

ТРУДЫ ТГТУ

Выпуск 11

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ
И ОБОРУДОВАНИЕ**

**АВТОМАТИЗАЦИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ**

Сборник научных статей

Утверждено Ученым советом университета

**◆ ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ ◆
Тамбов 2002**

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

Труды ТГТУ: Сборник научных статей молодых ученых и студентов. Вып. 11. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2002. 236 с.
ISBN 5-8265-0094-8

В сборнике представлены 58 статей молодых ученых и студентов по научным направлениям университета: технологические процессы и оборудование; автоматизация технологических процессов.

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
(ГГТУ), 2002

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

ТРУДЫ ТГТУ

Выпуск 11

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Сборник научных статей

Редактор Т. М. Федченко
Инженер по компьютерному макетированию Е. В. Кораблева

ЛР № 020851 от 13.01.99 П_лр № 020079 от 28.04.97

Подписано в печать 15.03.2002

Формат 60 × 84/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Гарнитура Times New Roman. Объем: 14,41 усл. печ. л.; 14,98 уч.-изд. л.
Тираж 100 экз. С. 182.

Издательско-полиграфический центр
Тамбовского государственного технического университета
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

Д. Н. Алленов, О. О. Иванов, А. С. Пучнин*

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТА ВОССТАНОВЛЕНИЯ
ПРИ СТОЛКНОВЕНИИ ЧАСТИЦ ЗЕРНИСТОЙ СРЕДЫ

Решение проблемы сепарации трудноразделяемых зернистых материалов предполагает разработку нетрадиционных методов, позволяющих сепарировать частицы, несущественно различающиеся по размеру и плотности, а также частицы различной шероховатости и упругости. Как показывают наши экспериментальные исследования и опыт промышленной эксплуатации гравитационных сепараторов, эта проблема может быть решена с использованием эффектов сегрегации и миграции, имеющих место в быстром сдвиговом потоке зернистой среды. Использование этих эффектов позволяет разделять частицы не только по размеру и плотности, но и шероховатости их поверхности и упругости.

Однако если сегрегация и миграция в быстром сдвиговом потоке частиц, различающихся по размеру и плотности, относительно неплохо изучена, то соответствующие эффекты шероховатости и упругости остаются практически "белым пятном" в механике зернистых сред.

На предыдущем этапе была предложена модель динамики сегрегации, учитывающая различие частиц не только по размеру и плотности, но и шероховатости и упругости [1]:

$$\frac{\partial(c\rho_b)}{\partial t} = -\frac{\partial(uc\rho_b)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \left[\rho_b \left(D_{dif} \frac{\partial c}{\partial y} - D_m \frac{\partial \ln s}{\partial y} c - K\Delta M c \right) \right], \quad (1)$$

где D_{dif} – коэффициент квазидиффузии, $(\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1})$; D_m – коэффициент миграции, $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$; c – концентрация целевого компонента, $\text{кг} \cdot \text{кг}^{-1}$; K – коэффициент относительной скорости сегрегации (кинетическая константа) $\text{Н}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$; s – среднее расстояние между частицами, м; ΔM – движущая сила процесса сегрегации ($\text{Н} \cdot \text{м}$), (параметр неоднородности) определяемая как избыточная сумма моментов сил тяжести, трения и ударных импульсов, действующих на контрольную частицу $\Delta M = M - M_0$ где $M = M_g + M_f + M_c$ – сумма моментов сил тяжести, трения и ударных импульсов, действующих на контрольную частицу в реальном потоке, M_0 – аналогичная сумма моментов, действующих на контрольную частицу в условно однородной среде; (x, y) – декартовы координаты; u – средняя скорость потока частиц $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$; τ – время, (с).

$$D_m = \frac{\bar{m}(c)(\bar{V}')^2}{4kF} \left(\frac{d_1^2 k_1}{m_1 \bar{d}^2} - \frac{d_2^2 k_2}{m_2 \bar{d}^2} \right), \quad (2)$$

где \bar{d} , $\bar{m}(c)$ – средние диаметр и масса частицы; \bar{F} , \bar{V}' – средняя частота столкновений и средняя скорость флуктуаций соответственно.

Среднее значение коэффициента восстановления для частиц смеси определяется по следующей формуле:

$$\bar{k} = (\sigma_1 k_1 + \sigma_2 k_2) / (\sigma_1 + \sigma_2). \quad (3)$$

Удельные поверхности частиц первого и второго типов, составляющих смесь, определяются следующим образом

$$\sigma_1 = c / (\rho_1 d_1); \quad \sigma_2 = (1 - c) / (\rho_2 d_2). \quad (4)$$

Для моделирования процесса в соответствии с уравнением (1) необходимо располагать значениями кинетических параметров квазидиффузионного перемешивания, сегрегации и миграции. Все параметры, за исключением кинетической экспериментальной константы сегрегации K , вычисляются аналитически с использованием традиционных физико-механических характеристик частиц и зернистого материала: коэффициентов трения и восстановления при ударе, плотности и размера частиц, угла естественного откоса материала [1].

Физико-механические характеристики определяются без особых затруднений стандартными методами. Однако определение коэффициента восстановления неожиданно наталкивается на серьезные экспериментальные трудности. Это связано с тем, что в процессе исследования коэффициентов обнаружилась существенная их зависимость от скорости столкновения. Определение же величины коэффициента восстановления при скоростях столкновения, имеющих место в реальном гравитационном потоке стандартным методом чрезвычайно затруднительно. В соответствии со стандартным методом коэффициент восстановления определяется через отношение высот отскока и падения частицы относительно горизонтальной поверхности монолитного тела, изготовленного из соответствующего материала. Для реализации стандартного метода в нашем случае требуется детальная визуальная информация в отношении фазы отскока частицы,

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора Уколова.

В. Н. Долгунина и канд. техн. наук, доцента А. А.

длящейся менее 0,01 с и имеющей амплитуду менее 1 мм. Очевидно, что техника для проведения такого рода визуальных наблюдений является весьма уникальной.

В настоящей работе предлагается метод определения коэффициента восстановления при малых скоростях столкновения. Метод основан на анализе звуковых колебаний, генерируемых в монолите на подложке сферической частицей при многократном ее подскоке. Схема экспериментальной установки показана на рис. 1. На рис. 2 приведена одна из полученных фонограмм, на которой отчетливо обнаруживается затухающий характер ударных импульсов как по их величине, так и по периоду между отдельными столкновениями.

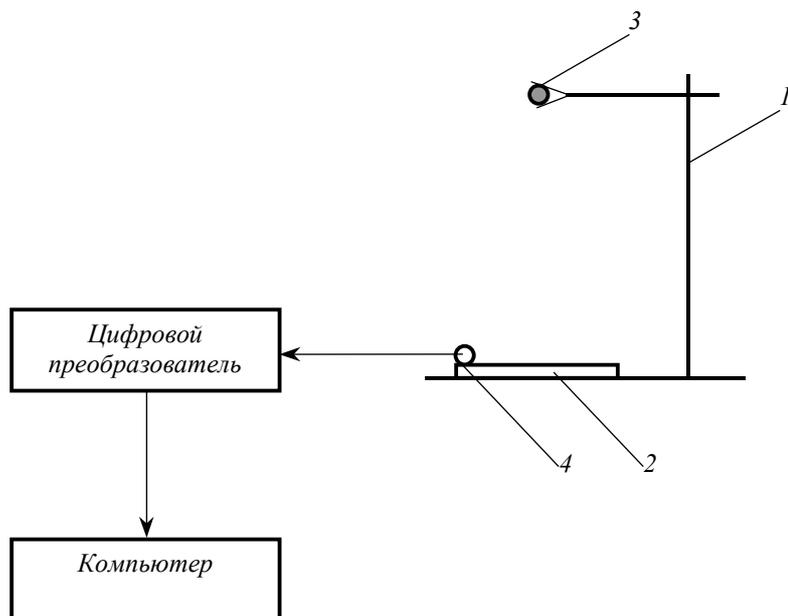


Рис. 1 Схема экспериментальной установки:
1 – штатив с зажимом; 2 – основание-монолит;
3 – контрольная частица; 4 – микрофон

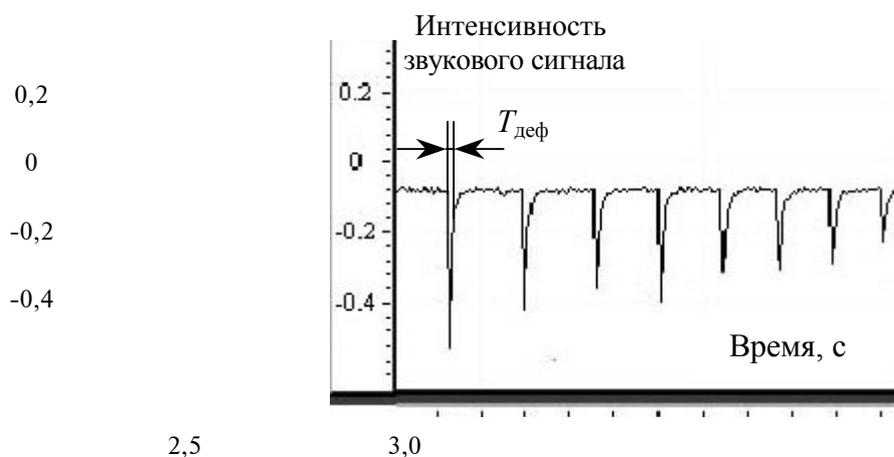


Рис. 2 Типичный вид экспериментально полученной фонограммы

В соответствии с физическим смыслом коэффициента восстановления его можно определить как квадрат отношения каждого последующего периода T_i между столкновениями к предыдущему T_{i-1}

$$k = (H_i / H_{i-1})^{1/2} \cong (T_i / T_{i-1})^2. \quad (5)$$

Однако, очевидно, что при этом мы будем получать только приближенное значение коэффициента. Это связано с тем, что каждый из периодов включает в себя кроме времени свободного полета частицы еще и время деформации сталкивающихся тел, которое должно быть учтено при вычислении коэффициента

$$k = \left((T_i - T_{\text{деф},i}) / (T_{i-1} - T_{\text{деф},i-1}) \right)^2. \quad (6)$$

