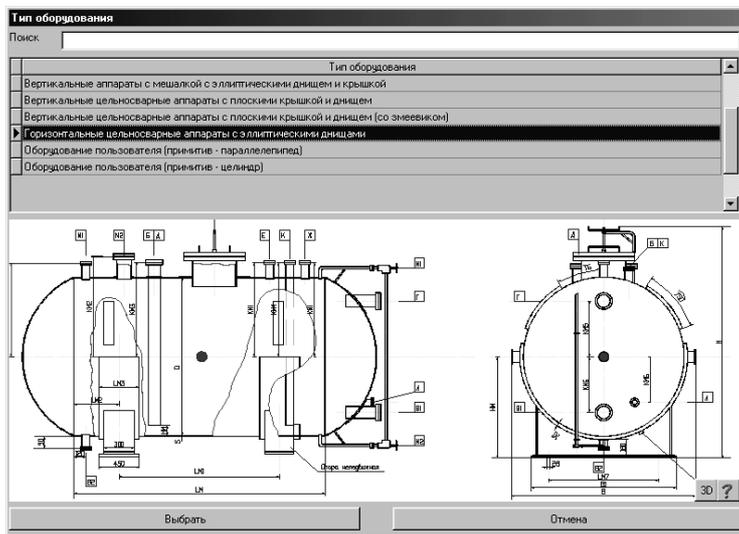


Рис. 1 Чертежи в формате DWF

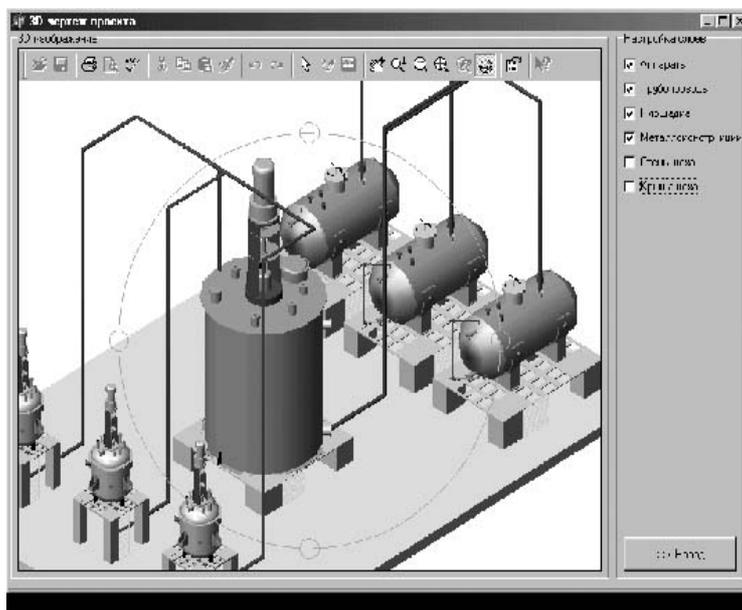


Рис. 2 Пространственная модель в формате DXF

Алгоритм трассировки включает этапы:

- определение порядка проведения трасс;
- разделение области проведения на каналы;
- проведение различных вариантов трасс;
- выбор из множества трасс, трассы удовлетворяющей всем ограничениям и критериям оптимальности.

Программа реализована на языке программирования Borland Delphi 5.0 и имеет следующие минимальные требования для работы:

- системная среда: Windows 9x, NT, 2000, XP;
- необходимое программное обеспечение: BDE 5.x или выше, VoloView 2.x или выше, Autodesk Whip.

УДК 681.5.08:536:5

Д. В. ГОРЕЛКИН, В. Н. ГРОШЕВ

МИКРОПРОЦЕССОРНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Микроконтроллеры (МК) – это универсальные приборы, применение которых в электронных устройствах самого различного назначения постоянно расширяется. Разработкой и производством МК занимаются почти все крупные и многие средние фирмы, специализирующиеся в области полупроводниковой электроники. Современные МК объединяют в своем корпусе мощное процессорное ядро, запоминающие устройства для хранения выполняемой программы и данных, устройства приема входных и формирования выходных сигналов, многочисленные вспомогательные узлы. Общая тенденция современного "микроконтроллеростроения" – уменьшение числа внешних элементов, необходимых для нормальной работы. В результате, довольно сложные по выполняемым функциям приборы нередко удается выполнить всего на одной микросхеме. Постоянное удешевление МК и расширение функциональных возможностей снизило порог сложности устройств, которые целесообразно строить на их основе. Сегодня имеет смысл конструировать на МК даже такие приборы, для реализации которых традиционными методами потребовалось бы не менее десятка логических микросхем средней и малой степени интеграции.

На основе микроконтроллера фирмы ATME1 было разработано микропроцессорное устройство, которое позволяет управлять такими объектами, как электронагреватели, электродвигатели и получать и обрабатывать входную информацию с датчиков этих объектов. В зависимости от внутренней программы можно реализовывать алгоритмы ПИД-регулирования, энергосберегающего регулирования и т.д.

Микропроцессорный контроллер предназначен для проведения комплекса лабораторных работ в составе АРМ, а также при проектировании энергосберегающих регуляторов, ПИД-регуляторов для инженеров-конструкторов. Возможно использование контроллера в системах автоматизированного регулирования САР и автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) с различной структурой, в системах измерения температуры, давления, веса, в контрольном технологическом оборудовании АСУ ТП. Для управления технологическим процессом, несколько контроллеров, каждый из которых привязан к объекту управления, могут объединяться в сеть по промышленному интерфейсу RX-485.

Контроллер представляет собой функционально законченное изделие с внутренней программой, настройка которой на конкретный объект управления может производиться с помощью клавиатуры контроллера или с персональной ЭВМ.

Контроллер имеет: четыре клавиши оперативного управления; один жидкокристаллический индикатор для отображения технической переменной, а также для индикации (по выбору) задания переменной, поданной на технологический вход, выходного сигнала и коэффициента настройки и параметров регулятора; светодиодные индикаторы режимов работы; последовательный интерфейс RS-232.

Контроллер имеет два гальванически изолированных от цифровой части аналоговых входа. Входные каналы контроллера могут принимать без дополнительных преобразователей следующие аналоговые сигналы:

- 1) унифицированный аналоговый сигнал (0 ... 5 мА, 0 ... 20 мА, 4 ... 20 мА) по ГОСТ 26.011-80;
- 2) сигналы термопар любой градуировки по ГОСТ Р 50431-92;
- 3) сигналы термометра сопротивления (подключение по трех и четырех проводной схеме (с применением внешнего усилителя)) по ГОСТ Р 50431-92; 50353-92.

Структурная схема контроллера приведена на рис. 1.

Контроллер состоит из трех модулей: блок центрального процессора (БЦП), блок периферийных устройств (БПУ) и блок клавиатуры и индикации (БКИ).

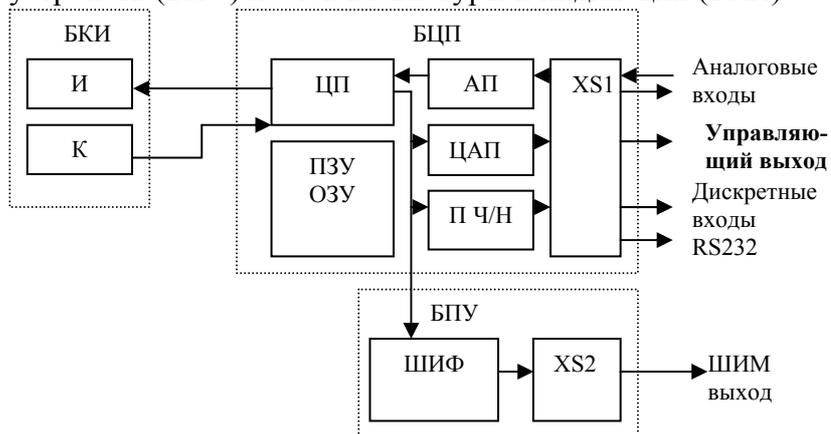


Рис. 1 Структурная схема контроллера

БКИ содержит жидкокристаллический индикатор и единичные индикаторы (И) для отображения текущего состояния регулятора, клавиатуру (К) для оперативного управления и задания коэффициентов настроек контроллера.

В основе модуля (БЦП) лежит однокристалльная микроЭВМ фирмы ATMEЛ семейства AT89. Данные микроЭВМ получили широкое распространение ввиду своей невысокой стоимости и многофункциональности.

В состав микроконтроллера входит центральный процессор (ЦП), внутреннее энергонезависимое постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), внутреннее оперативное запоминающее устройство (ОЗУ). К микроконтроллеру могут быть подключены внешнее постоянное запоминающее устройство и внешнее оперативное запоминающее устройство. Система команд микроконтроллеров семейств AT89 содержит 111 команд [2].

Периферийный модуль содержит процессор обработки аналогового сигнала (АП), аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), преобразователь напряжение-частота (П Ч/Н), широтно-импульсный формирователь (ШИФ), разъем ХР для подключения входных и выходных сигналов а также для связи с БЦП.

ДЛЯ МИКРОПРОЦЕССОРНОГО КОНТРОЛЛЕРА РАЗРАБОТАНЫ СЛЕДУЮЩИЕ ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА:

1 ПРОГРАММА "РЕГУЛЯТОР", ПОЗВОЛЯЕТ ПРОИЗВОДИТЬ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПУТЕМ УМЕНЬШЕНИЯ И УВЕЛИЧЕНИЯ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПРИ ПОМОЩИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КЛАВИШ "+" И "-", РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ОТЛАДОЧНОЙ ПЛАТЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА.

2 ПРОГРАММА "СЧЕТЧИК" – ПОЗВОЛЯЕТ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ ПРОИЗВОДИТЬ СНЯТИЕ ЗНАЧЕНИЙ, ЭКВИВАЛЕНТНЫХ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ, С ИНТЕРВАЛОМ СЧЕТА 0,2 С. ДЛЯ ЭТОГО РАЗРАБОТАН И СКОНСТРУИРОВАН ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ "УГОЛ-КОД", ПРЕДСТАВЛЯЮЩИЙ СОБОЙ ОПТОПАРУ ИЗ ФОТОТРАНЗИСТОРА И СВЕТОИЗЛУЧАТЕЛЯ, РАСПОЛОЖЕННЫЙ НА ВАЛУ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ОБЛАДАЕТ ДОСТАТОЧНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ И ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТЬЮ ПО КАНАЛУ ИЗМЕРЕНИЯ, ЧТО НЕМАЛОВАЖНО ПРИ СНЯТИИ ЗНАЧЕНИЙ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ ПРИ МИНИМАЛЬНЫХ ОБОРОТАХ ДВИГАТЕЛЯ. ДАННЫЙ ДАТЧИК ВЫДАЕТ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ИМПУЛЬСОВ, ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ЗНАЧЕНИЮ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ, БЛАГОДАря ЧЕМУ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ ЕГО СОПРЯЖЕНИЕ С ЦИФРОВОЙ ЧАСТЬЮ КОНТРОЛЛЕРА.

3 ПРОГРАММА ДЛЯ РАБОТЫ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ ПОРТОМ КОМПЬЮТЕРА (RS-232), ПОЗВОЛЯЮЩАЯ ПРОИЗВОДИТЬ ОБМЕН ДАННЫМИ ЛАБОРАТОРНОГО КОНТРОЛЛЕРА ЛК-3000 С ПЭВМ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ. ПОЛУЧЕНЫ ДАННЫЕ О СОСТОЯНИИ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА, О ЗНАЧЕНИЯХ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ, ЧТО ПОЗВОЛЯЕТ ПРОИЗВОДИТЬ ОПЕРАТИВНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ НЕПОСРЕДСТВЕННО ВО ВРЕМЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА. ДЛЯ ЭТОГО РАЗРАБОТАН МОДУЛЬ СОПРЯЖЕНИЯ ИНТЕРФЕЙСА КОНТРОЛЛЕРА С ИНТЕРФЕЙСОМ ПЕРСОНАЛЬНОГО КОМПЬЮТЕРА ИСПОЛЬЗУЮЩИЙ ПРОТОКОЛ RS-232, ДАННЫЙ МОДУЛЬ ПРЕДСТАВЛЯЕТ СОБОЙ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННУЮ МИКРОСХЕМУ MAX232 ВКЛЮЧЕННУЮ ПО СТАНДАРТНОЙ СХЕМЕ.