В связи с тем, что при столкновении тел имеет место прямая и обратная деформации, то

$$T_{\text{деф}} = T_{\text{деф}}^+ + T_{\text{деф}}^-.$$

Время деформации определялось по фонограммам в предположении, что в период прямой деформации энергия звуковых колебаний возрастает, а при возвратной деформации – убывает. На рис. 3 приведено сравнение зависимости коэффициента восстановления для комбинации "шероховатая частица-гладкое основание", полученными визуальным методом и на основе анализа фонограмм. Аналогичные зависимости получены и для других возможных комбинаций частиц. Приведенные результаты косвенно подтверждают правомерность предположений, сделанных относительно учета времени деформаций с помощью фонограмм. Среднеквадратичное отклонение значений, полученных по фонограммам с учетом времени деформаций, относительно значений, измеренных визуальным методом, значительно меньше такового для коэффициентов, найденных без учета времени деформации.

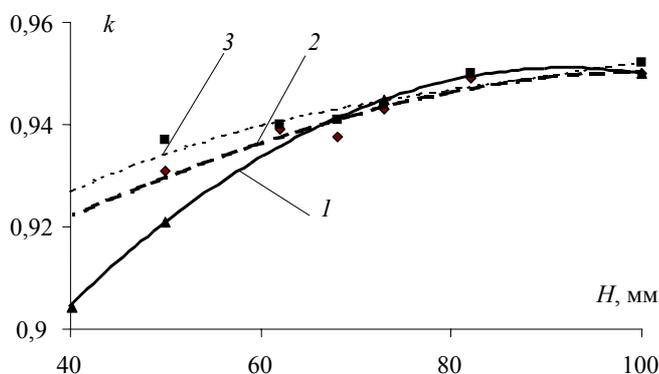


Рис. 3 Коэффициент восстановления, в зависимости от высоты:
 1 – визуальный метод; 2 – с учетом времени деформации;
 3 – без учета времени деформации

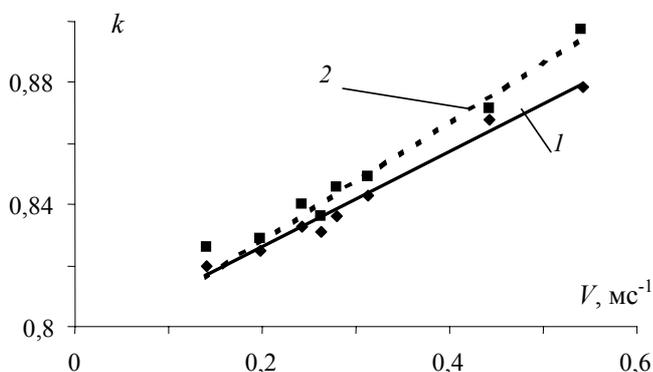


Рис. 4 Коэффициент восстановления при малых скоростях столкновения:

1 – с учетом времени деформации; 2 – без учета времени деформации

Коэффициенты восстановления при малых скоростях столкновения частиц бисера показаны на рис. 4. Результаты исследования свидетельствуют о существенной зависимости коэффициента восстановления от скорости столкновения, особенно в области малых ее значений. При этом обнаруживается тот факт, что эта зависимость значительно усиливается с повышением шероховатости сталкивающихся частиц. Очевидно, это объясняется тем, что с уменьшением скорости столкновения частиц все более доминирующую роль начинают играть эффекты, локализованные вблизи их поверхностей, вследствие преимущественного деформирования поверхностных слоев при относительно небольшой кинетической энергии сталкивающихся тел.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Dolgunin V. N., Ukolov A. A., Ivanov O. O. Development of segregation kinetic equation for rapid shear flow of particles. Transaction of TSTU, 2001, V. 7, No 2, pp. 239 – 250.

Кафедра "Технологическое оборудование и прогрессивные технологии"

УДК 532.545

*А. А. Романов, В. А. Пронин**

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора Уколова.

В. Н. Долгунина и канд. техн. наук, доцента А. А.

К ВОПРОСУ ОБ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГРАВИТАЦИОННОГО СЕПАРАТОРА "МУЛЬТИСЕГ"

В различных отраслях промышленности существует проблема сепарации частиц зернистых материалов, различающихся по комплексу свойств, как правило, по размеру и плотности, размеру и шероховатости и т.п. Разделение таких смесей традиционно связано с необходимостью последовательного применения ситовой и пневмо- или гидравлической сепарации, что предполагает использование вспомогательных потоков газа или жидкости, мощных источников вибрации и сопряжено с загрязнением окружающей среды выбросами запыленного воздуха, сточными водами, мощным шумоизлучением, ухудшением условий труда на соответствующих предприятиях.

В недавнее время была разработана технология бесситовой сепарации и ее аппаратное оформление, которые позволяют в значительной степени исключить указанные недостатки. Разработан процесс сепарации полидисперсных материалов различной плотности с использованием эффектов разделения частиц в быстром сдвиговом потоке. Механизм процесса позволяет сепарировать частицы по комплексу физико-механических свойств без использования вспомогательных потоков газа или жидкости. При этом эффекты сегрегации умножаются благодаря принципу многоступенчатого взаимодействия частиц в потоке. Этот принцип положен в основу технологии "Мультисег".

До настоящего времени задача проектирования аппаратов, реализующих указанную технологию, решалась на основе накопленного промышленного, экспериментального и аналитического опыта, однако дальнейшее совершенствование технологии требует решения сложной оптимизационной задачи с учетом множества конструктивных и технологических параметров процесса.

Основным элементом аппаратного оформления процесса является вращающийся барабан с подъемно-лопастной насадкой, разделительной пластиной и блоком отклоняющих элементов, а также загрузочных и выгрузочных приспособлений [1]. Математическая модель сепаратора "Мультисег" подробно изложена в [2].

В соответствии с данной технологией смесь с концентрацией целевого компонента C_n в количестве G_c подается в середину барабана и движется к его торцам. С одного торца выгружается продукт, с другого торца - примеси, содержащие некоторое количество товарной фракции. Пусть готовый продукт выгружается в количестве $G_{пр}$ с содержанием целевого компонента $C_{пр}$, что обеспечивается конструкцией соответствующего разгрузочного устройства. Тогда с другого торца будет выгружаться материал в количестве

$$G_{от} = G_c - G_{пр} . \quad (1)$$

Очевидно, что концентрация целевого компонента в продукте будет зависеть от скорости его движения от места загрузки в барабанный сепаратор до выгрузочного торца. Это объясняется тем, что чем больше время пребывания при прочих равных условиях, тем больше продукт обогащается частицами целевого компонента.

Таким образом, если задаться производительностью аппарата по сырью G_c и учесть концентрацию целевого компонента в исходной смеси C_c , то осуществляя расчеты по математической модели [2] можно подобрать такую производительность по готовому продукту $G_{пр}$, чтобы концентрация целевого компонента на выходе из аппарата соответствовала технологическим требованиям, предъявляемым к готовому продукту, т.е.

$$C_{пр} \cong C_{тов} . \quad (2)$$

Функциональные особенности сепаратора и специфика технологических требований к процессу извлечения целевого компонента (семян, продовольственного зерна) обеспечивают возможность достижения проектной производительности $G_{пр}$ при различной интенсивности питания аппарата по исходному сырью G_c .

Как показывают результаты моделирования, зависимость $G_{пр}$ от G_c имеет ярко выраженный максимум. Это приводит к выводу о том, что существует производительность барабанного сепаратора по исходному материалу, обеспечивающая максимум производительности по готовому продукту. Очевидно, что в связи с этим для обеспечения высоких технико-экономических показателей процесса и оборудования необходимо проводить оптимизацию нагрузки сепаратора по исходному сырью.

Проанализировав параметры, входящие в формулу (1), можно сделать вывод, что теоретически величина $G_{пр}$ может изменяться в пределах $0 \leq G_{пр} \leq G_c$, поэтому в качестве вспомогательного параметра можно использовать долю материала V_l , выгружаемого в качестве готового продукта, тогда производительность по выходу можно рассчитать как

$$G_{пр} = V_l G_c , \quad (3)$$

при этом величина V_l может меняться в пределах $0 \leq V_l \leq 1$, и для каждого значения G_c она должна быть подобрана таким образом, чтобы выполнялось условие (2).

Таким образом, если известны такие конструктивные и технологические параметры барабанного сепаратора, как длина барабана, его диаметр, количество отклоняющих элементов, длина сепарирующей пластины, количество лопастей подъемно-лопастной насадки, их ширина, угловая скорость вращения барабана и при наличии данных об исходной смеси (содержание целевого компонента, коэффициент разделения, а также требования по содержанию целевого компонента в готовом продукте) одну из возможных задач оптимизации (для существующего аппарата) можно сформулировать следующим образом: найти такое значение режимного параметра G_c , чтобы критерий оптимизации (производительность по готовому продукту) стремился к максимуму

$$G_{\text{гпр}} = F(G_c) \rightarrow \max, \quad (4)$$

при выполнении ограничения (2), т.е. требования к качеству продукта.

Такая задача была поставлена и решена для смеси 70 % пшеницы и 30 % ржи, с учетом того, что продовольственная пшеница должна содержать не более 4 % ржи. Получен максимум на 1300 кг/ч по входу (720,2 кг/ч готового продукта). Результаты моделирования представлены на рис. 1.

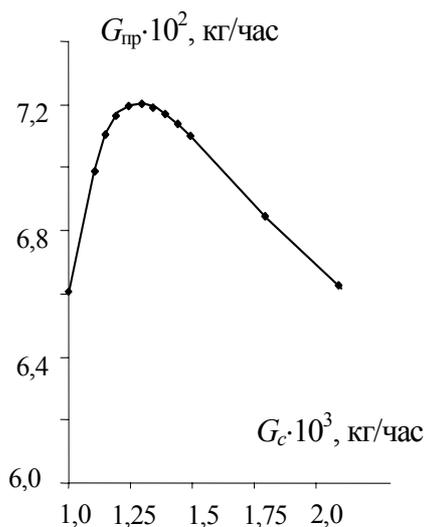


Рис. 1 Результаты математического моделирования зависимости $G_{\text{гпр}} = F(G_c)$.

Следует отметить, что приведенная выше задача оптимизации не является общей задачей оптимизации конструктивных и технологических параметров барабанного сепаратора, по какому-либо общему критерию, например по приведенным затратам. Очевидно, что для постановки и решения такой задачи все эти параметры должны быть заданы. Однако при решении общей задачи оптимизации частная задача будет содержаться в ней как составная часть расчета максимальной производительности сепаратора при заданных конструктивных и технологических параметрах.

Нахождение производительности аппарата по исходному материалу, обеспечивающей максимум производительности по готовому продукту, ведет к необходимости нахождения величины V_l , которую в явном виде в постановке общей задачи оптимизации конструктивных и технологических параметров барабанного сепаратора можно не учитывать.

Таким образом, приведенная выше оптимизационная задача может рассматриваться как вспомогательная для решения общей задачи оптимизации и одновременно для вычисления такого режимного параметра, как производительность по сырью. Это даст возможность при постановке общей задачи поиска оптимального проектного решения не вводить в число варьируемых параметров производительность по исходному сырью и выход товарного продукта.

Следует подчеркнуть, что всякий набор конструктивных и технологических параметров барабанного сепаратора однозначно определяет производительность по исходному сырью и выход товарного продукта, которые при этих параметрах с учетом некоторых фиксированных свойств зерновой смеси обеспечивают максимум производительности аппарата по готовому продукту.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Пронин В. А., Уколов А. А., Романов А. А. Моделирование и оптимизация процесса многоступенчатой сепарации "Мультисег", "Труды ТГТУ", Тамбов: 2000 г. С. 18 - 23.

2 Пронин В. А. Автореферат дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук., Тамбов, 1998. 16 с.

УДК 51.001.57:536.24.08

П. В. Балабанов, С. В. Пономарев, Е. С. Пономарева

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕТОДА И
УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ
СВОЙСТВ РЕГЕНЕРАТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ**

Измерительное устройство, предназначенное для измерения теплофизических свойств твердых и сыпучих регенеративных веществ, представляет собой (рис. 1) плоскую симметричную многослойную систему.

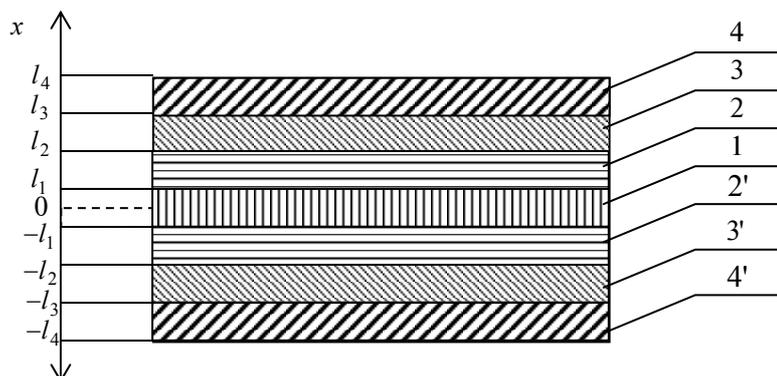


Рис. 1. Физическая модель.

Первый слой системы представляет собой навитые по спирали Архимеда медную и манганиновую проволоки, приклеенные к пластине из слюды (слой 2) и выполняющие функцию термометра сопротивления и нагревателя соответственно. К противоположной поверхности первого слоя приклеивается другая пластина из слюды (слой 2'). Пластины из слюды помещены между защитными металлическими слоями 3 и 3', на внешних поверхностях, которых размещены слои 4 и 4' исследуемого материала. Так как многослойная система симметрична относительно координаты $x = 0$, то математическую модель можно записать для половины системы ($0 \leq x \leq l_4$).

Математическая модель измерительного устройства описывается дифференциальными уравнениями

$$\frac{\partial T_i(x, \tau)}{\partial \tau} = a_i \frac{\partial^2 T_i(x, \tau)}{\partial x^2} + \frac{W_i}{c_i \rho_i}, \quad \tau > 0, \quad l_{i-1} < x < l_i, \quad i = 1, 2, 3, 4, \quad l_0 = 0 \quad (1)$$

с начальными условиями

$$T_1(x, 0) = T_2(x, 0) = T_3(x, 0) = T_4(x, 0) = T_0 = \text{const},$$

с граничными условиями:

$$\left. \frac{\partial T_1(x, \tau)}{\partial x} \right|_{x=0} = 0, \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} T_i(x, \tau) \Big|_{x=l_i-0} = T_{i+1}(x, \tau) \Big|_{x=l_i+0}, \\ \lambda_i \frac{\partial T_i(x, \tau)}{\partial x} \Big|_{x=l_i-0} = \lambda_{i+1} \frac{\partial T_{i+1}(x, \tau)}{\partial x} \Big|_{x=l_i+0}, \quad i = 1, 2, 3, \end{array} \right. \quad (3)$$

$$T_4(x, \tau) \Big|_{x=l_4} = T_0 = \text{const}, \quad (4)$$

где $c_i \rho_i$ - объемная теплоемкость, λ_i - теплопроводность, a_i - температуропроводность и W_i - объемная плотность внутренних источников тепла i -го слоя, причем, $W_1 = \text{const}$, $W_2 = W_3 = W_4 = 0$.

Эксперимент по нахождению теплофизических свойств проводится в два этапа. На первом этапе подают постоянную мощность на нагреватель и дожидаются установления в системе стационарного распределения температуры. После этого теплопроводность четвертого слоя вычисляют по формуле

$$\lambda_4 = \frac{\lambda_3(l_4 - l_3)}{\frac{\lambda_3}{W_1 l_1} (\bar{T}_{1\infty} - T_0) - \frac{1}{3} \frac{\lambda_3}{\lambda_1} l_1 - \frac{\lambda_3}{\lambda_2} (l_2 - l_1) + l_2 - l_3}, \quad (5)$$

вывод которой аналогичен рассмотренному в статье [1]. В формуле (5) $\bar{T}_{1\infty}$ - среднее значение стационарной температуры первого слоя, измеренное термометром сопротивления в конце первого этапа эксперимента.

После достижения стационарного распределения температуры и измерения $\bar{T}_{1\infty}$, нагреватель выключают. С этого момента начинается второй этап эксперимента.