4 ПОДПРОГРАММА ИНДИКАЦИИ СОСТОЯНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА – ПОЗВОЛЯЕТ ОТОБРАЖАТЬ НА ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ ИНДИКАТОРЕ СОСТОЯНИЕ КОНТРОЛЛЕРА, А ТАКЖЕ СКОРОСТЬ ВРАЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ.

5 ПРОГРАММА, РЕАЛИЗУЮЩАЯ ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА. РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДИЛСЯ В ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЕ [3].

6 ПРОГРАММА УПРАВЛЕНИЯ ВУЛКАНИЗАТОРОМ – ПОЗВОЛЯЕТ РЕАЛИЗОВАТЬ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ НАГРЕВ ПЛАСТИН ВУЛКАНИЗАТОРА ДО ЗАДАННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, А ТАКЖЕ ЗАДАВАТЬ ВРЕМЕННОЙ ИНТЕРВАЛ ПРОЦЕССА ВУЛКАНИЗАЦИИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 СТАШИН В. В., УРУСОВ А. В., МОЛОГОНЦЕВА О. Ф. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ НА ОДНОКРИСТАЛЬНЫХ МИКРОКОНТРОЛЛЕРАХ. М.: ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ, 1990.

2 ГРЕБНЕВ. В. В. ОДНОКРИСТАЛЬНЫЕ МИКРОЭВМ СЕМЕЙСТВА AT89 ФИРМЫ ATMEL. СПБ., 1998.

3 Муромцев Ю. Л., Орлова Л. П., Капитонов И. Е. Экспертная система "Энергосберегающее управление динамическими объектами". Общие сведения // Вестник ТГТУ. 1995. Т. 1. № 3–4. С. 221–226.

КАФЕДРА "КОНСТРУИРОВАНИЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ"

УДК 621:681.306

*Р. А. Губанов**

ПРОГРАММА СИНТЕЗА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ДВУХСТАДИЙНЫМИ ПРОЦЕССАМИ

В [1] рассматривался модуль экспертной системы применительно к объектам первого и второго порядков. В настоящей статье даны краткие сведения о программе синтеза энергосберегающего управления на примере двухстадийного объекта, которая обеспечивает требуемую точность стыковки значений фазовых координат в точке переключения.

При решении задачи оптимального управления (ЗОУ) с использованием двухстадийных моделей сначала используется модель первого, а затем второго порядков и разрывы параметров вектора фазовых координат не допустимы.

ИСХОДЯ ИЗ ТРЕБОВАНИЙ К ТОЧНОСТИ СТЫКОВКИ ФАЗОВЫХ КООРДИНАТ ПРИ ПЕРЕХОДЕ ОТ ОДНОЙ СТАДИИ К ДРУГОЙ, РАССМОТРИМ ДВА СЛУЧАЯ СИНТЕЗА ОУ. В ПЕРВОМ СЛУЧАЕ РАЗРЫВЫ ПО ПЕРВОЙ И ВТОРОЙ ФАЗОВЫМ КООРДИНАТАМ В ТОЧКЕ СТЫКОВКИ НЕ ДОПУСКАЮТСЯ, ВО ВТОРОМ – ВВОДИТСЯ ДОПУСТИМОЕ ЗНАЧЕНИЕ РАЗРЫВА ПО ВТОРОЙ ФАЗОВОЙ КООРДИНАТЕ.

ДЛЯ ПЕРВОГО СЛУЧАЯ, КОГДА НА ПЕРВОЙ СТАДИИ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ МОДЕЛЬ ПЕРВОГО ПОРЯДКА, – АПЕРИОДИЧЕСКОЕ ЗВЕНО (А), А НА ВТОРОЙ – ВТОРОГО, – РЕАЛЬНЫЙ ДВОЙНОЙ ИНТЕГРАТОР (АИ), УСЛОВИЯ ЗОУ ИМЕЮТ ВИД:

$$z = \begin{cases} \dot{z}_1^{(1)} = a^{(1)}z_1^{(1)}(t) + b^{(1)}u(t), & z_1^{(1)} \in [z_1^0, z_1^n]; \\ \dot{z}_1^{(2)} = z_2^{(2)}(t); \\ z_2^{(2)} = a^{(2)}z_1^{(2)}(t) + b^{(2)}u(t), & z_1^{(2)} \in [z_1^n, z_1^k], \end{cases} \quad (1)$$

$$z_1^{(1)}(t_0) = z_1^0, \quad z_1^k(t_k) = z_1^k, \quad z_2^k(t_k) = z_2^k, \quad (2)$$

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. Ю. Л. Муромцева.

$$z_1^{(2)}(t_n) = z_1^{(1)}(t_n), \quad z_2^{(2)}(t_n) = a^{(1)}z_1^{(1)}(t_n) + b^{(1)}u(t_n), \quad (3)$$

$$\forall t \in [t_0, t_k]: \quad u(t) \in [u_n, u_b], \quad (4)$$

$$J_3^1 = \int_{t_0}^{t_k} u^2(t) dt \rightarrow \min_{u, t_n}, \quad (5)$$

здесь $z_1^{(1)}$ – фазовая координата модели на первой стадии; $z_1^{(2)}, z_2^{(2)}$ – фазовые координаты модели на второй стадии; J_3^1 – минимизируемый функционал затрат энергии в первом случае.

При синтезе оптимального управления должны в точке переключения $z_1^{(1)} = z_1^{(2)}$ выполняться условия непрерывности для первой и второй фазовой координаты и начальные условия для второй стадии будут иметь вид, приведенный в формуле (3).

При расчете оптимальной программы значение варьируемого параметра t_n^* определяется методом динамического программирования, а управления для частных задач получаются с помощью принципа максимума и метода синтезирующих переменных [2].

Во втором случае дополнительно к варьируемым параметрам добавляются значения z_1^{n*}, z_2^{n*} . Здесь допускается незначительное рассогласование для второй фазовой координаты, т.е. в точке переключения стадий должно выполняться условие

$$|z_2^{(2)}(t_n) - z_1^{(1)}(t_n)| \leq \Delta z_2, \quad (6)$$

где Δz_2 – допустимый разрыв по второй фазовой координате.

Начальные условия и минимизируемый функционал для второй стадии в этом случае по аналогии с (3), (5) запишутся следующим образом:

$$z_2^{(2)}(t_n) = a_1^{(1)}z_1^{(1)}(t_n) + b_1^{(1)}u(t_n) \pm |\Delta z_2|, \quad (7)$$

$$J_3^2 = \int_{t_0}^{t_k} u^2(t) dt \rightarrow \min_{u, t_n, z_1^n, z_2^n}, \quad (8)$$

где J_3^2 – минимизируемый функционал затрат энергии во втором случае.

Очевидно, что значения функционалов в первом и во втором случаях могут различаться, при этом

$$J_3^2 \leq J_3^1. \quad (9)$$

Программа синтеза энергосберегающего управления многостадийными процессами как модуль экспертной системы разработана на основе объектно-ориентированной среды программирования на языке Delphi 5 в операционной системе Windows 2000. Реализация экспертной системы в Windows обеспечивает ее дальнейшее развитие за счет модульной организации архитектуры, подключения новых программных модулей и фреймов базы знаний без перекомпиляции всей системы.

Рассмотрим пример решения ЗОУ

$$\begin{cases} \dot{z}_1^{(1)} = -0,15z(t) + 0,6u(t), & z_1^{(1)} \in [20, 40]; \\ \dot{z}_1^{(2)} = z_2^{(2)}(t); \\ \dot{z}_2^{(2)} = -0,1z_1^{(2)}(t) + 0,5u(t), & z_1^{(2)} \in [40, 70], \end{cases}$$

$$z_1^{(1)}(t_0) = z_1^0 = 20; \quad z_1^n(t_n) = 40; \quad z_1^k(t_k) = 70,$$

$$\forall t \in [0; 12,6], \quad u(t) \in [-20; 20],$$

$$J_3 = \int_0^{12,6} u^2(t) dt \rightarrow \min$$

для двух случаев.

В табл. 1 дается сравнение значений минимизируемых функционалов в обоих случаях с числом итераций для z_i^n равным 10. Энергозатраты во втором случае на 6,6 % ниже.

1 Сравнение значений минимизируемых функционалов

Значения функционала	Первый случай	Второй случай
		1003,75
Значения времени переключения	4,7 ± 0,5	4,7 ± 0,5
Значения первой фазовой координаты в точке переключения	40	40 ± 1
Значения второй фазовой координаты в точке переключения	6	6 ± 0,5

Разработанный программный модуль расширяет функциональные возможности экспертной системы. С его помощью можно решать ЗОУ для объектов, которые не допускают разрывов по первой и второй фазовым координатам.

В новом модуле предусмотрено два случая решения ЗОУ, которые обеспечивают требуемую точность при стыковке фазовых координат. Рассмотренные варианты позволяют значительно сократить объем вычислений и повысить точность решения задачи.

Список литературы

- 1 Губанов Р. А., Фролов Д. А. Новая версия Экспертной системы для решения задач энергосберегающего управления // Компьютерная хроника. 2001. № 5. С. 81–84.
- 2 Муромцев Д. Ю., Муромцев Ю. Л., Орлова Л. П. Синтез энергосберегающего управления многостадийными процессами комбинированным методом // Автоматика и телемеханика. 2002. № 3. С. 169–178.

Кафедра "Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем"

УДК 681.2:389

*П. С. АЛЬБИЦКИЙ, Е. В. МОРОЗОВА**

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
АНАЛОГОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ

МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ НАДЕЖНОСТЬ – ЭТО СВОЙСТВО ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ (ИС) СОХРАНЯТЬ ВО ВРЕМЕНИ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ (МХ) В ПРЕДЕЛАХ УСТАНОВЛЕННЫХ НОРМ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ В ЗАДАННЫХ РЕЖИМАХ И УСЛОВИЯХ ХРАНЕНИЯ, ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ, Т.Е. МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ НАДЕЖНОСТЬ ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ ХАРАКТЕРОМ И ТЕМПОМ ИЗМЕНЕНИЯ НОРМИРУЕМЫХ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК.

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. Т. И. Чернышовой.

Для решения задачи оценки и прогнозирования состояния МХ проектируемых ИС используется метод, основанный на построении математической модели исследуемой метрологической характеристики с применением статистического моделирования [1]. Точность и достоверность полученных при этом результатов во многом определяются степенью адекватности построенных математических моделей МХ.

Математическая модель процесса изменения во времени МХ исследуемого ИС есть совокупность аналитических зависимостей, полученных для функций изменения во времени математического ожидания $M_S(t)$ и функций, характеризующих изменение во времени границ отклонения возможных значений МХ от ее математического ожидания:

$$\psi_{\pm\sigma}(t) = M_S(t) \pm c\sigma_S(t), \quad (1)$$

где c – коэффициент, зависящий от закона распределения и заданной доверительной вероятности $P_{\text{зад}}$ ($c=3$ для нормального закона распределения и $P_{\text{зад}} = 0,997$); $\sigma_S(t)$ – изменение во времени среднеквадратического отклонения исследуемой МХ.

Статистическое моделирование, в свою очередь, опирается на соответствующие экспериментальные данные о характеристиках составляющих ИС элементов, включая их зависимость от условий эксплуатации и времени.

Конечным результатом проведенного моделирования состояния исследуемой МХ ИС в различных временных сечениях области контроля есть совокупность данных, характеризующих изменение во времени среднего значения (математического ожидания) $M_S(t)$ МХ и разброс реализаций случайного процесса изменения МХ около ее среднего значения $\psi_{\pm\sigma}(t)$. Полученные таким образом данные об изменении во времени МХ в некоторой области контроля используются для решения задачи прогнозирования метрологической исправности ИС в любой момент времени предстоящей эксплуатации и показателей метрологической надежности.

Одним из важнейших этапов реализации рассмотренного метода оценки состояния МХ ИС является построение аппроксимирующих функций (1), описывающих поведение МХ во времени.

Как показывает анализ экспериментальных данных об изменении во времени МХ различных измерительных устройств, приведенный в [2], в качестве основных математических моделей процессов старения могут быть рекомендованы: линейная, экспоненциальная, логарифмическая или полиномиальная зависимости.

Наиболее простой моделью является линейная

$$S(t) = a_0 + a_1 t, \quad (2)$$

где a_0 и a_1 – коэффициенты, составляющие соответственно начальное значение исследуемой МХ и скорость ее изменения во времени.