Температурное поле многослойной системы на втором этапе описывается дифференциальными уравнениями

$$\frac{\partial \Theta_i(\bar{x}, Fo)}{\partial Fo} = \alpha_i \frac{\partial^2 \Theta_i(\bar{x}, Fo)}{\partial \bar{x}^2}, \quad \frac{l_{i-1}}{l_4} < \bar{x} < \frac{l_i}{l_4}, \quad Fo > 0, \quad i = 1, 2, 3, 4, \quad (6)$$

с начальными условиями

$$\Theta_i(\bar{x}, Fo) \Big|_{\frac{l_{i-1}}{l_4} < \bar{x} < \frac{l_i}{l_4}, Fo=0} = \bar{\Theta}_i(\bar{x}), \quad i = 1, 2, 3, 4,$$

с граничными условиями:

$$\frac{\partial \Theta_1(\bar{x}, Fo)}{\partial \bar{x}} \Big|_{\bar{x}=0} = 0, \quad (7)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Theta_i(\bar{x}, Fo) \Big|_{\bar{x}=\frac{l_i}{l_4}-0} = \Theta_{i+1}(\bar{x}, Fo) \Big|_{\bar{x}=\frac{l_i}{l_4}+0}, \\ \lambda_i \left(\frac{\partial \Theta_i(\bar{x}, Fo)}{\partial \bar{x}} \right) \Big|_{\bar{x}=\frac{l_i}{l_4}-0} = \lambda_{i+1} \left(\frac{\partial \Theta_{i+1}(\bar{x}, Fo)}{\partial \bar{x}} \right) \Big|_{\bar{x}=\frac{l_i}{l_4}+0}, \quad i = 1, 2, 3, \end{array} \right. \quad (8)$$

$$\Theta_4(\bar{x}, Fo) \Big|_{\bar{x}=1} = 0, \quad (9)$$

где $\alpha_i = \frac{a_i}{a_1}$, $i = 1, 2, 3, 4$, $\bar{x} = \frac{x}{l_4}$ - безразмерная координата, $Fo = \frac{a_1 \tau}{l_4^2}$ - безразмерное время, $\Theta(\bar{x}, Fo) = \frac{T(\bar{x}, Fo) - T_0}{\bar{T}_{1\infty} - T_0}$ - безразмерная температура, $\bar{\Theta}_i(\bar{x})$ - распределение безразмерной температуры, полученное в конце первого этапа эксперимента, являющееся начальным условием задачи (6) - (9).

Решение нестационарной задачи (6) - (9), полученное методом разделения переменных, имеет вид

$$\Theta_i(\bar{x}, Fo) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \exp(-\varepsilon_n^2 Fo) R_{in}(\bar{x}), \quad i = 1, 2, 3, 4, \quad (10)$$

где ε_n^2 - собственные значения, а $R_{in}(\bar{x})$ - собственные функции задачи Штурма-Лиувилля:

$$R_i''(\bar{x}) + \varepsilon^2 / \alpha_i R_i(\bar{x}) = 0, \quad i = 1, 2, 3, 4, \quad (11)$$

$$\frac{dR_1(\bar{x})}{d\bar{x}} \Big|_{\bar{x}=0} = 0, \quad (12)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} R_i(\bar{x}) \Big|_{\bar{x}=\frac{l_i}{l_4}-0} = R_{i+1}(\bar{x}) \Big|_{\bar{x}=\frac{l_i}{l_4}+0}, \\ \lambda_i \left(\frac{dR_i(\bar{x})}{d\bar{x}} \right) \Big|_{\bar{x}=\frac{l_i}{l_4}-0} = \lambda_{i+1} \left(\frac{dR_{i+1}(\bar{x})}{d\bar{x}} \right) \Big|_{\bar{x}=\frac{l_i}{l_4}+0}, \quad i = 1, 2, 3, \end{array} \right. \quad (13)$$

$$R_4(\bar{x}) \Big|_{\bar{x}=1} = 0. \quad (14)$$

При значениях Fo , превышающих некоторое Fo^* , ряд (10) мало отличается от первого члена ряда, т.е.

$$\Theta_i(\bar{x}, Fo) \approx A_1 \exp(-\varepsilon_1^2 Fo) R_{i1}(\bar{x}).$$

Тогда средняя безразмерная температура первого слоя может быть вычислена по формуле

$$\tilde{\Theta}_1(Fo) \approx A_1 \exp(-\varepsilon_1^2 Fo) \int_0^{l_1/l_4} R_{11}(\bar{x}) d\bar{x} / \int_0^{l_1/l_4} d\bar{x} = B_1 \exp(-\varepsilon_1^2 Fo).$$

Прологарифмировав это выражение, получим

$$\ln \tilde{\Theta}_1(Fo) = -\varepsilon_1^2 Fo + \ln B_1, \text{ где } B_1 = A_1 \int_0^{l_1/l_4} R_{11}(\bar{x}) d\bar{x} / \int_0^{l_1/l_4} d\bar{x}.$$

В ходе второго этапа эксперимента измеряют значения средней температуры первого слоя \bar{T}_{1j} в моменты времени τ_j , вычисляют $\tilde{\Theta}_{1j} = (\bar{T}_{1j} - T_0) / (\bar{T}_{1\infty} - T_0)$ и $Fo_j = a_1 \tau_j / l_4^2$, а затем находят значение ε_1^2 как тангенс угла наклона прямолинейного участка зависимости $\ln(\tilde{\Theta}_{1j}) = f(Fo_j)$, $j = 1, 2, \dots, k$. Подставив найденное значение ε_1^2 в задачу Штурма-Лиувилля (11) - (14), численным методом подбирают значение $\alpha_4 = a_4 / a_1$, удовлетворяющее указанной задаче, а искомую температуропроводность a_4 вычисляют по формуле $a_4 = \alpha_4 a_1$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Mischenko S. V., Ponomarev S. V., Grigorieva S. V., Divin A. G., Mischenko E. S., Ponomareva E. S. Method and Automated Device for Liquids Thermophysical Properties Measurement // Вестник ТГТУ. 1998. Т. 5, № 1. С. 244 - 254.

КАФЕДРА

"АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ И ПРИБОРЫ"

УДК 532.545

*В. Я. Борщев, П. А. Иванов, Г. А. Деев**

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЛЩИНЫ СЛОЯ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОТОКА НА ШЕРОХОВАТОМ СКАТЕ

При экспериментальном исследовании быстрого гравитационного течения зернистых сред широко используются методы, основанные на анализе фазы свободного падения частиц [1]. Данные методы отличаются простотой эксперимента и достаточно высокой точностью определения параметров структуры потока зернистой среды. Комплексную информацию о динамике течения позволяет получить относящийся к этой группе экспериментально-аналитический метод [2]. Данный метод реализуется на установке, содержащей наклонный канал прямоугольного сечения и кювету. Кювета, установленная под нижней кромкой канала и служащая для приема падающих частиц, разделена поперечными перегородками на ячейки. Опыт экспериментального и аналитического исследования показывает, что точность и статистическая однородность результатов определения исследуемых параметров динамики быстрого сдвигового гравитационного течения, получаемых с помощью экспериментально-аналитического метода, существенно зависят от точности измерения толщины потока. О необходимости точного определения толщины движущегося слоя свидетельствует тот факт, что, как установлено при моделировании, погрешность ее определения в 1 мм приводит к существенному разбросу данных по динамике течения зернистой среды даже при толщине слоя 35 - 40 мм.

Распространенное в исследовательской практике визуальное определение толщины движущегося слоя характеризуется низкой надежностью результатов. Это связано, в первую очередь, с хаотическим расплескивающимся перемещением отдельных частиц у открытой поверхности слоя. В связи с этим актуальной является задача разработки метода достаточно точного определения толщины гравитационного потока.

В данной работе предлагается и обосновывается метод определения толщины гравитационного потока на шероховатом скате. Предложенный метод основывается на учете взаимосвязи между распределением материала по высоте слоя на пороге сыпания наклонного канала с распределением частиц по ячейкам кюветы [2].

На рис. 1 изображена типичная функция распределения массы материала, сыпавшегося из наклонного канала, по ячейкам кюветы. Как видно из рисунка, начиная с определенной ячейки (в данном случае с 15), масса материала в этой и последующих ячейках составляет менее 1 % от общей массы, а кривая распределения превращается в горизонтальную

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора

В. Н. Долгунина.

линию. Такой вид кривой распределения позволяет сделать предположение, что именно эта ячейка соответствует верхней границе потока, делящей его на две части. Ниже данной границы наблюдается развитое сдвиговое течение, а выше имеет место вылет из слоя отдельных не взаимодействующих друг с другом частиц, вследствие их хаотического "расплескивания". Следовательно, можно сделать вывод, что сыпавшийся материал, заполняющий крайние ячейки, соответствующие горизонтальному участку на кривой распределения, не оказывает существенного влияния на динамику течения зернистой среды. Очевидно, что участок открытой поверхности слоя, который образуется за счет случайного выброса в него отдельных частиц, не должен учитываться при измерении. В итоге, определенная таким образом толщина слоя будет соответствовать толщине слоя развитого сдвигового течения.

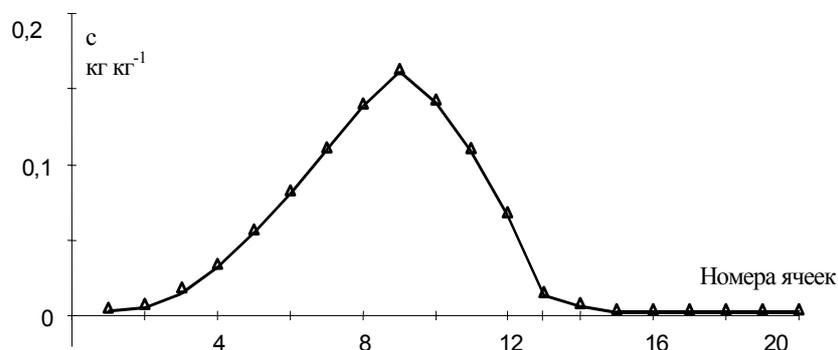


Рис. 1 Функция распределения массы слоя керамических гранул толщиной $h = 40$ мм по ячейкам горизонтальной кюветы

Предложенный метод определения толщины гравитационного потока реализуется на экспериментальной установке (рис. 2), состоящей из наклонного канала 1 прямоугольного сечения и кюветы 2. Кювета, установленная под нижней кромкой канала и служащая для приема падающих частиц, разделена поперечными перегородками 3 на ячейки. В канале 1 закреплена ограничительная планка 4 для регулирования толщины и длины скатывающегося слоя. В непосредственной близости от порога сыпания на высоте h от дна канала параллельно плоскости скатывания установлена пластина-разделитель 5, заканчивающаяся сборником частиц 6. Функциональное назначение пластины заключается в отборе из верхней части потока "выплескиваемых" частиц и направлении их в сборник. Для измерения толщины потока материала служит линейка 7.

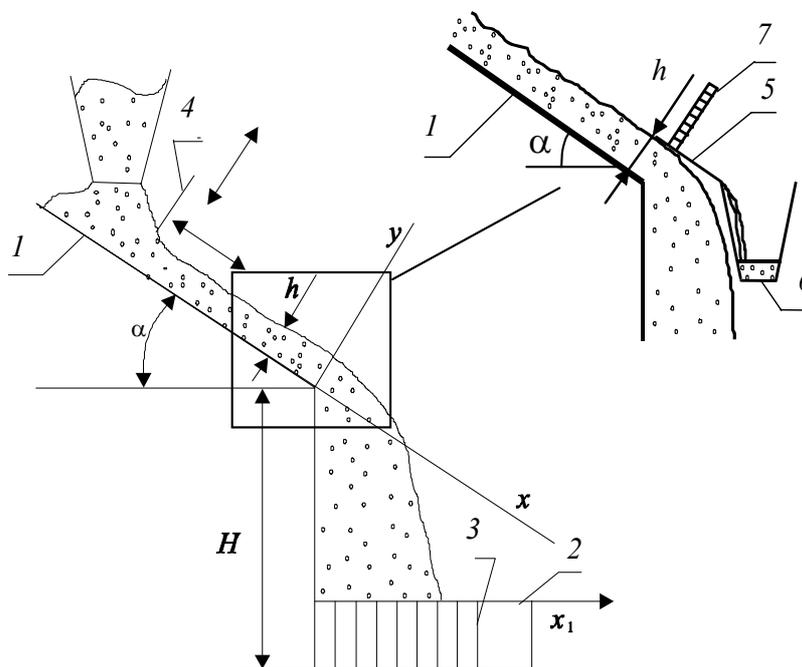


Рис. 2 Общий вид экспериментальной установки для исследования параметров гравитационного потока зернистой среды

Методика определения толщины гравитационного потока заключается в следующем. Первая серия опытов проводится на установке без пластины-разделителя и сборника частиц. Первоначально устанавливают требуемые величины угла наклона плоскости ската, толщины и длины движущегося слоя. Затем в необходимом количестве дозируют исследуемый материал непосредственно в канал. Вначале скатывающийся материал принимают в буферную емкость. После наступления режима установившегося гравитационного течения открывают доступ сыпавшегося из канала материала в кювету. При этом

одновременно фиксируется время заполнения ячеек кюветы материалом и примерная высота слоя для заданного режима его течения. Содержимое ячеек после их заполнения в стационарном режиме взвешивают. По результатам взвешивания получают функцию распределения массы материала по ячейкам кюветы (рис. 1).

Вторая серия опытов проводится на установке с использованием пластины-разделителя и сборника частиц. В данном случае после достижения стационарного режима открывают доступ материала в сборник. При этом обеспечивают строгое равенство времени заполнения кюветы и сборника частицами сыпавшегося материала. Затем определяют массу материала в сборнике и сравнивают ее с массой материала в последних ячейках кюветы, соответствующих горизонтальной линии на кривой распределения. Если масса частиц в сборнике более чем на 3 % отличается от массы частиц в последних ячейках кюветы, то пластину-разделитель или поднимают или опускают. После чего эксперимент повторяется. При разнице указанных масс меньше 3 % получают искомую толщину гравитационного потока.

Экспериментальные исследования по определению толщины гравитационного потока проведены на четырех материалах (аммофос, керамика, силикагель и стеклянный бисер), различающихся средним диаметром частиц и плотностью.

Практика использования предложенного метода свидетельствует о возможности измерить толщину слоя гравитационного потока с точностью $\pm 0,5$ мм, что обеспечивает удовлетворительную статистическую однородность результатов, определяемых с помощью экспериментально – аналитического метода исследования параметров потока [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Долгунин В. Н., Уколов А. А., Борщев В. Я., Четвертков В. В. Исследование механизма сегрегации частиц при сдвиговом течении // Процессы в зернистых средах: Межвуз. сб. тр. Иваново, 1989. С. 87 - 90.
- 2 Dolgunin V. N., Ukolov A. A. // Powder Technology. 83. 1995, p. 95.

КАФЕДРА "ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ"

УДК 658.011.46

В. М. Червяков, А. В. Вахлис, Д. В. Глазатов

ПРОХОДНОЕ СЕЧЕНИЕ МОДУЛЯТОРА РОТОРНОГО АППАРАТА ПРИ МАЛЫХ ЗАЗОРАХ МЕЖДУ РОТОРОМ И СТАТОРОМ

Одним из важнейших факторов, интенсифицирующих процессы химической технологии, является импульсная кавитация. Интенсивность кавитации определяется глубиной отрицательного импульса давления, генерируемого модулятором роторного аппарата. С уменьшением радиального зазора между ротором и статором интенсивность кавитации резко возрастает. Форма и величина импульсов давления определяется, не в последнюю очередь, законом изменения площади проходного сечения прерывателя. Следует отметить, что в работах [1] и [2], где для описания закономерностей нестационарного движения жидкостей в каналах ротора и статора используется нестационарное уравнение Бернулли, закон изменения площади проходного сечения модулятора практически не влияет на характер теоретических кривых изменения давления во времени, т.е. можно принимать изменение площади модулятора, например, в виде "треугольника". Это не отражает физической сущности процесса "открытия" и "закрытия" каналов статора. Очевидно, что действие закона "треугольника" возможно только при отсутствии радиального зазора между ротором и статором, что в реальных аппаратах невозможно. Наличие радиального зазора должно сглаживать форму изменения площади проходного сечения модулятора. Этот вывод следует из анализа движения жидкости. Изменение скорости течения жидкой среды пропорционально изменению площади проходного сечения канала и расхода жидкости через аппарат. Расход обрабатываемой среды в роторном аппарате считается постоянным и определяется расходом центробежного насоса. Из-за инерционных свойств среды график изменения скорости жидкости не может иметь скачков и изломов. Таким образом, реальная форма кривых, описывающих площадь прерывателя не должна иметь изломов, но при нулевом радиальном зазоре должна трансформироваться в "треугольник".

Наиболее полно предъявляемым требованиям отвечают зависимости, приведенные в работе [1]. Однако в момент времени окончания процесса открытия канала статора кривая изменения площади проходного сечения модулятора имеет излом. Кроме того, в работе [1] не учтено течение жидкости через зазор по ширине канала статора. Как показано в работе [3] неучитывание этого течения приводит к большим ошибкам при определении минимальной площади проходного сечения.

На основании проведенного геометрического анализа процесса изменения взаимного положения каналов ротора и статора получено выражение для площади проходного сечения модулятора для малых значений радиального зазора. Выражения записаны в безразмерном виде.

$$\bar{S}(\bar{t}) = \begin{cases} \sqrt{\bar{t}^2 + \delta_a^2} + \frac{\delta_h m(\bar{t} - p)}{(pm + \delta_h n)\bar{t} - pm}, & 0 < \bar{t} \leq 1 \\ 1, & 1 < \bar{t} \leq A \\ \sqrt{(A+1-\bar{t})^2 + \delta_a^2} + \frac{\delta_h m(A+1-\bar{t} - p)}{(pm + \delta_h n)(A+1-\bar{t}) - pm}, & A < \bar{t} \leq A+1 \\ \delta_a + \delta_h, & A+1 < \bar{t} \leq B-1 \end{cases} \quad (1)$$

Выражение применимо при $\delta_a < 0,1$ и $\delta_h < 0,1$.

В уравнении (1) приняты следующие обозначения:

$$A = \frac{a_p}{a_c}; B = \frac{b_p}{a_c}; \delta_a = \frac{2\delta}{a_c}; \delta_h = \frac{2\delta}{h_c},$$

где a_p, a_c – ширина каналов ротора и статора, м; b_p – ширина промежутка между каналами ротора, м; h_c – высота каналов статора, м; δ – радиальный зазор между ротором и статором, м; δ_a и δ_h – безразмерные радиальные зазоры.

Коэффициенты m, n, p определяются из следующих выражений:

$$m = \sqrt{1 + \delta_a^2} - 1; n = \sqrt{1 - \delta_a^2} - 1; p = \sqrt{1 - \delta_a^2}.$$

За масштаб времени принято

$$T = \frac{a_c}{\omega R}, \quad (2)$$

где ω – угловая скорость вращения ротора, c^{-1} ; R – наружный радиус ротора, м.

Безразмерное время определяется как

$$\bar{t} = \frac{t}{T}. \quad (3)$$

Относительная сложность выражений (1) легко разрешается современным состоянием вычислительных средств.