ОДНАКО, АППРОКСИМАЦИЯ ЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛЬЮ ДОПУСТИМА ЛИШЬ В ПРЕДЕЛАХ НЕБОЛЬШИХ ИНТЕРВАЛОВ РАБОТЫ, ПОЭТОМУ ДЛЯ ИС ПРИ ДЛИТЕЛЬНЫХ СРОКАХ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ НАИБОЛЕЕ ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫ НЕЛИНЕЙНЫЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ СТАРЕНИЯ МХ, А ИМЕННО:

- экспоненциальные

$$S(t) = a_0 \exp(a_1 t), \quad (3)$$

- логарифмические

$$S(t) = \ln(a_0 + a_1 t), \quad (4)$$

где a_0 и a_1 – постоянные коэффициенты,

- полиномиальные

$$S(t) = \sum_{\mu=0}^p a_{\mu} t^{\mu}, \quad (5)$$

где a_μ и $\mu = 0, \dots, \rho$ – постоянные коэффициенты.

ПРИ РЕШЕНИИ КОНКРЕТНОЙ ЗАДАЧИ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ИС НЕОБХОДИМО ВЫБРАТЬ СООТВЕТСТВУЮЩИЙ ВИД АППРОКСИМИРУЮЩЕЙ ЗАВИСИМОСТИ.

КОЭФФИЦИЕНТЫ ВЫБРАННОГО ВИДА МОДЕЛИ МОГУТ БЫТЬ ОПРЕДЕЛЕНЫ ПО МЕТОДУ НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ ИЗ УСЛОВИЯ

$$\sum_{i=1}^k [S'(t_i) - S(t_i)]^2 = \min, \quad (6)$$

ГДЕ $S'(t_i)$ – ЗНАЧЕНИЕ МХ В ТОЧКАХ ОБЛАСТИ КОНТРОЛЯ T_1 , $t_i \in T_1$, $i = 1, 2, \dots, k$; $S(t_i)$ – ЗНАЧЕНИЕ АППРОКСИМИРУЮЩЕЙ ФУНКЦИИ В ТОЧКАХ ОБЛАСТИ КОНТРОЛЯ T_1 .

ПРОВЕДЕНО ИССЛЕДОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗАВИСИМОСТЕЙ (2)–(5) ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ ВО ВРЕМЕНИ МХ ТИПОВЫХ АНАЛОГОВЫХ БЛОКОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ ПРОЦЕССОРНЫХ ИС, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛОВ.

РАССМОТРИМ ВЫБОР ВИДА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИЗМЕНЕНИЯ ВО ВРЕМЕНИ МХ НА ПРИМЕРЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ УСИЛИТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА (УПТ), КОТОРЫЙ ВХОДИТ В ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КАНАЛ ИС И ПРЕДНАЗНАЧЕН ДЛЯ СОГЛАСОВАНИЯ АМПЛИТУДЫ СИГНАЛА, СНИМАЕМОГО С ТЕРМОПАРЫ, С ДИАПАЗОНОМ АНАЛОГОВО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ.

В качестве исходных данных для определения коэффициентов аппроксимирующей функции использовались результаты статистического моделирования относительной погрешности исследуемого блока. Искомые коэффициенты зависимостей (2)–(5) найдены с помощью программного пакета *Advanced Grapher* 1.6. Точность аппроксимации оценивалась среднеквадратичным отклонением (СКО), вычисляемым по формуле

$$\sigma_S = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (S_j - S'_j)^2}, \quad (7)$$

где N – число временных сечений; S'_j – значение МХ в j -м временном сечении; S_j – значение аппроксимирующей функции в момент времени t_j .

В табл. 1 приведены результаты исследования линейной, экспоненциальной и полиномиальной зависимостей для описания составляющих математической модели изменения во времени относительной погрешности УПТ $M_S(t)$, $\psi_{\pm\sigma}(t)$. Результаты исследования логарифмической зависимости исключены из анализа, так как использование такой зависимости в рассматриваемой задаче дает высокую погрешность аппроксимации.

1 Результаты исследований

Вид аппроксимирующей функции	Линейная	Экспоненциальная	Полиномы		
			второй степени	третьей степени	четвертой степени
Значения СКО для $M_S(t)$	$6,27 \cdot 10^{-4}$	$4,54 \cdot 10^{-4}$	$1,75 \cdot 10^{-4}$	$4,39 \cdot 10^{-5}$	$3,13 \cdot 10^{-5}$
Значения СКО для	$8,62 \cdot 10^{-4}$	$6,15 \cdot 10^{-4}$	$2,27 \cdot 10^{-4}$	$4,82 \cdot 10^{-5}$	$3,99 \cdot 10^{-5}$

$\Psi_{+\sigma}(t)$					
Значения СКО для $\Psi_{-\sigma}(t)$	$3,93 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$1,24 \cdot 10^{-4}$	$4,16 \cdot 10^{-5}$	$2,34 \cdot 10^{-5}$

АНАЛИЗ ПРИВЕДЕННЫХ ДАННЫХ ПОКАЗЫВАЕТ, ЧТО ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МХ ИССЛЕДУЕМОГО АНАЛОГОВОГО БЛОКА ИС ЦЕЛЕСООБРАЗНО ИСПОЛЬЗОВАТЬ ПОЛИНОМИАЛЬНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ВИДА (5). ПОДОБНЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ СПРАВЕДЛИВЫ И ДЛЯ ДРУГИХ ИССЛЕДУЕМЫХ АНАЛОГОВЫХ БЛОКОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ ПРОЦЕССОРНЫХ ИС. СТЕПЕНЬ ПОЛИНОМА (5) ВЫБИРАЕТСЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МХ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Мищенко С. В., Цветков Э. И., Чернышова Т. И. Метрологическая надежность измерительных средств. М.: Машиностроение-1, 2001. 96 с.
- 2 Екимов А. В., Ревяков М. И. Надежность средств электроизмерительной техники. Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1986. 208 с.

Кафедра "Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем"

УДК 681.5.001.26.

Н. Г. Чернышов, В. В. Орлов, Д. А. Бобаков

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ СЧЕТЧИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ

В энергоемких отраслях промышленности остро стоят вопросы оптимизации производственных процессов и оптимального управления ими по энергетическим показателям. В связи с этим одной из доминирующих задач является создание систем управления на базе простых и дешевых микропроцессорных устройств, способных в реальном времени синтезировать оптимальное управляющее воздействие по критерию минимума затрат энергии. Применение подобных систем в промышленности позволит не только сократить энергозатраты на 5 ... 30 %, но и в ряде случаев продлить срок эксплуатации технологического оборудования, а также повысить качество выпускаемой продукции [1, 2].

Неотъемлемой частью подобных систем являются счетчики электроэнергии, позволяющие получать информацию по затратам энергии в каждый дискретный момент времени.

Измерение затрат электроэнергии до недавнего времени сводилось к применению электромеханических счетчиков. Принцип их работы основан на подсчете количества оборотов металлического диска, вращающегося в магнитном поле, образованном двумя магнитами. Развитие электроники наметило прорыв в области создания систем контроля расхода электроэнергии, который связан с использованием преобразователей энергия-частота и микроконтроллеров.

Расчет энергии, потребляемой за определенный промежуток времени любой нагрузкой, требует интегрирования текущих значений активных мощностей в течение всего времени измерения. В цифровых счетчиках необходимо реализовать постоянное суммирование вычисленной величины активной мощности за определенные промежутки времени.

Расчет энергозатрат за определенный промежуток времени выражается формулой

$$W = \int_0^T p(t) dt, \quad (1)$$

где $p(t)$ – мгновенная мощность в момент времени t ; T – время измерения.

При синусоидальной форме тока и напряжения в сети

$$p(t) = u(t) i(t) = U_m \sin \omega t I_m \sin(\omega t + \varphi) = UI \cos \varphi = UI \cos(2\omega t + \varphi), \quad (2)$$

где $p(t)$ – мгновенная мощность, Вт; $u(t)$ и $i(t)$ – мгновенные значения напряжения и тока в сети, соответственно; U_m и I_m – амплитудные значения напряжения и тока в сети, соответственно; U и I – действующие значения напряжения и тока в сети, соответственно; φ – сдвиг фаз между током и напряжением.

Интегрирование выражения (2) по периоду дает значение активной потребляемой мощности

$$S = UI \cos \varphi, \quad (3)$$

где $S = UI$ – полная мощность потребления.

При этом реактивная составляющая определяется следующим образом:

$$Q = UI \sin \varphi. \quad (4)$$

Для вычисления любых мощностей P , Q , S в цифровых счетчиках необходимо измерять любые два значения из четырех величин P , Q , S , φ . Это принципиально невозможно реализовать в электромеханическом счетчике электрической энергии из-за их конструктивных особенностей.

Таким образом, значение энергии W может быть получено, согласно формуле (1), следующим образом:

$$W = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N U_i I_i, \quad (5)$$

где $N = \frac{f_D}{f_C}$ – количество отсчетов в одном периоде измеряемого сигнала; f_D – частота дискретизации; f_C – частота сети.

Точность измерения растет с увеличением частоты дискретизации, что, в свою очередь, ведет к усложнению программного обеспечения, поскольку обработка производится в реальном времени.

Наиболее просто реализовать цифровой счетчик на базе преобразователя энергия-частота.

В простейшем случае цифрового счетчика, когда требуется измерение числа импульсов, вывод информации на дисплей и защита при аварийных сбоях напряжения питания, система может быть построена, например, на базе микроконтроллера *AT89C52-20JC* [3].

На рис. 1 приведена структурная схема цифрового счетчика электрической энергии. Сигналы, пропорциональные значениям напряжения и тока в сети, поступают через соответствующие датчики на входы преобразователя энергия-частота *CS5460A* [4]. С ее выхода снимается частотный сигнал, поступающий на вход микроконтроллера. Микроконтроллер накапливает количество пришедших импульсов, преобразовывая его для получения значения энергии в Вт · ч. По мере накопления каждого Вт · ч, значение накопленной энергии выводится на дисплей и записывается в РПЗУ. Если происходит сбой, временное исчезновение напряжения сети, информация о накопленной энергии сохраняется в РПЗУ. После восстановления питающего напряжения эта информация считывается микроконтроллером, выводится на индикатор, и счет продолжается с этой величины.

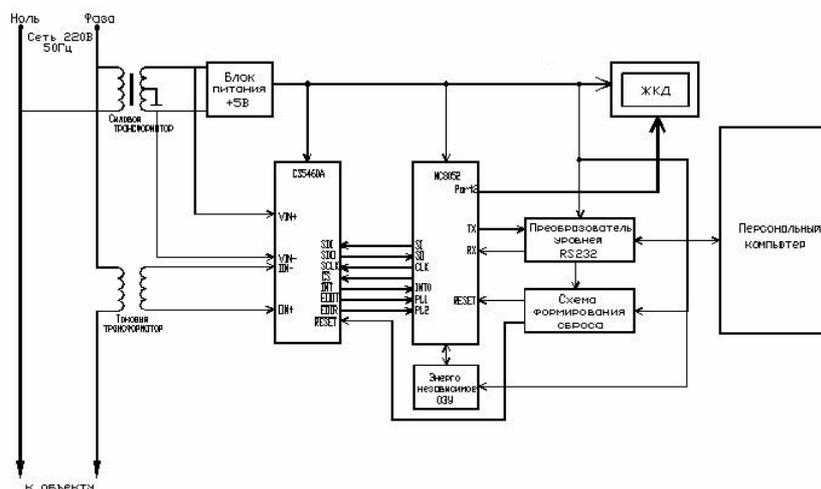


РИС. 1 СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ЦИФРОВОГО СЧЕТЧИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Программирование счетчика осуществляется через интерфейс RS-232 посредством фиксированной системы команд. Интерфейс RS-232 требует всего два провода (витую пару) для обмена информацией. Причем драйверы интерфейса позволяют подключить на одну витую пару до 256 счетчиков. Это позволяет объединить в единую сеть все счетчики и централизованно считывать из них информацию или программировать их.

К достоинствам цифровых счетчиков электрической энергии можно отнести:

- отсутствие трущихся частей обеспечивает более высокую точность измерения;
- обработка аналоговой информации в цифровом виде делает возможным измерения как активной, так и реактивной составляющей мощности, а применение соответствующего алгоритма обработки результата измерения – вычисление косинуса угла потерь;
- простота реализации внешнего интерфейса, по которому все счетчики, например, одного предприятия, объединяются в единую сеть и через модем выходят на телефонную линию, т.е. можно считывать информацию с любого счетчика;
- возможность статистических исследований по расходу электроэнергии;
- массогабаритные параметры цифровых счетчиков значительно лучше электромеханических.

Таким образом, применение цифровых счетчиков электроэнергии в системах энергосберегающего управления позволяет существенно упростить измерение затрат электроэнергии и повысить эффективность работы системы оптимального энергосберегающего управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Муромцев Ю. Л., Орлова Л. П., Чернышов Н. Г. Математическое и программное обеспечение микропроцессорных систем энергосберегающего управления // Автоматика и вычислительная техника. 1996. № 6. С. 26–34.
- 2 Чернышов Н. Г., Артемова С. В. Система энергосберегающего управления процессами нагрева энергоемких объектов // Автоматика и вычислительная техника. 2001. № 3. С. 34–40.
- 3 Power Meter Reference Design Board and Software. Preliminary Product Information // Cirrus Logic, Inc. 2000.
- 4 Single Phase Bi-Directional Power/Energy IC. Preliminary Product Information // Cirrus Logic, Inc. 2001.

Кафедра "Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем"
машиностроение и металловедение

Е. В. Поляков, Ю. А. Брусенцов, А. М. Минаев

О МЕХАНИЗМЕ ПРОВОДИМОСТИ ХАЛЬКОГЕНИДОВ

Экспериментально установлено, что при легировании CdS оловом (SnS кадмием) с изменением концентрации будет изменяться и электросопротивление материала, причем на концентрационной зависимости электросопротивления наблюдается несколько максимумов, хотя фазовый состав сплава остается неизменным.

В литературе отсутствуют сведения о валентных состояниях и механизме проводимости легированных халькогенидов на основе CdS. Для объяснения различных "полупроводниковых" эффектов с чисто ковалентной связью в материалах с большой долей ковалентности с успехом применяется зонная теория проводимости. К соединениям с ионной связью зонная теория применима ограниченно, так как электронные орбиты одноименных ионов не перекрываются. В связи с этим, так называемые валентные и зоны проводимости образоваться не могут, поскольку в данном случае можно считать, что электроны и электронные дырки локализованы на ионах и свободные носители отсутствуют.

Для объяснения характера проводимости в халькогенидах и других ионных соединениях, например оксидах, наиболее надежные результаты дает принцип, заложенный в основе "перескокового" механизма передачи заряда, для реализации которого необходимо наличие разновалентных катионов (или анионов), расположенных в одинаковых кристаллографических и энергетических позициях.

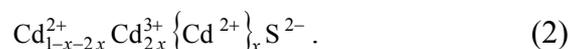
Применение этой теории дает удовлетворительное качественное описание концентрационной зависимости электросопротивления твердых растворов $Cd_{1-x}Sn_xS$, полученное экспериментальным путем.

Структурную (валентную) формулу совершенного сульфида кадмия можно представить как $Cd^{2+}S^{2-}$. Сульфид кадмия в таком виде должен быть типичным диэлектриком, так как для "отрыва" и перевода электрона в зону проводимости требуется энергия, значительно большая, чем в типичных полупроводниках.

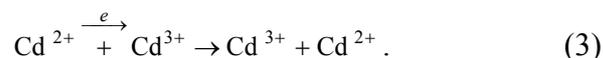
В несовершенном кристалле дела обстоят иначе: в нем появляются вакансии и другие кристаллографические дефекты. Учитывая то обстоятельство, что синтез материала в нашем случае проводился в атмосфере, избыточной по сере, то следует ожидать катионных вакансий. Структурная формула сульфида кадмия с катионной вакансией $\{Cd^{2+}\}$ выглядит следующим образом:



Однако в этом случае нарушится главное требование к ионному кристаллу – сохранение электронейтральности, для восстановления которой необходимо соответствующему количеству $Cd(2x)$ перейти в трехвалентное состояние, отдав электроны сере. Структурную формулу теперь можно представить как



Наличие разновалентных катионов Cd^{2+} , Cd^{3+} обеспечивает направленную передачу заряда (проводимость) почти без затрат энергии, с малой ($< k_B T$) энергией активации по схеме



Рассмотрим поведение легированного оловом CdS, т.е. $Cd_{1-x}Sn_xS$. Особое внимание здесь следует уделить валентному состоянию олова. Если предположить, что олово в твердом растворе двухвалентно (Sn^{2+}), то тогда не ясно как обеспечивается снижение электросопротивления при увеличении концентрации олова, так как в этом случае отсутствуют разновалентные катионы:

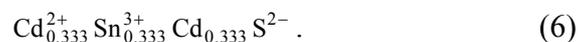


Возможны различные варианты снижения энергии активации при легировании, но более вероятным является наличие олова в состояниях Sn^{3+} и Sn^{4+} .

Рассмотрим первый вариант – $\text{Cd}_{1-x}^{2+} \text{Sn}_x^{3+} \text{S}^{2-}$. Для восстановления электронейтральности произойдет изменение валентности: $\text{Sn}^{3+} \rightarrow \text{Sn}^{2+}$ или $\text{Cd}^{2+} \rightarrow \text{Cd}^+$. Изменение валентности олова вновь приведет к формуле (1), а значит электросопротивление не изменится. Поэтому структурную формулу следует записать так:



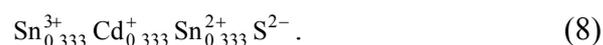
В этом случае максимальная проводимость будет при равном количестве разновалентных катионов Cd^{2+} и Cd^+ , т.е. при $x = 0,333$, а структурная формула будет следующей:



При дальнейшем увеличении содержания олова ($0,333 + y$) количество разновалентных катионов Cd будет уменьшаться, а сопротивление возрастать и достигнет максимума, когда не останется катионов Cd^{2+} . В этом случае структурная формула будет иметь вид



Этот максимум следует ожидать при 50 % (ат.) олова. При легировании оловом больше 50 % ($0,5 + z$) будет происходить замещение Cd^+ . При этом вновь нарушится электронейтральность, компенсировать которую можно за счет изменения валентности $\text{Sn}^{3+} \rightarrow \text{Sn}^{2+}$. Появление разновалентных Sn^{3+} и Sn^{2+} вызовет увеличение проводимости и, соответственно, уменьшение электросопротивления, т.е.



При дальнейшем увеличении концентрации олова (больше 66,6 % ат.) количество разновалентных катионов Sn будет уменьшаться, а сопротивление расти. Когда не останется Cd, сопротивление достигнет максимума, поэтому структурная формула сплава примет вид



Результаты анализа механизма проводимости говорят о том, что зависимость электросопротивления сплава от концентрации компонентов имеет два минимума: при значениях $x = 0,333$ и $0,666$, что дает возможность для проектирования детекторов электромагнитного излучения, работающих в узком и заданном диапазоне длин волн.

Список литературы

1 ШЕФТЕЛЬ И. Т. ТЕРМОРЕЗИСТОРЫ. М.: НАУКА, 1973. 415 С.

КАФЕДРА "МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИЯ"

УДК 541.135.5

М. В. МАКАРЧУК, С. Н. БАРШУТИН, В. П. ШЕЛОХВОСТОВ

Применение оксидных полупроводников

в контроле загрязнения окружающей среды

Измерение и контроль концентрации ионов в водных растворах в настоящее время являются одной из актуальных задач экологического мониторинга. Как показывают различные исследования использование в качестве первичных преобразователей (ПП) полупроводниковых элементов является наиболее

перспективным направлением в развитии методов определения концентрации ионов в растворах. Большинство из таких методов используют в качестве ПП ионоселективные полевые транзисторы (ИСПТ).

На индуцируемый или встроенный канал ИСПТ через тонкий слой диэлектрика воздействует потенциал селективной мембраны, которая располагается над каналом. Мембрана контактирует с раствором и селективно выделяет контролируемые ионы, которые, в свою очередь, повышают либо понижают потенциал мембраны.

Практика применения существующих на данный момент мембран выявляет ряд недостатков, которые снижают селективность, чувствительность, а значит и точность определения концентрации контролируемого иона. Принимая во внимание эти недостатки, перед разработчиками стояла задача поиска материала мембран с такими свойствами, которые устанавливают высокую избирательность и чувствительность к контролируемому иону.

Поиск материалов для изготовления мембран и анализ их электрофизических характеристик позволил остановиться на широкой группе оксидных полупроводников со структурой шпинель.

Для оксидных полупроводников со структурой кристаллической решетки шпинель существует нестехиометрическое соотношение в химическом составе, в котором наблюдается высокая чувствительность энергии активации к изменению состава, особенно на границе перехода типа проводимости. На рис. 1 этот интервал ограничен штриховыми линиями. При таком изменении соотношения элементов в базовом материале происходит смена типа проводимости оксидного полупроводника со структурой кристаллической решетки шпинель, а значит, полупроводник имеет примесно-скомпенсированный тип проводимости, где количество p -типа носителей электрического заряда равно количеству n -типа носителей.

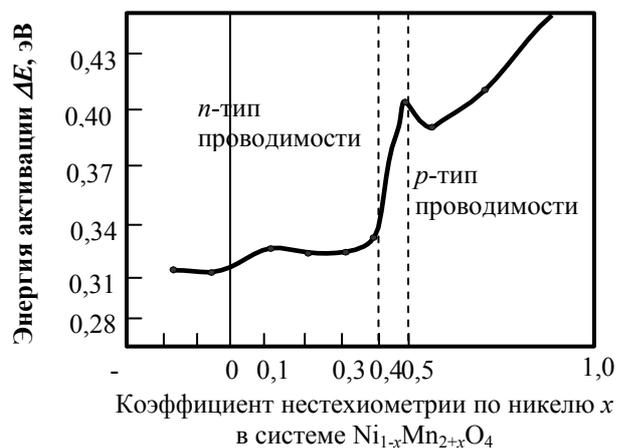


РИС. 1 ГРАФИК ЗАВИСИМОСТИ ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ ОТ КОЭФФИЦИЕНТА НЕСТЕХИОМЕТРИИ ПО НИКЕЛЮ x В СИСТЕМЕ $Ni_{1-x}Mn_{2+x}O_4$

С другой стороны, электрохимические процессы для полупроводниковых электродов можно представить на энергетическом уровне рис. 2.

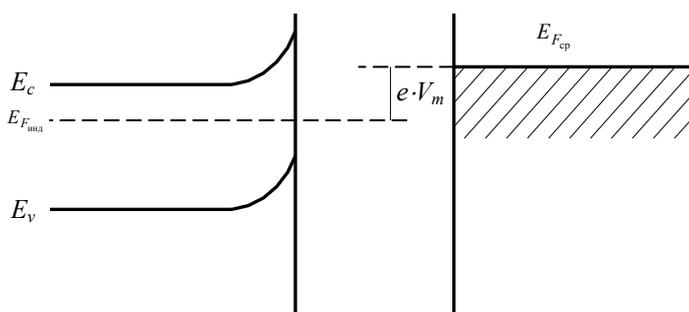


Рис. 2 Распределение энергетических уровней в полупроводниковом электроде и электроде сравнения:

$E_{F_{cp}}$ – Ферми электрода сравнения;
 E_c – дна зоны проводимости полупроводника;
 $E_{F_{инд}}$ – Ферми полупроводникового электрода;
 E_v – потолка валентной зоны полупроводника;
 e – заряд электрона; V_m – измеренное напряжение

Как показано на рис. 2, изменение положения уровня Ферми полупроводникового электрода ведет к изменению измеренного напряжения относительно электрода сравнения, соответственно, возможно определить связь уровня Ферми полупроводникового электрода с электродным потенциалом

$$V_m = \frac{-[E_{F_{инд}} - E_{F_{cp}}]}{e}. \quad (1)$$

Как видно из формулы (1), положение уровня Ферми в энергетическом отношении напрямую связано через заряд q с напряжением V_m , и соответственно, с электродным потенциалом E :

$$E = E_i^0 + \frac{b_e RT}{z_i F} \ln \left[a_i' + \sum_{j \neq i} K_{i,j}^{пот} (a_j')^{z_i/z_j} \right], \quad (2)$$

где z_i – заряд иона в единицах заряда протона; T – температура; R – универсальная газовая постоянная; F – число Фарадея; a_i' – активность ионов в измеряемом растворе; a_i'' – активность ионов в насыщенном растворе; a_j' – активность мешающего иона в растворе; $K_{i,j}^{пот}$ – коэффициент селективности; j – индекс для мешающего иона; b_e – поправочный коэффициент.