Используя программу MatchCad, построены графики для сравнения предложенной зависимости изменения площади проходного сечения с результатами работ [1] и [3].

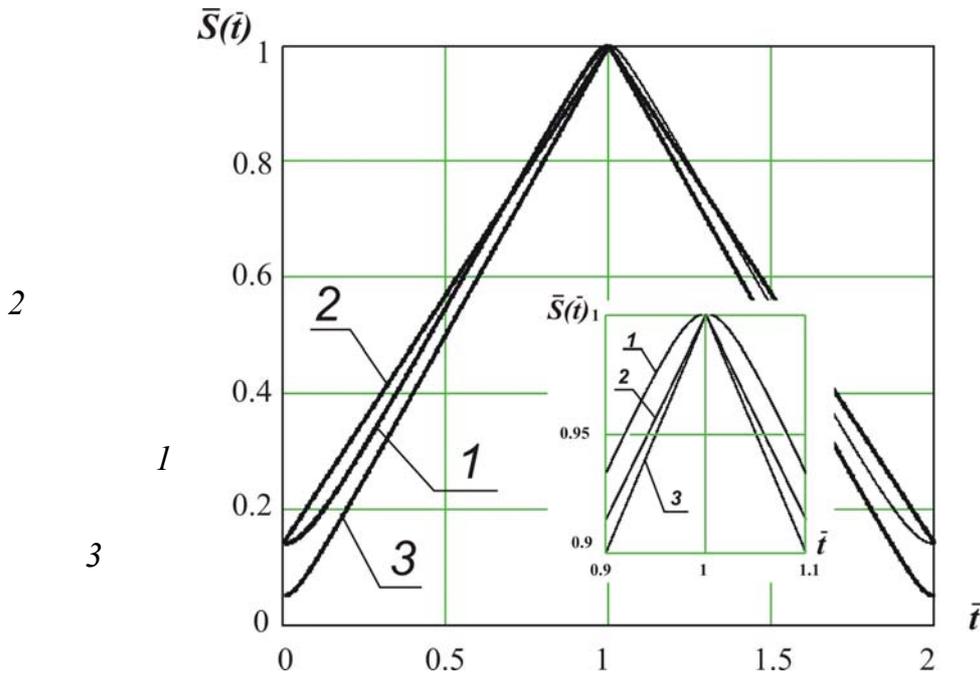


Рис. 1 Изменение безразмерной площади поперечного сечения модулятора:
 1 – по формуле (1); 2 – по формуле (4) из работы [3];
 3 – по формуле (2.13) из работы [1].
 $\delta = 0,1$ мм, $a_c = 2$ мм, $h_c = 5$ мм, $A = 1$

Из анализа графиков следует, что предложенные зависимости физически обоснованно описывают процесс "открытия" и "закрытия" канала статора при малых радиальных зазорах. Особенно различаются значения в определении $\bar{S}(0) = \bar{S}_{\min}$ по предложенной формуле (1) и формуле (2.13) из работы [1]. Кроме того, можно рекомендовать использовать более простое

выражение (4) из работы [3] в случаях, когда характер изменения площади сечения модулятора не особенно важен, например, при определении гидравлического сопротивления модулятора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Балабышко А. М., Зимин А. И., Ружицкий В. П. Гидромеханическое диспергирование. М.: Наука, 1998. 330 с.
- 2 Промтов М. А. Пульсационные аппараты роторного типа: Теория и практика: Монография. М.: Машиностроение-1, 2001. 260 с.
- 3 Вахлис А. В., Червяков В. М. Изменение площади проходного сечения модулятора роторного аппарата // Труды ТГТУ. Вып. 8. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2001. С. 84 - 89.

КАФЕДРА "ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ МАШИН И ДЕТАЛИ МАШИН"

УДК 66.02.001

С. Н. Маковеев, П. Ю. Перепелкина, С. В. Карпушкин

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЫБОРА И РАСЧЕТА АППАРАТОВ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ СУСПЕНЗИЙ

Аппараты для разделения суспензий (фильтры и центрифуги) входят в состав основной аппаратуры химических, фармацевтических, горно-обогачительных производств. Проблема выбора типа аппарата, обеспечивающего надежное и эффективное разделение конкретной суспензии, возникает как при проектировании новых, так и при перепрофилировании действующих производств на выпуск новой продукции. Последнее особенно актуально для многоассортиментных малотоннажных химических производств, примерами которых могут служить производства химических красителей и полупродуктов, добавок к полимерным материалам, кинофотоматериалов, фармацевтических препаратов. Для этих производств характерна быстрая смена ассортимента выпускаемой продукции, так что практически любой аппарат за время эксплуатации используется в различных технологических схемах для обработки суспензий с разными свойствами. Изменение ассортимента продукции производства требует проверки пригодности имеющихся аппаратов для осуществления новых процессов, т.е. выполнения поверочных технологических, энергетических и механических расчетов.

Предлагаемая формулировка общей задачи выбора и расчета аппарата для разделения суспензий предусматривает:

I Выбор типа аппарата (фильтр или центрифуга), его конструкции и исполнения, вида фильтровальной перегородки, наиболее приемлемых для разделения конкретной суспензии.

II Определение числа аппаратов N , рабочей поверхности F_p или рабочего объема V_p и скорости перемещения (вращения) рабочего органа, обеспечивающих требуемую производительность Q по суспензии с заданными свойствами, а также выполнение условий работоспособности аппарата и условий прочности элементов конструкции. Например, для фильтрующих центрифуг периодического действия необходимо определить число аппаратов, рабочий объем и частоту вращения ротора n при которых критерий

$$Z = Nf(V_p, n) \quad (1)$$

достигает минимума и выполняются условия (см. РТМ 26-01-62-73, РД РТМ 26-01-116-79, РД 26-11-17-88):

- работоспособности центрифуги и фильтровальной перегородки

$$\begin{cases} d \geq d_{\min}; \\ \rho_T - \rho_{ж} \geq \Delta\rho_{\min}; \\ C \geq C_{\min}; \\ T_{\min} \leq T \leq T_{\max}; \\ N_{пр} \leq N_{эд} \end{cases} \quad (2)$$

- обеспечения заданной производительности

$$Q \geq N \frac{\rho_{ж} (2\pi n)^2 r F_p V_p \varphi}{\mu [\alpha_{V_{cp}} (1-u) V_p \varphi + \beta F_p]}; \quad (3)$$

- прочности элементов ротора центрифуги

$$\sigma_{экв_i} \leq \sigma_{доп_i}, \quad i = 1, \dots, K_3, \quad (4)$$

где $f(V_p, n)$ – зависимость стоимости центрифуги от параметров V_p и n ; d – минимальный диаметр частиц, подлежащих выделению из суспензии; d_{\min} – диаметр отверстий фильтровальной перегородки; $\rho_T, \rho_{ж}$ – плотность твердой и жидкой фазы суспензии; C – концентрация твердой фазы в суспензии; T – температура суспензии; $N_{пр}, N_{эд}$ – необходимая мощность привода и мощность электродвигателя центрифуги; r, φ – внутренний радиус ротора и коэффициент его заполнения

осадком; μ – динамическая вязкость жидкой фазы суспензии; $\alpha_{r, \text{cp}}$ – среднее удельное объемное сопротивление осадка; β – сопротивление фильтровальной перегородки; u – отношение объемов осадка и фильтрата; $\sigma_{\text{экв}i}$, $\sigma_{\text{доп}i}$ – эквивалентное напряжение в опасном сечении i -го элемента ротора (обечайки, днища, спицы или кольца розетки) и допускаемое напряжение материала i -го элемента; K_r – число элементов ротора, проверяемых на прочность.

Существующая версия системы создана в среде MathCAD. Она включает электронные книги, примеры расчетов аппаратов и справочные данные. Электронные книги системы содержат регламентированные РД и РТМ методические указания по проведению следующих видов расчетов:

- технологический расчет фильтров периодического действия (фильтрование с образованием осадка) в режимах постоянного перепада давления и постоянной скорости фильтрования (РТМ 26-01-10-67);
- технологический расчет барабанных (РТМ 26-01-5-64) и ленточных (РТМ 26-01-61-73) вакуум-фильтров;
- технологический расчет центрифуг периодического действия: маятниковых, подвесных, горизонтальных с ножевой выгрузкой осадка (РТМ 26-01-62-73, РД РТМ 26-01-116-79);
- механический расчет элементов фильтрующего барабана (РТМ 26-01-82-76) и ротора центрифуги (РД 26-11-17-88);
- расчет необходимой мощности приводов фильтров непрерывного действия и центрифуг периодического действия.

В электронных книгах имеются ссылки на примеры расчетов промышленных фильтров и центрифуг, а также на справочные файлы системы, содержащие информацию об основных характеристиках и областях применения фильтров и центрифуг упомянутых конструкций, фильтровальных перегородок различных типов, свойствах конструкционных материалов. Разделы электронных книг выполнены в виде рабочих файлов MathCAD без присвоения переменным конкретных значений. С помощью книг и файлов примеров расчетов пользователь может легко сформировать собственный рабочий файл MathCAD для конкретного вида расчета конкретного аппарата.