Приведенная аналитическая зависимость показывает, что величина E зависит не только от активности ионов, но и от температуры ИСПТ. Поэтому для обеспечения большей точности определения концентрации ионов в растворах разработана измерительная ячейка (рис. 3), которая позволяет определить температуру на поверхности ИСПТ.

Измерительная ячейка построена по двухэлектродной схеме. В исследуемый раствор 1 вносится ионселективный полевой транзистор 5 , вспомогательный электрод (электрод сравнения) 2 и высокоточный датчик температуры 3 , который помещается на поверхность ионселективной мембраны 4 полевого транзистора.

Такое расположение датчика позволяет измерять температуру на поверхности ионселективной мембраны и температуру канала ионселективного полевого транзистора, которые из-за малости размеров считаются одинаковыми. В качестве вспомогательного электрода (электрода сравнения) может использоваться или стандартный хлорсеребряный электрод, или платиновый электрод. С блока питания 6 на вспомогательный электрод и на исток ионселективного полевого транзистора подается напряжение. Возникающий при этом потенциал на ионселективной мембране 4 изменяет ток в канале ионселективного полевого транзистора 5 . Блок компенсации 7 подает на исток ионселективного полевого транзистора напряжение, пропорциональное изменению тока в канале, а соответственно, и значению потенциала на ионселективной мембране. Затем измеряется потенциал с истока и стока ионселективного полевого транзистора и потенциал с температурного датчика, по значениям которых, используя соотношение (2), находится искомая концентрация ионов в водном растворе.

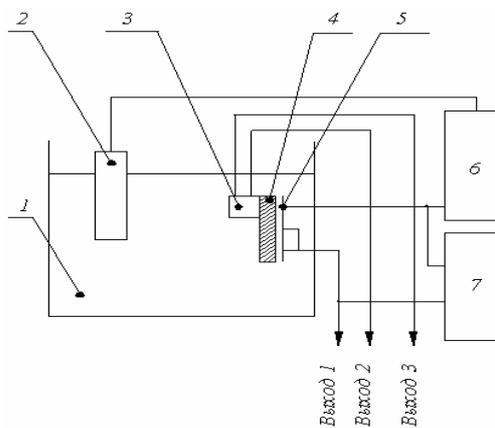


Рис. 3 Электрохимическая ячейка для определения концентрации катионов металлов

Применение разработанной измерительной ячейки в методах контроля концентрации ионов в водных растворах позволяет существенно повысить точность контроля, вследствие применения нового типа полупроводниковых мембран и температурной коррекции.

КАФЕДРА " МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИЯ "

УДК 621.318.1

Ю. А. Брусенцов, И. С. Филатов

ИЗМЕНЕНИЕ ВЕКТОРА НАМАГНИЧЕННОСТИ МАГНИТОТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ ЮНДК-24

Основное требование, предъявляемое к постоянным магнитам (магнитотвердым материалам), – создание наибольшей напряженности магнитного поля в зазоре магнита. Она тем выше, чем больше сечение магнита и его остаточная индукция B_r . На величину основных магнитных характеристик влияет размагничивающий фактор, который в свою очередь зависит от геометрических размеров образца. Одним из путей повышения максимальной магнитной энергии является увеличение коэрцитивной силы H_c . Существует два способа формирования высокой H_c – за счет создания двухфазной структуры, а в однофазных структурах – создание препятствий для перемещения стенки домена. Известны различные способы получения высококоэрцитивных постоянных магнитов: метод литья и метод порошковой технологии. Для повышения B_r и H_c применяют термомагнитную обработку, состоящую из охлаждения с определенной скоростью в магнитном поле и многоступенчатого отпуска.

В данной работе исследовался материал ЮНДКБА, имеющий двухфазную структуру с выделением однодоменных частиц.

Магнитотвердые материалы, изготовленные методом литья, имеют структурную анизотропию, что позволяет ориентировать магнитные домены в направлении намагничивающего поля. Это дает высокую коэрцитивную силу и остаточную индукцию, однако при этом увеличивается роль размагничивающего фактора.

Проведены исследования по перемагничиванию многокомпонентных порошковых магнитов типа ЮНДКБА. В данном материале формируется двухфазная структура, которая состоит из α_1 – твердого раствора и α_2 – высококоэрцитивной фазы.

Одна из составляющих полной магнитостатической энергии – энергия взаимодействия постоянного магнитного поля с постоянным магнитным моментом W_H . Это можно представить как однодоменную частицу, помещенную в поле H [1]. Исходя из этого

$$W_H = -\mu_0 HI \cos\varphi, \quad (1)$$

где μ_0 – магнитная проницаемость вакуума; I – остаточная намагниченность; φ – угол между направлениями H и I .

Из уравнения (1) видно, что энергия W_H минимальна, если H и I параллельны ($\cos\varphi = 1$) и максимальна при антипараллельном расположении H и I ($\cos\varphi = -1$).

Вторая составляющая магнитостатической энергии – энергия размагничивающего фактора. Для разомкнутой магнитной цепи (когда изделие не бесконечно) при намагничивании внутри изделия возникает внутреннее поле H_0 , направленное против внешнего магнитного поля H . При снятии внешнего магнитного поля в намагниченном образце действует размагничивающий фактор. При этом размагничивающее поле тем больше, чем сильнее намагничено изделие:

$$H_0 = -NI. \quad (2)$$

Для прямоугольного изделия энергия размагничивающего фактора

$$W_N = 0,5 \mu_0 NI^2, \quad (3)$$

где N – некоторая эффективная величина, возникающая из-за неоднородности намагничивания изделия; $I = B / \mu_0 - H$. Величина размагничивающего фактора сильно зависит от отношения длины к площади поперечного сечения изделия. При разной ориентации вектора намагниченности прямоугольного образца размагничивающий фактор изменяется от 0,4 (рис. 1, а) до 0,05 (рис. 1, б).

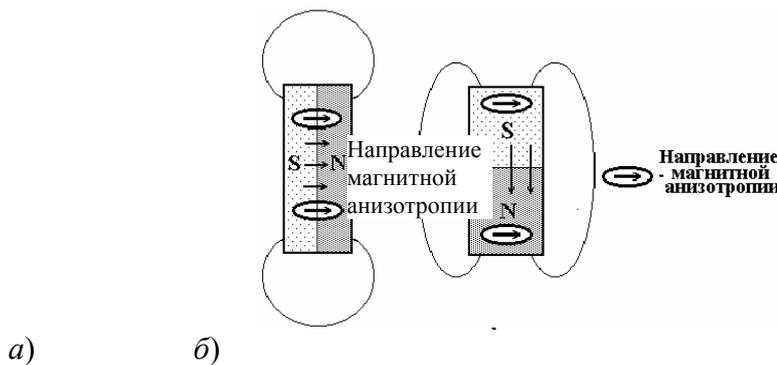
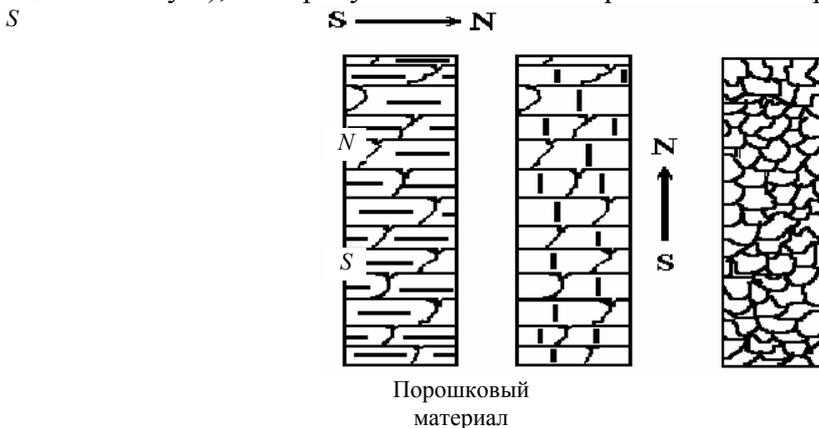


РИС. 1 ПОЛЯ РАЗМАГНИЧИВАНИЯ ПРИ различной ориентации вектора намагниченности

Имея структурную анизотропию (рис. 2), полученную в процессе изготовления, образцы *а)* и *б)* отличаются по магнитным свойствам.

В образце *а)*, который имеет вектор намагниченности, совпадающий с направлением магнитной анизотропии, значительная часть магнитной энергии теряется за счет большого значения размагничивающего фактора. Образец *б)* намагничен в направлении, перпендикулярном структурной анизотропии и имеет магнитные свойства, на 12 ... 15 % меньшие, чем образец *а)* (магнитные домены находятся поперек оси легкого намагничивания и степень анизотропии образца *б)* значительно меньше чем у *а)*). Но при этом потеря энергии компенсируется значительно меньшим размагничивающим фактором. Поэтому с точки зрения получения максимальных магнитных свойств более выгодным является намагниченность образцов по типу *б)*, что требует изменения направления вектора намагниченности.



А)

Б)

РИС. 2 СТРУКТУРНАЯ АНИЗОТРОПИЯ И ВЕКТОР НАМАГНИЧЕННОСТИ В ЛИТЫХ И ПОРОШКОВЫХ ИЗДЕЛИЯХ ИЗ МАГНИТОТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

В отличие от литых магнитотвердых материалов изделия, изготовленные методом порошковой металлургии (рис. 2) не имеют структурной анизотропии и поэтому не критичны к направлению вектора намагничивающего поля, хотя их магнитная энергия несколько ниже, чем у литых магнитов. Осуществить перемагничивание магнитотвердых образцов из сплава ЮНДКБА можно, применив к ним термомагнитную обработку [2]. Термообработка сплавов типа ЮНДК двухстадийная. Сначала изделие перегревают до температуры, при которой сплав находится в однофазном О. Ц. К. – равновесном состоянии (для ЮНДКБА это 960 °С). При 800 °С идет распад на две фазы – α_1 и α_2 , для которых принято, что первая фаза немагнитна, вторая – ферромагнитна. При температуре распада $\alpha \rightarrow \alpha_1 + \alpha_2$ к изделию прикладывается магнитное поле напряженностью не менее 160 КА/м. Для получения высоких магнитных свойств скорость охлаждения образцов в магнитном поле не должна превышать 25 °С/мин. После охлаждения образцы намагничивают, кратковременно помещая их в магнитное поле. Если свойства полученных магнитов недостаточны, то повысить их можно применив отпуск с 640 °С в течение четырех часов с последующим намагничиванием (вторая стадия термообработки). При этом происходит дораспад фаз и частицы магнитной фазы α_2 состоят преимущественно из железа и кобальта и обладают явно выраженными магнитными свойствами. Слабомагнитная фаза α_1 обедняется железом и, в основном, содержит титан, алюминий, никель и медь. После таких режимов термомагнитной обработки магнитные свойства образцов из сплава ЮНДКБА составляют: $B_r = 1,1$ Тл; $H_c = 50$ КА/м, что является оптимальным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Мишин Д. Д. Магнитные материалы. М.: Высшая школа, 1991. 323 с.
- 2 Преображенский А. А. Магнитные материалы и элементы. М.: Высшая школа, 1986. 352 с.

КАФЕДРА "МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИЯ"

УДК 621.3.4:537.533.35

*А. В. Ермаков, М. В. Макаrchук,
А. В. Закурко, В. П. Шелохвостов*

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКОГО МУАРА

Результатом эксперимента, основанном на методе электронно-оптического муара [1], является набор фотографий (снимков), несущих в себе определенную информацию. Однако она представлена в виде, затрудняющем, а зачастую, делающем невозможным дальнейший процесс исследования изучаемой предметной области.

Проводимый эксперимент должен был подтвердить факт сохранения информации о препарате в растворе после того, как этот препарат был из него извлечен.

Требуется найти методику, которая позволяла бы по серии графических изображений подтвердить или опровергнуть выдвинутое предположение. Причем, это должно быть сделано наиболее конст-

руктивным образом, ведущим к достаточно полному представлению характеристик процесса и получению на их основе выводов о специфике соответствующего процесса или объекта.