Существующая версия системы значительно облегчает проектно-конструкторские работы, освобождая пользователя от поиска методической литературы, справочной информации, от рутинной вычислительной работы, гарантирует отсутствие ошибок в расчетах. Однако, эта версия системы ориентирована только на проведение определенного вида расчета для выбранного аппарата и не позволяет решать задачи вида (1) - (4).

В настоящее время разрабатывается вторая версия системы (среда Visual Basic). В ее состав входят:

- информационно-поисковый модуль выбора типа, конструкции и исполнения аппарата, фильтровальной перегородки;
- разработанные на основе вышеуказанных РД и РТМ программные модули технологического, энергетического и механического расчета фильтров периодического и непрерывного действия, центрифуг периодического действия;
- модули ввода исходных данных для выбора и расчета аппаратов, вывода результатов расчетов в установленной форме;
- электронные каталоги характеристик промышленных аппаратов (тип, геометрия, частота перемещения рабочего органа, материал элементов, мощность электродвигателя и т.д.), фильтровальных перегородок, свойств конструкционных материалов.

Информационно-поисковый модуль включает электронные таблицы степени соответствия фильтров, центрифуг и фильтрующих перегородок различных типов параметрам промышленных суспензий и категории производства. Исходные данные для работы модуля представляются в виде опросного листа, где факторы, оказывающие влияние на выбор оборудования, объединены в три основные группы:

- характеристики суспензии (содержание твердой фазы, средний размер ее частиц, температура, токсичность, взрывопожароопасность);
- требования к осадку и фильтрату (допускаемая влажность осадка, содержание твердой фазы в фильтрате, условия промывки и способ выгрузки осадка);
- технологические возможности оборудования (возможные режимы разделения суспензии, допускаемые перепады давлений, интервал рабочих температур).

Результатом работы модуля являются типоразмеры промышленных аппаратов из электронного каталога, тип и конструкция которых наиболее подходят для разделения суспензии с заданными свойствами в указанных условиях. Пользователь имеет возможность сузить область поиска конкретных аппаратов в электронном каталоге путем ввода дополнительных факторов (указания типа и исполнения аппарата, размеров рабочего органа, конструкционного материала). Факторы поиска необходимо объединить операциями "и", "или", а их значения могут быть заданы с помощью условий "равно", "не равно", "больше или равно", "меньше или равно".

Программные модули реализуют алгоритмы решения задач вида (1) - (4) для различных аппаратов. Алгоритмы предусматривают:

- формирование по результатам работы информационно-поисково-го модуля возможных вариантов аппаратурного оформления процесса разделения конкретной суспензии;
- проведение всех видов расчетов, необходимых для проверки выполнения условий вида (2) - (4) и выбор по критерию вида (1) лучшего из вариантов, удовлетворяющих этим условиям.

Промышленный вариант первой версии системы передан в проектно-конструкторский отдел Тамбовского ОАО "Пигмент" для опытной эксплуатации. Учебный вариант используется студентами ТГТУ (специализация 17.05.14 "Гибкие автоматизированные производственные системы в технологии машин и аппаратов химической технологии") при выполнении расчетных заданий по дисциплинам "Технологическое оборудование ГАПС", "Процессы и аппараты химической технологии", при выполнении курсовых и дипломных проектов.

КАФЕДРА "ГИБКИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ"

УДК 66.011.001.57:677.842.41

Д. С. Дворецкий*

ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНЫХ ТРУБЧАТЫХ РЕАКТОРОВ ТОНКОГО ОРГАНИЧЕСКОГО СИНТЕЗА

Объектом проектирования является опытно-промышленный турбулентный трубчатый реактор синтеза азокрасителей производительностью 1000 т красителя в год. Техническое задание на проектирование включает: выход диазосоединения K_D не должен быть ниже 98 %, т.е. $K_D \geq 98,0$ %; "проскок" твердой фазы амина η в реакторе диазотирования не должен превышать 1 %, т.е. $\eta \leq 1$ %; содержание диазосмол P_χ в диазорастворе не должно превышать 0,5 %, т.е. $P_\chi \leq 0,5$ %; содержание нитрозных газов P_σ в диазорастворе не должно превышать 1 %, т.е. $P_\sigma \leq 1$ %. Переходные процессы в системах стабилизации режимных переменных процессов диазотирования и азосочетания должны удовлетворять требованиям технического задания на качество регулирования.

Выполнение вышеперечисленных требований ТЗ на проектирование реакторных установок необходимо обеспечить в условиях неопределенности отдельных параметров (коэффициентов математической модели, входных параметров и внешних факторов) на этапе проектирования, а именно: концентрации твердой фазы амина $[c_A^{(0)}]_S$ и среднего радиуса \bar{r} частиц амина в питании реактора, кинетических коэффициентов (энергий активации при разложении диазосоединения E_{04}, E_{05} , коэффициента теплопередачи K_T от реакционной смеси к хладагенту в реакторе диазотирования).

Номинальные значения и интервалы изменения неопределенных переменных и коэффициентов модели приведены в табл. 1.

При решении задачи оптимизации процесса и реактора диазотирования необходимо определить конструктивные и режимные переменные реакторной установки, при которых обеспечивается гибкость (работоспособность) установки и требования технологического регламента производства (см. выше).

1 Номинальные значения и интервалы изменения неопределенных параметров для процесса диазотирования

Неопределенные параметры, θ	Номинальные значения неопределенных параметров	Интервал изменения неопределенных параметров
Концентрация твердой фазы амина $[c_A^{(0)}]_S$, моль/м ³	400,0	[388,0; 412,0]
Средний размер частиц амина, мкм	1,24	[0,93; 1,55]
Кинетические коэффициенты, Дж/моль		
E_{04}	63 690	[62 735; 64 645]
E_{05}	87 150	[85 843; 88 457]
Коэффициент теплопередачи K_T , Вт/м ² К	187	[168; 205]

В качестве независимых (оптимизационных) переменных будем рассматривать структуру a реактора (число секций N реактора, число a_1 – вертикальных труб и a_2 – камер смешения в одной секции), диаметр $d_{тр}$ и длину $l_{тр}$, объем V_K камеры смешения, распределение температуры $T^{(i)}$ и подачи нитрита натрия $\gamma(i)$ по зонам $i = 1, 2, 3$ (длине) реактора.

* Работа выполнена под руководством Заслуженного деятеля РФ, д-ра техн. наук, профессора В. И. Бодрова.

В качестве критерия оптимизации будем использовать приведенные затраты C на производство 1 т пигмента.

Работоспособность турбулентного трубчатого реактора определяется условиями неосаждения агрегатов твердой фазы амина в вертикальных трубах, обеспечения заданной производительности и турбулентного режима течения реакционной смеси в зоне реакции. Основными параметрами, обеспечивающими выполнение этих условий при заданной производительности, являются внутренний диаметр вертикальной трубы и концентрация твердой фазы амина в питании реактора. В нашей работе [1] показано, что при заданной производительности $Q = 1000$ т/год максимально допустимыми значениями диаметра трубы и концентрации амина являются $d_{тр} = 0,04$ м и $[c_A^{(0)}]_S = 400$ моль/м³.

Постановка задачи оптимизации конструктивных и режимных переменных реактора диазотирования комбинированного типа имеет следующий вид: требуется определить структуру реактора a^* , векторы конструктивных d^* и режимных z^* переменных такие, чтобы приведенные затраты на производство 1т пигмента достигали максимального значения, т.е. $\bar{C}(a^*, d^*, z^*) = \min_{a, d, z} M_0 \{C(a, d, z, \theta)\}$, при связях в форме уравнений математической модели статики процесса диазотирования и ограничениях

$$M_0 \{Q(a, d, z, \theta)\} \geq 1000 \text{ т/год}; \quad \text{Вер}_0 \{K_D(a, d, z, \theta) \geq 98,0 \%\} \geq \rho_{\text{зад}};$$

$$\text{Вер}_0 \{\Pi_\lambda(a, d, z, \theta) \leq 0,5\%\} \geq \rho_{\text{зад}}; \quad \text{Вер}_0 \{\Pi_\sigma(a, d, z, \theta) \leq 1,0 \%\} \geq \rho_{\text{зад}},$$

где a – целочисленный вектор с компонентами: a_1, a_2 - число вертикальных труб и камер смешения в одной секции; N - число секций реактора; d - вектор конструктивных переменных, $d = \{d_{тр}, l_{тр}, V_K\}$, z - вектор режимных (управляющих) переменных, $z = \{T^{(i)}, \gamma^{(i)}, i = 1, 2, 3\}$, $\gamma^{(i)} = G^{(0)(i)} / G_N^{(0)}, i = 1, 2, 3$.

Как было отмечено ранее [1], диаметр $d_{тр}$ вертикальной трубы выбирается однозначно из условий обеспечения заданной производительности, неосаждения твердой фазы и турбулентности режима течения реакционной массы и поэтому его можно исключить из числа оптимизируемых переменных.

Поскольку в задаче присутствуют целочисленные переменные N, a_1, a_2 , то ее решение осуществляли методом целенаправленного перебора, исходя, в первую очередь, из конструктивных соображений. Внутреннюю и внешнюю задачи нелинейного программирования решали методом последовательного программирования с использованием программы "ROPUD" [2].