Первая серия графических изображений получена с тем условием, что раствор никогда не находился в контакте с препаратом, а вторая серия – с условием, что раствор, до момента проведения эксперимента, содержал исследуемый препарат.

Для решения поставленной задачи решено воспользоваться теорией вейвлет-преобразований.

В отличие от ряда других преобразований вейвлет-преобразования позволяют проводить анализ и обработку нестационарных (во времени) и неоднородных (в пространстве) сигналов разных типов. Вейвлет-преобразования можно уподобить математическому микроскопу, который, благодаря своей замечательной способности – сохранять хорошее разрешение на различных масштабах, позволяет детально изучить структуру сигнала.

ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СИГНАЛА СОСТОИТ В ЕГО РАЗЛОЖЕНИИ ПО БАЗИСУ, СКОНСТРУИРОВАННОМУ ИЗ ОБЛАДАЮЩЕЙ ОПРЕДЕЛЕННЫМИ СВОЙСТВАМИ ФУНКЦИИ (ВЕЙВЛЕТА) ПОСРЕДСТВОМ МАСШТАБНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ И ПЕРЕНОСОВ. ИМЕННО ЗА СЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ МАСШТАБОВ ВЕЙВЛЕТЫ СПОСОБНЫ ВЫЯВИТЬ РАЗЛИЧИЕ В ХАРАКТЕРИСТИКАХ НА РАЗНЫХ ШКАЛАХ, А ПУТЕМ СДВИГА ПРОАНАЛИЗИРОВАТЬ СВОЙСТВА СИГНАЛА В РАЗНЫХ ТОЧКАХ НА ВСЕМ ИЗУЧАЕМОМ ИНТЕРВАЛЕ.

В ОТЛИЧИЕ ОТ ТРАДИЦИОННО ПРИМЕНЯЕМОГО ДЛЯ АНАЛИЗА СИГНАЛОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ, ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ОБЕСПЕЧИВАЕТ ДВУМЕРНУЮ РАЗВЕРТКУ ИССЛЕДУЕМОГО ОДНОМЕРНОГО СИГНАЛА, ПОСКОЛЬКУ ЧАСТОТА И КООРДИНАТА РАССМАТРИВАЮТСЯ КАК НЕЗАВИСИМЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ. ЭТО ДАЕТ ВОЗМОЖНОСТЬ АНАЛИЗИРОВАТЬ СВОЙСТВА СИГНАЛА ОДНОВРЕМЕННО В ФИЗИЧЕСКОМ (ВРЕМЯ, КООРДИНАТА) И В ЧАСТОТНОМ ПРОСТРАНСТВАХ.

В качестве вейвлет-преобразования выбрано дискретное вейвлет-преобразование, так как это приводит к более точному преобразованию и представлению сигнала. В данном случае базис пространства $L^2(R)$ [2] будет задаваться значениями низкочастотного и высокочастотного фильтров, однозначно определяемых видом вейвлета.

Дискретное вейвлет-преобразование состоит в пропускании сигнала через древовидно соединенные ВЧ и НЧ фильтры. Процесс фильтрации есть ни что иное, как последовательность математических операций над исходным сигналом, ведущая к его преобразованию. Вейвлет-анализ измеряет близость между базисными функциями и самим сигналом. Эта близость, в смысле сходства частотного наполнения, отражается в виде коэффициентов, полученных в результате фильтрации.

При осуществлении вейвлет-преобразования двумерного изображения строится разделимый базис, и каждая итерация алгоритма вейвлет-преобразования выполняется вначале к строкам, затем – к столбцам изображения.

НЧНЧ ₂	ВЧНЧ ₂	ВЧНЧ ₁
НЧВЧ ₂	ВЧВЧ ₂	
НЧВЧ ₁		ВЧВЧ ₁

Рис. 1 Два уровня вейвлет-преобразования изображения

На каждом шаге преобразования выполняется два разбиения по частоте, а не одно. Предположим, имеется изображение размером $N \times N$. Сначала каждая из N строк изображения продолжается определенным образом на ее границах, после чего над дополненной строкой выполняется одномерное вейвлет-преобразование и полученные коэффициенты делятся на низкочастотную и высокочастотную половины. Получается два изображения размерами $N \times N/2$. Далее, каждый столбец делится аналогичным образом. В результате получается четыре изображения размерами $N/2 \times N/2$: низкочастотное по горизонтали и вертикали, высокочастотное по горизонтали и вертикали, низкочастотное по горизонтали и высокочастотное по вертикали

и высокочастотное по горизонтали и низкочастотное по вертикали. Первое из вышеназванных изображений (левое верхнее) делится аналогичным образом на следующем шаге преобразования, как показано на рис. 1.

ТАКИМ ОБРАЗОМ МОЖНО ПОЛУЧИТЬ НАГЛЯДНОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ ИССЛЕДУЕМОГО СИГНАЛА НА ЗАДАННОМ УРОВНЕ РАЗРЕШЕНИЯ И В ИНТЕРЕСУЮЩЕМ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ.

ОПИРАЯСЬ НА ДАННУЮ ТЕОРИЮ ПРОВЕДЕМ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ОБОИХ СЕРИЙ ФОТОГРАФИЙ. ЕСЛИ ИЗОБРАЖЕНИЕ, ПОЛУЧЕННОЕ НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ВТОРОЙ СЕРИИ ФОТОГРАФИЙ (РАСТВОР ДО ЭКСПЕРИМЕНТА БЫЛ В КОНТАКТЕ С ПРЕПАРАТОМ), БУДЕТ СОДЕРЖАТЬ ОПРЕДЕЛЕННЫЕ ЧАСТОТНЫЕ ВСПЛЕСКИ, НЕНАБЛЮДАЕМЫЕ НА ИЗОБРАЖЕНИИ, ПОЛУЧЕННОМ НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПЕРВОЙ СЕРИИ ФОТОГРАФИЙ (РАСТВОР НЕ БЫЛ В КОНТАКТЕ С ПРЕПАРАТОМ), ТО МОЖНО СУДИТЬ О ТОМ, ЧТО ДАННЫЙ ПРЕПАРАТ ДЕЙСТВИТЕЛЬНО ОСТАВИЛ "СЛЕД".

ПРИМЕНЯЯ РАЗРАБОТАННУЮ МЕТОДИКУ В КАЧЕСТВЕ МАТЕРИНСКОГО ВЕЙВЛЕТА ВЫБРАН ВЕЙВЛЕТ КОЭНА-ДОБЕШИ-ФОВО. ОН ОПРЕДЕЛЯЕТ СИММЕТРИЧНЫЙ БИОРТОГОНАЛЬНЫЙ ФИЛЬТР 7/9, КОТОРЫЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОЯВЛЯЕТ СЕБЯ НАИЛУЧШИМ ОБРАЗОМ. ДЛЯ ПРОДОЛЖЕНИЯ СИГНАЛА НА ГРАНИЦЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ВЫБРАН МЕТОД СИММЕТРИЧНОГО ПРОДОЛЖЕНИЯ, КАК НАИБОЛЕЕ ПРИГОДНОГО ДЛЯ ФИЛЬТРОВ ЛЮБОГО ТИПА.

ПРОВЕДЯ ДИСКРЕТНОЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ ДАННЫХ ВЫБРАННЫХ ПАРАМЕТРАХ ПОЛУЧИЛИ РЯД ИЗОБРАЖЕНИЙ. ПРИЧЕМ ВНУТРИ КАЖДОЙ СЕРИИ ФОТОГРАФИЙ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗ НЕ ПОКАЗАЛ СУЩЕСТВЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ЧАСТОТНОЙ СТРУКТУРЕ ИСХОДНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ. ОДНАКО ПРИ СОПОСТАВЛЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФОТОГРАФИЙ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ СЕРИЙ БЫЛ ОБНАРУЖЕН ЧАСТОТНЫЙ ВСПЛЕСК В ОБЛАСТИ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ КОМПОНЕНТ ПРЕОБРАЗОВАННОГО СИГНАЛА НА ТРЕТЬЕМ УРОВНЕ РАЗРЕШЕНИЯ.

ДАННЫЙ ФАКТ ЛОГИЧЕСКИ ПОДВОДИТ К ВЕРНОСТИ ВЫДВИНУТОГО ПРЕДПОЛОЖЕНИЯ О СПОСОБНОСТИ РАСТВОРА СОХРАНЯТЬ ИНФОРМАЦИЮ О НЕКОГДА БЫВШЕМ В НЕМ ОБЪЕКТЕ.

Использование вейвлет-преобразований для анализа экспериментальных данных позволило успешно решить поставленную задачу, дало возможность распознать и в дальнейшем описать скрытые (завуалированные) характеристики сигнала (под сигналом здесь понимается упорядоченный набор численно зафиксированной информации об исследуемом объекте), за счет его более наглядного представления. Данный метод не претендует на объяснение лежащей в основе сигнала динамики и его физической природы. Просто с помощью вейвлет-преобразования результаты эксперимента предстали перед нами в более отчетливом виде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Применение метода электронно-оптического муара для визуализации и анализа полей различной физической природы / А. В. Закурко, С. А. Луканцов, В. П. Шелохвостов, В. П. Иванов // Вестник ТГТУ. 2000. Т. 5. С. 342–344.
- 2 Воробьев В. И., Грибунин В. Г. Теория и практика вейвлет-преобразования. СПб.: Военный институт связи, 1999. 199 с.

Кафедра "Материалы и технология"

УДК 62-231.322.2

В. Х. Фидаров, Д. Б. Трушкин

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ТОКАРНО-КОПИРОВАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ

На современном уровне развития машиностроения актуальной задачей является повышение точности и производительности автоматической размерной обработки деталей сложного профиля. Для

обработки таких деталей применяются копируемые станки и станки с программным управлением, в ряде конструкций которых применяется следящий привод с электромагнитными муфтами. К их преимуществам относятся:

- надежность и простота обслуживания;
- невысокая стоимость;
- органическая встройка муфт в привод станка без нарушения традиционной компоновки узлов;
- возможность непосредственного использования для универсальных работ;
- возможность дистанционного управления приводом подач, что обеспечивает удобство встройки станка в автоматическую линию.

Существенным недостатком, однако, является заметное уменьшение точности при возрастании скорости подачи (выше 100 ... 120 мм/мин). При этом значительное влияние на точность оказывают динамические характеристики следящего привода с ЭМ.

КОПИРОВАЛЬНАЯ СИСТЕМА СОСТОИТ ИЗ КОПИРА, КОПИРОВАЛЬНОГО ДАТЧИКА, УСИЛИТЕЛЯ СИГНАЛОВ ДАТЧИКА, ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ, СЛЕДЯЩИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ МУФТ, МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ, ПЕРЕДАЧ, ПРЕОБРАЗУЮЩИХ ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ В ПОСТУПАТЕЛЬНОЕ, ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА (СУПОРТ-РЕЗЦЕДЕРЖАТЕЛЬ-РЕЗЕЦ) [1].

КОПИРОВАНИЕ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ СЛЕДУЮЩИМ ОБРАЗОМ (РИС. 1). ЗАДАЮЩАЯ ПОДАЧА ВКЛЮЧЕНА ПОСТОЯННО И ПЕРЕМЕЩАЕТ КАРЕТКУ 6 И СУПОРТ 4, С ЗАКРЕПЛЕННЫМ НА НЕЙ ЖЕСТКО РЕЗЦОМ И ДАТЧИКОМ, ВЛЕВО. ЩУП 3 ДАТЧИКА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПРУЖИНЫ ВСЕ ВРЕМЯ ПРИЖИМАЕТСЯ К КОПИРУ И ЕГО ТРАЕКТОРИЯ ПРИ ОБХОДЕ КОНТУРА В ТОЧНОСТИ СООТВЕТСТВУЕТ ПРОФИЛЮ КОПИРА. ПАЛЕЦ ДАТЧИКА В ОСЕВОМ НАПРАВЛЕНИИ ИМЕЕТ ВОЗМОЖНОСТЬ ПЕРЕМЕЩАТЬСЯ ОТНОСИТЕЛЬНО КОРПУСА, ЗАМЫКАЯ И РАЗМЫКАЯ ПРИ ЭТОМ КОНТАКТЫ 1 И 2. ПРИ ЗАМЫКАНИИ КОНТАКТА 1 ПОДАЕТСЯ СИГНАЛ НА ВКЛЮЧЕНИЕ МУФТЫ НАЗАД. СИГНАЛ УСИЛИВАЕТСЯ И ПОСТУПАЕТ НА МУФТУ ЭМ. МУФТА ВКЛЮЧАЕТСЯ И СОЕДИНЯЕТ ВРАЩАЮЩУЮСЯ ВЕДУЩУЮ ЧАСТЬ ПРИВОДА ПОДАЧ С

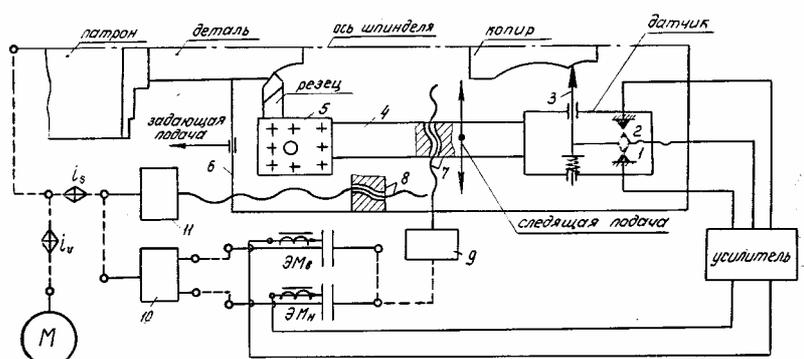


РИС. 1 ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА КОПИРОВАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ТОКАРНОГО СТАНКА:

М – ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ; 1, 2 – КОНТАКТЫ ДАТЧИКА;

3 – КОПИРОВАЛЬНЫЙ ПАЛЕЦ ДАТЧИКА; 4 – ПОПЕРЕЧНЫЙ СУПОРТ;

5 – РЕЗЦЕДЕРЖАТЕЛЬ; 6 – КАРЕТКА; 7, 8 – ПЕРЕДАЧИ "ВИНТ-ГАЙКА" ПОПЕРЕЧНОЙ И ПРОДОЛЬНОЙ ПОДАЧИ; 9, 10, 11 – МЕХАНИЧЕСКИЕ ПЕРЕДАЧИ

ВЕДОМОЙ, ОСУЩЕСТВЛЯЕТ СЛЕДЯЩУЮ ПОДАЧУ НАЗАД. СУПОРТ И КОРПУС ДАТЧИКА ОТХОДЯТ ОТ КОПИРА, КОНТАКТ 1 РАЗМЫКАЕТСЯ И ОТКЛЮЧАЕТ МУФТУ (СЛЕДОВАТЕЛЬНО, И ПОДАЧУ) НАЗАД. ЕСЛИ ЗАМЫКАЕТСЯ КОНТАКТ 2, ТО ВКЛЮЧАЕТСЯ СЛЕДЯЩАЯ ПОДАЧА ВПЕРЕД, А ВСЕ ОСТАЛЬНОЕ БУДЕТ АНАЛОГИЧНО ПРЕДЫДУЩЕМУ.

ТАКИМ ОБРАЗОМ, НАЛИЧИЕ РАССОГЛАСОВАНИЯ, Т.Е. ПОГРЕШНОСТИ, ЗАЛОЖЕНО В САМУ ИДЕЮ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ С ЭМ. ВЕЛИЧИНА ЭТОГО РАССОГЛАСОВАНИЯ, КОТОРАЯ, В КОНЕЧНОМ СЧЕТЕ, И ОПРЕДЕЛЯЕТ ТОЧНОСТЬ СИСТЕМЫ, ЗА-

УДК 681.326:621.822.

А. В. Колмаков, С. В. Козлов,
Ю. В. Плужников, А. П. Пудовкин

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ТОЛЩИНЫ ВКЛАДЫШЕЙ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

При производстве вкладышей подшипников скольжения предъявляются высокие требования к их геометрическим размерам, в том числе и к толщине вкладыша. Стопроцентный контроль качества готовой продукции требует применения новых более производительных и точных методов и средств, позволяющих осуществлять контроль показателей качества в процессе изготовления изделий, например, таких как вкладыши подшипников скольжения. Для этих целей разработана автоматическая система контроля толщины вкладышей, позволяющая в едином технологическом цикле в процессе производства осуществлять стопроцентный контроль толщины готовых вкладышей.

Система контроля толщины вкладышей подшипников скольжения, представленная на рис. 1, состоит из пяти основных блоков: привода 1, накопителя 2, сканирующего устройства (СУ) 3, устройства подачи 4 вкладышей в сканирующее устройство и управляющего микроконтроллера 5.

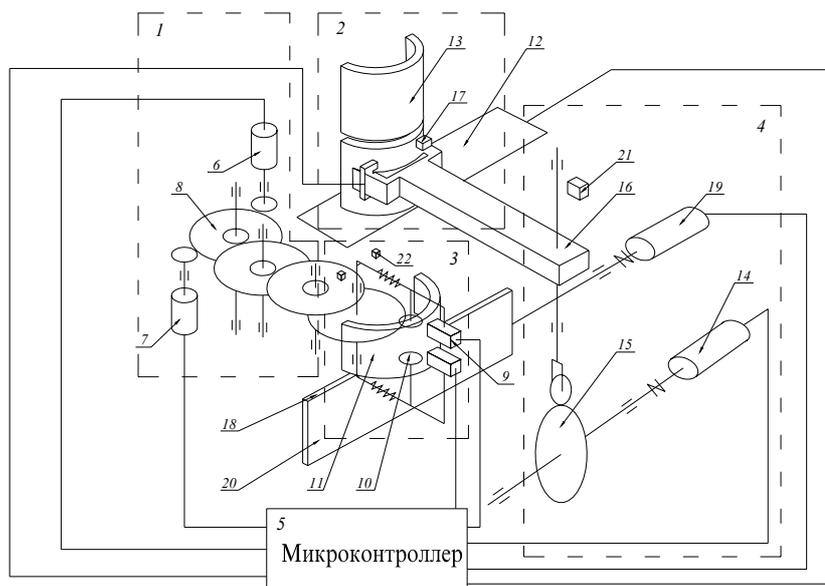


Рис. 1 Система автоматического контроля толщины вкладышей подшипников скольжения

Привод 1 состоит из двух электродвигателей 6 и 7 и трехступенчатого механизма 8.

Сканирующее устройство 3 состоит из двух бесконтактных индуктивных датчиков 9, двух роликов 10, которые прижимаются к внутренней стороне вкладыша 11 и двух датчиков 22.

Накопитель 2 состоит из основания 12 и вкладышей 13.

Устройство подачи 4 вкладышей в сканирующее устройство состоит из электродвигателя 14, привода 15 и захватывающего устройства 16, на котором установлены два электромагнита 17.

Под сканирующим устройством 3 находится приемное устройство разбраковки 18, состоящее из электродвигателя 19, заслонки 20.

Система автоматического контроля толщины вкладышей подшипников скольжения работает следующим образом:

По команде с микропроцессорного устройства 5 включается электродвигатель 14 блока подачи вкладыша в блок сканирования. В момент времени t_1 нахождения захватывающего устройства 16 в верхнем положении по команде с датчика верхнего положения 21 срабатывает электромагнит 17, и вкладыш 13 притягивается к электромагниту. После этого по команде микропроцессора включается реверс двигателя 14, и захватывающее устройство перемещается в нижнее положение.

В следующий момент времени t_2 , при нахождении захватывающего устройства в нижнем положении, включается электродвигатель 6 привода сканирования. При повороте сканирующего устройства производится опрос датчика угла поворота и сравнение текущего значения угла поворота β со значением угла $\beta_0 = 180^\circ$. При выполнении условия $\beta = \beta_0$ электродвигатель 6 выключается, включается электродвигатель 7, и происходит возврат сканирующего устройства в исходное положение. Одновременно при сканировании включаются бесконтактные датчики 9 контроля толщины вкладыша. Датчики 9 установлены на фиксированном расстоянии относительно обкатывающих роликов 10 сканирующего устройства. Обкатывающие ролики в свою очередь постоянно находятся в поджатом состоянии к внутренней поверхности вкладыша, так как в распрямленном состоянии вкладыш имеет разный радиус кривизны поверхности. Контроль толщины вкладыша производится на двух поясах на расстоянии 5 ... 7 мм от края. При изменении толщины вкладыша изменяется немагнитный зазор в магнитопроводе датчика. Последнее вызывает изменение индуктивности катушки датчика и, следовательно, изменение ее полного сопротивления. Сигнал с бесконтактных датчиков толщины поступает в микропроцессорное устройство, где происходит сравнение значения толщины h с заданным его значением h_0 и, если отклонение толщины вкладыша не превышает заданное значение ϵ , т.е. $|h - h_0| \leq \epsilon$, то по команде с микропроцессора 5, после окончания сканирования одновременно подается команда на электромагнит захватывающего устройства для освобождения вкладыша и на двигатель 19, который поворачивает заслонку 20 для направления вкладыша в отсек годных изделий приемного устройства 18.

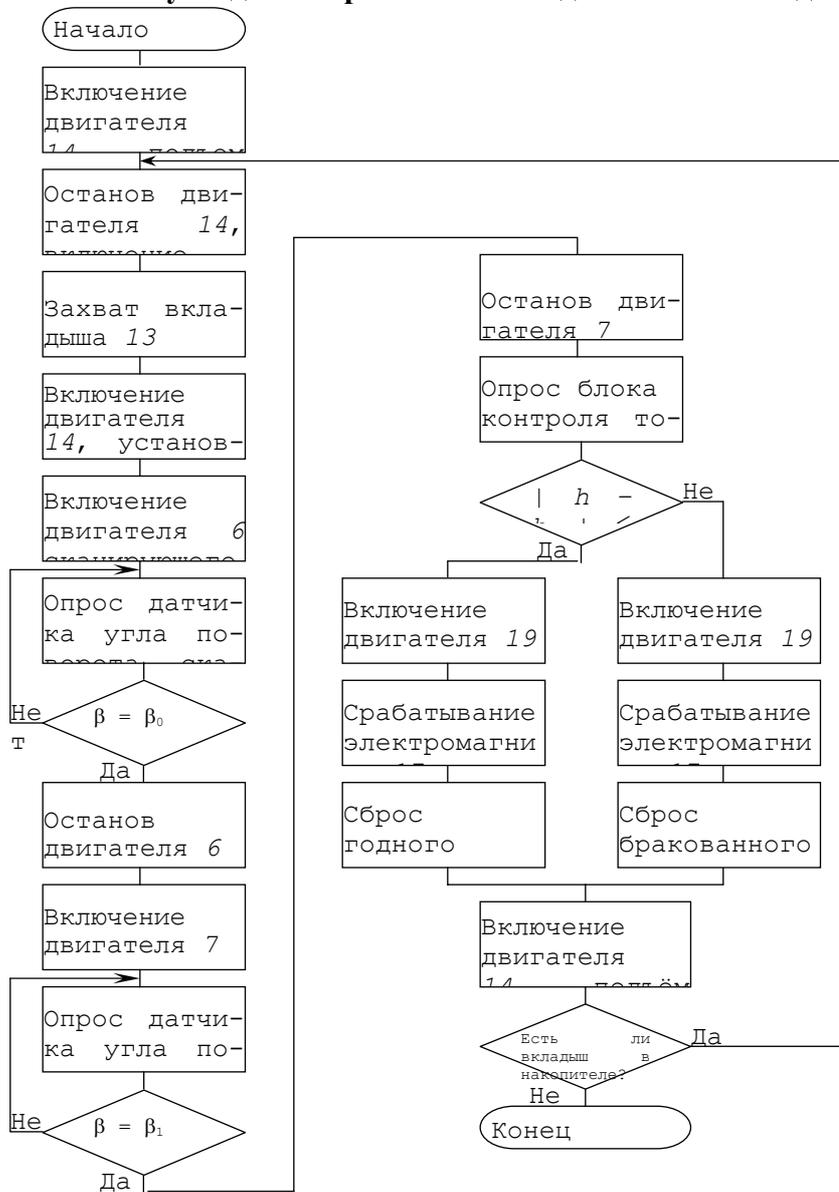


Рис. 2 Блок-схема алгоритма работы системы управления и контроля толщины вкладышей подшипников скольжения

В случае невыполнения условия $|h - h_0| \leq \varepsilon$ по команде микропроцессора двигатель 19 поворачивает заслонку 20 для направления вкладыша в отсек бракованных изделий приемного устройства 18.

В момент времени t_4 , при возврате сканирующего устройства в исходное положение, выключается электродвигатель 7 привода этого устройства. Далее включается двигатель 14, и процесс автоматического контроля толщины вкладышей повторяется.

Для отключения электродвигателей 6, 7 привода сканирующего устройства при повороте последнего на заданный угол служат датчики угла поворота 22.

На рис. 2 блок-схема алгоритма работы системы управления и контроля толщины вкладышей подшипников скольжения.

Таким образом, автоматическая система контроля толщины вкладышей подшипников скольжения позволяет в едином технологическом цикле в процессе производства осуществлять стопроцентный контроль толщины готовых вкладышей.

Кафедра "Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем"

УДК 675.053.3

В. И. Галаев, А. С. Горбачев

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ВАЛОВ СТРОГАЛЬНЫХ КОЖЕВЕННЫХ МАШИН С УЧЕТОМ ЗАЗОРОВ В ОПОРАХ НОЖЕВОГО ВАЛА

В системе ножевой вал–прижимной вал–корпус строгальной машины основным нелинейным соединением является радиальный зазор в подшипниках ножевого вала. Величина этого зазора бывает значительной (может превосходить амплитуды колебаний отдельных элементов системы ножевой вал–прижимной вал–корпус машины). В связи с этим необходимо учитывать радиальные зазоры в подшипниках при анализе колебаний валов строгальных машин. Зазоры вызывают новую картину развития амплитуд колебаний вращающихся валов [1].

Ножевой вал строгальной машины составляет значительную часть в общей массе конструкции строгальной машины. При этом следует отметить, что возмущающие силы, действующие на ножевой вал и вызываемые его неуравновешенностью, не превосходят веса ножевого вала. Это указывает на то, что при наличии зазоров в подшипниках ножевого вала будет наблюдаться колебательное движение цапфы вала в подшипнике, так называемый первый режим движения цапфы вала [2].

В данной работе исследуется влияние зазоров в подшипниках ножевого вала на собственные частоты и вынужденные колебания системы ножевой вал–полуфабрикат–прижимной вал. Качественную и наглядную картину влияния зазоров на собственные частоты системы и амплитуды вынужденных колебаний валов можно установить, рассматривая валы как абсолютно жесткие.

Введем следующие обозначения: c_1, c_2 – жесткости опор ножевого вала в горизонтальном направлении, $c_1 = c_2$; c_3, c_4 – жесткости опор прижимного вала в горизонтальном направлении, $c_3 = c_4$; c_n – жесткость на сжатие единицы длины кожевенного полуфабриката между валами; ℓ – длина валов; ω_1 – угловая скорость ножевого вала; m_1, m_2 – массы ножевого и прижимного валов соответственно; δ_1, δ_2 – радиальные зазоры в подшипниках ножевого вала; D – дисбаланс ножевого вала.

Рассматривается случай, когда зазоры δ_1 и δ_2 равны: $\delta_1 = \delta_2 = \delta$. Механическая система ножевой вал–полуфабрикат–прижимной вал будет осуществлять колебательное движение в плоскости YZ , вызываемое дисбалансом ножевого вала, упругостью опор валов и упругостью полуфабриката. Обозначим через $y_1(t), y_2(t)$ смещения центров масс ножевого и прижимного валов соответственно в направлении оси Y .

Наличие радиальных зазоров в подшипниках вала приводит к тому, что вал может совершать колебательное движение в подшипниках, аналогичное движению математического маятника. Упругая характеристика горизонтально расположенного вала с радиальным зазором в подшипнике, обусловленная действием силы тяжести вала, имеет вид [3]:

$$F(y) = m_1 g y / \sqrt{\delta^2 - y^2},$$

где y – горизонтальное перемещение цапфы вала в подшипнике.

Раскладывая упругую характеристику $F(y)$ в ряд и удерживая два члена разложения, получим

$$F(y) \approx \frac{m_1 g}{2\delta} y + \frac{m_1 g}{4\delta^3} y^3, \quad (1)$$

Жесткость в горизонтальном направлении соответственно будет

$$c(y) = \frac{dF(y)}{dy} = \frac{m_1 g}{2\delta} + \frac{m_1 g}{4\delta^3} y^2. \quad (2)$$

Таким образом, подшипник с зазором в случае колебательного движения в нем цапфы вала может рассматриваться как некоторая упругая опора.

Предполагая, что колебания цапфы в подшипнике малы, в первом приближении можно в качестве коэффициента жесткости этой опоры взять величину $c = m_1 g / 2\delta$. Тогда, рассматривая систему упругая опора вала–подшипник с зазором как два последовательно соединенных элемента, получим эквивалентную жесткость этой системы

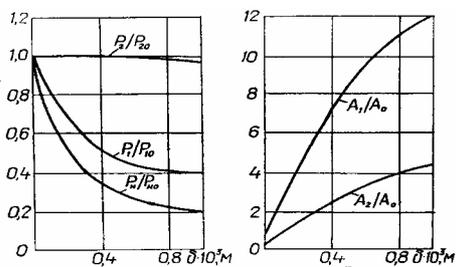
$$c_{\text{экр}} = \frac{m_1 g c_1}{m_1 g + 2\delta c_1}, \quad (3)$$

В дальнейшем при анализе колебаний механической системы ножевой вал–полуфабрикат–прижимной вал можно рассматривать ножевой вал как вал на упругих опорах, жесткости которых определяются формулой (3), учитывающей зазоры в подшипниках вала.

На рис. 1 приведены графики зависимости относительных собственных частот $\frac{p_1}{p_{10}}, \frac{p_2}{p_{20}}$ системы ножевой вал–полуфабрикат–прижимной вал, собственной частоты ножевого вала $\frac{p_n}{p_{n0}}$ и амплитуд колебаний валов $\frac{A_1}{A_0}, \frac{A_2}{A_0}$ от радиальных зазоров в подшипниках ножевого вала. Величины p_{10}, p_{20}, p_{n0} и A_0 есть, соответственно, первая и вторая собственные частоты исследуемой системы, собственная частота ножевого вала и амплитуда вынужденных колебаний ножевого вала при обработке полуфабриката для случая отсутствия зазоров в подшипниках.

В качестве исходных принимали параметры валов строгальной машины МСГ-1500-К: $\ell = 2,1$ м, $m_1 = 490$ кг, $m_2 = 120$ кг, $\omega_1 = 144$ с⁻¹. Величины жесткостей опор ножевого и прижимного валов и коэффициента жесткости единицы длины полуфабриката между валами принимались, соответственно, равными $c_1 = 0,5 \cdot 10^8$ Н/м, $c_3 = 0,2 \cdot 10^8$ Н/м, $c_n = 10^7$ Н/м².

Как видно из рис. 1, наличие радиальных зазоров в подшипниках существенно снижает первую собственную частоту системы ножевой вал–полуфабрикат–прижимной вал, величину критического числа оборотов ножевого вала. Увеличение зазоров вызывает нарастание амплитуд колебаний валов. При этом следует отметить, что разность амплитуд колебаний валов также увеличивается с увеличением зазоров, что отрицательно будет сказываться на качестве обработки поверхности кожаного полуфабриката при строгании.



a) b)

Рис. 1 Графики зависимостей собственных частот системы, собственной частоты ножевого вала (а) и амплитуд колебаний валов (б) от радиальных зазоров в подшипниках ножевого вала

Полученное решение дает верное представление о влиянии зазоров в подшипниках на собственные частоты и амплитуды вынужденных колебаний валов [1]. Радиальные зазоры в подшипниках ножевого вала могут быть одним из основных факторов, определяющих качество обработки кожевенного полуфабриката при строгании.

В общем случае величина δ представляет не только радиальный зазор непосредственно в подшипнике вала, но также и зазоры, образующиеся на посадочных поверхностях вала и корпуса в процессе эксплуатации строгальной машины.

Формула (1) показывает, что упругая характеристика горизонтально расположенного вала с радиальными зазорами в подшипниках является жесткой нелинейной. Учет двух членов разложения этой характеристики в ряд приводит к нелинейной задаче исследования колебаний системы ножевой вал–полуфабрикат–прижимной вал, а следовательно, и к особенностям развития амплитуд вынужденных колебаний нелинейных систем, одной из которых является наличие двух устойчивых режимов движения, соответствующих одному значению частоты возмущающей силы [4].

Полученные результаты могут быть использованы при предварительной оценке влияния зазоров в подшипниках ножевого вала на вибронегруженность валов строгальных машин в процессе обработки кожевенного полуфабриката.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Вибрация в технике. Справочник: В 6 т. М.: Машиностроение, 1980. Т. 3. 544 с.
- 2 Шитиков Б. В. Динамическая балансировка роторов. М.: Трансжелдориздат, 1951. 123 с.
- 3 Григорьев Н. В. Нелинейные колебания элементов машин и сооружений. М.-Л.: Машгиз, 1961. 256 с.
- 4 Пановко Я. Г. Введение в теорию механических колебаний. М.: Наука, 1971. 240 с.

Кафедра "Теоретическая механика"

УДК 624.04(075)

А. Н. Гузачев, А. П. Соловьев

ОСЕСИММЕТРИЧНАЯ ДЕФОРМАЦИЯ ТРАНСВЕРСАЛЬНО-ИЗОТРОПНОЙ ТОЛСТОЙ КРУГЛОЙ ПЛИТЫ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СОБСТВЕННОГО ВЕСА

Метод компенсирующих нагрузок развивается на задачи статического равновесия трансверсально-изотропных толстых круглых плит конечных размеров, нагруженных собственным весом. За расширенную область принимаем бесконечный слой толщиной h , равной высоте плиты. Основное решение получаем, рассматривая бесконечный трансверсально-изотропный слой, находящийся под действием собственного веса. Полагаем

$$u_r = 0; \quad w = w(z). \quad (1)$$

Из обобщенного закона Гука

$$\begin{aligned} \varepsilon_r &= a_{11}\sigma_r + a_{12}\sigma_\theta + a_{13}\sigma_z, \\ \varepsilon_\theta &= a_{12}\sigma_r + a_{11}\sigma_\theta + a_{13}\sigma_z, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\varepsilon_z = a_{13}(\sigma_r + \sigma_\theta) + a_{33}\sigma_z,$$

$$\gamma_{rz} = a_{44}\tau_{rz}$$

находим

$$\sigma_r = \sigma_\theta = -\frac{a_{13}}{a_{11} + a_{12}}\sigma_z; \quad \tau_{rz} = 0. \quad (3)$$

В уравнениях равновесия

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} + R = 0, \quad (4)$$

$$\frac{\partial \tau_{rz}}{\partial r} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\tau_{rz}}{r} + Z = 0 \quad (5)$$

принимая $R = 0$, $Z = \gamma$ (γ – удельный вес). Интегрируя уравнение (5) с учетом граничных условий $\sigma_z(0) = 0$ и $w(h) = 0$, будем иметь:

$$\sigma_r = \sigma_\theta = \frac{a_{13}}{a_{11} + a_{12}}\gamma z; \quad \sigma_z = -\gamma z; \quad \tau_{rz} = 0;$$

$$u_r = u_\theta = 0; \quad w = \frac{2a_{13}^2 - (a_{11} + a_{12})a_{33}}{2(a_{11} + a_{12})}\gamma(z^2 - h^2). \quad (6)$$

Уравнения (6) используем в качестве основного решения при расчете плит, лежащих на абсолютно жестком основании.

Условия на боковой поверхности плиты выполняем приближенно (численно) с помощью компенсирующих нагрузок, расположенных внутри невесомого слоя, вблизи боковой границы плиты.

Окончательное решение получаем как сумму основного и компенсирующего решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Лехницкий С. Г. Теория упругости анизотропного тела. М.: Наука, 1977.
- 2 Гузачев А. Н., Соловьев А. П. Расчет толстостенных цилиндров методом компенсирующих нагрузок // Сб. тр. МНК ММТТ-15. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2002. Т. 8.
- 3 Коренев Б. Г. Метод компенсирующих нагрузок в применении к задачам равновесия, колебаний и устойчивости плит и мембран // Прикладная математика и механика. 1940. Т. 4. № 5–6. С. 61–72.

Кафедра "Прикладная механика и сопротивление материалов"