Результаты решения задачи оптимизации приведены в табл. 2. Здесь же для сравнения приводятся результаты расчета оптимальных конструктивных и режимных переменных реактора диазотирования без учета неопределенности.

Все расчеты проводили при следующих значениях входных переменных: концентрация твердой фазы амина $[c_A^{(0)}]_S = 400,0$ моль/м³.

2 Результаты решения задачи оптимизации

Наименование переменных задачи	Значения переменных	
	без учета неопределенности	с учетом неопределенности
Конструктивные переменные		
Число секций реактора N , шт.	7	12
Число вертикальных труб a_1 , шт.	5	
Число камер смешения a_2 , шт.	1	
Диаметр трубы $d_{тр}$, м	0,04	
Высота трубы $h_{тр}$, м	1,8	
Размеры камеры смешения $V_K, \text{ м}^3; d_K, \text{ м}$	2,7 · 10 ⁻³ ; 0,12	
Режимные (управляющие) переменные		
Распределение температуры по зонам реактора $T^{(i)}, i = 1, 2, 3, K$	300,2; 297,6; 296,4	290,4; 287,8; 283,5
Распределение подачи нитрита натрия по зонам реактора, $\gamma^{(i)}, i = 1, 2, 3$	0,55; 0,24; 0,21	0,36; 0,33; 0,31

Продолжение табл. 2

Наименование переменных задачи	Значения переменных
--------------------------------	---------------------

	без учета неопределенности	с учетом неопределенности
Составляющие критерия оптимизации		
Стоимость изготовления реактора и строительно-монтажных работ C_K , т.р.	679 800	1 162 473
Затраты на сырье и материалы $C_{см}$, т.р./т	55 299	57 756
Затраты на энергоносители $C_{Эн}$, т.р./т	942	1491
Приведенные затраты C , т.р./т	56 322	59 385
Значение вероятности выполнения технологических ограничений		
$M_0\{Q(\bullet)\}$, т/год	983,4	1008,0
$Вер_0\{c_{AK}(\bullet) \in [7,0 \dots 14,0]\}$	0,72	0,93
$Вер_0\{K_D(\bullet) \geq 98,0 \%\}$	0,81	0,94
$Вер_0\{П_\chi(\bullet) \leq 0,5 \%\}$	0,53	0,9
$Вер_0\{П_\sigma(\bullet) \leq 1,0 \%\}$	0,78	0,92

концентрация нитрита натрия $c_N^{(0)} = 1460,0$ моль/м³, расход солянокислой суспензии амина $G_l^{(0)} = 2,183 \cdot 10^{-4}$ м³/с, расход нитрита натрия $G_N^{(0)} = 5,98 \cdot 10^{-5}$ м³/с.

В результате решения задачи без учета неопределенности получили следующие значения функций ограничений: производительность реакторной установки $Q = 1000,0$ т/год, концентрация азотистой кислоты в диазорастворе $c_{AK} = 9,3$ моль/м³, выход диазосоединения по стадии диазотирования $K_D = 98,73$ %, содержание диазосмол в диазорастворе $П_\chi = 0,5$ %, содержание нитрозных газов в диазорастворе $П_\sigma = 0,88$ %.

Как следует из табл. 2, результаты, полученные при оптимизации процесса диазотирования без учета неопределенности параметров, не могут быть использованы при проектировании промышленных реакторных установок диазотирования, поскольку при имитации действия случайных параметров (см. табл. 1) в соответствии с равномерным законом распределения ограничения не выполняются с заданной вероятностью ($\rho_{зад} = 0,9$). Учет неопределенности параметров, изменяющихся в заданных пределах (см. табл. 1), приводит к увеличению числа секций аппарата на 5 шт., что, в свою очередь, требует увеличения капитальных затрат на 482 673 т.р. и приведенных затрат на 3063 т.р./т. Однако при этом, все ограничения выполняются с заданной вероятностью и есть уверенность в том, что проект комбинированного реактора диазотирования с приведенными в табл. 2 конструктивными параметрами будет гибким (работоспособным) в процессе его эксплуатации на производстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дворецкий С. И., Карнишев В. В., Дворецкий Д. С. Разработка энерго- и ресурсосберегающих технологических установок непрерывного действия // Химическое и нефтегазовое оборудование. 1998. № 4. С. 4 - 7.
2. Волин Ю. М., Островский Г. М., Волина О. Ю., Масчева Л. А. ROPUD – программа многоуровневой универсальной оптимизации // ТОХТ. 1999. Т. 32. № 6. С. 648 - 652.

Кафедра "Технологическое оборудование и прогрессивные технологии"

УДК 621.762.5: 678.027.3

Н. В. Постернак, Н. А. Чайников, С. И. Симаненков

ЭКСТРУЗИОННОЕ ФОРМОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ С СОТОВОЙ СТРУКТУРОЙ

В химической промышленности широко используются адсорбенты, абсорбенты и катализаторы имеющие сотовую структуру.

Изделия с сотовой структурой имеют ряд преимуществ перед гранулами, важнейшим из которых является меньшее сопротивление прохождению массы (гидравлическое сопротивление). Недостатком таких изделий перед гранулами является

их меньшая удельная поверхность. Для ее увеличения требуется уменьшать размеры каналов, что связано с определенными технологическими трудностями в зависимости от метода получения изделия.

Преимуществом экструзии (в том числе и поршневого) или пластического формования является возможность формировать изделия с малым размером каналов и большим отношением длины к диаметру.

При получении изделий с сотовой структурой методами пластического формования (поршневая и шнековая экструзия, мундштучное прессование) ставится две задачи:

формование изделия;

формоудержание отформованного изделия.

Формование изделия происходит за счет образования из исходного сырья пластичной массы с последующим продавливанием ее через формирующий инструмент.

Исходными веществами для формования изделий с сотовой структурой являются глина и известь. Оба этих вещества образуются с водой пластичные массы, причем глина обладает намного лучшими пластичными свойствами нежели известь. С увеличением количества воды в пластической массе облегчается процесс формования, но усложняется формоудержание изделия.

Для обеспечения оптимальной формоустойчивости керамических изделий следует выдерживать следующие параметры:

Коэффициент сжатия – отношение площади сечения цилиндра пресса в месте установки выпорной лопасти к площади выходного сечения мундштука, равный 1,39.

Коэффициент диафрагмирования – отношение площади сечения диафрагмы к площади сечения цилиндра формирующей системы в месте установки диафрагмы, равный 1,17.

Критерий Рейнольдса, равный $1,53 \cdot 10^{-9}$ [1].

Формоудержание обычно осуществляется сушкой. Ее можно проводить конвективным методом, при этом в качестве теплоносителя и одновременно водопоглотителя использовать нагретый воздух.

Если в результате быстрого испарения влаги с поверхности изделия (внешняя диффузия) разница в количестве ее на поверхности и внутри (внутренняя диффузия) превышает допустимый предел, то изделие будет растрескиваться. Этот предел называется критическим пределом влагосодержания или критическим градиентом влажности. Оптимальные режимы сушки определяют экспериментально [2].

Наибольшее влияние на формование и формоудержание изделий с сотовой структурой имеет состав и качество формируемых паст. Введение различных добавок может улучшать ее технологические свойства пасты (формоустойчивость, усадку при сушке и др.). В качестве таких добавок могут использоваться пластификаторы, отощители, наполнители, например, волокна.

Для определения рецептов пластических масс было разработано лабораторное формирующее устройство, принципиальная схема которого представлена на рис. 1.

Порядок сборки лабораторной установки следующий. В пуансонодержатель 3 вставляется пуансон 4 и направляющие колонки 19, которые крепятся верхней плитой 1 и винтами 2, образуя пуансон в сборе. На станину 18 последовательно устанавливаются установочное кольцо 15, кольцо 17, фильера 16, фильера 14, направляющая втулка 20, промежуточная плита 13, конусная втулка 11, гребенкодержатель 10. В гребенкодержатель устанавливается пакет, состоящий из гребенок 6, разделенными просадками 7 и соединенными штифтами 8 и скобами 9. Затем устанавливается матрица 5 и детали 5, 10, 13, 14, и 18 стягиваются винтами 12 и в матрицу устанавливается пуансон в сборе.

Формообразование изделия с сотовой структурой происходит следующим образом. Предварительно приготовленная в смесителе пластическая масса загружается в матрицу 5. Под воздействием пуансона 4 поток пластической массы поступает в отверстия диафрагмы, образованные проставками между гребенками, в которых формируются жгуты прямоугольного сечения, разделенные зазором, равным толщине гребенки. Затем жгуты поступают в зазоры между профилирующими штырями гребенки где под воздействием конусной втулки 11 и сил трения зазоры, образующиеся между одинаковыми по конструкции и размерам элементами, заполняются пластической массой, образуя многоканальное тело с развитой удельной поверхностью. На участке, образованном фильерами 14, 16 и профилирующими стержнями гребенок 6 происходит окончательное формование изделия с сотовой структурой.

На данном лабораторном формирующем устройстве будут изыскиваться добавки и их количества, которые необходимо добавлять в исходные пластические массы для получения качественного изделия с сотовой структурой.

Критериями качества таких изделий служат: качество поверхности изделия, плотность изделия, а следовательно и его прочность, технологические свойства изделия (безопасность, поглощающая способность и др.).

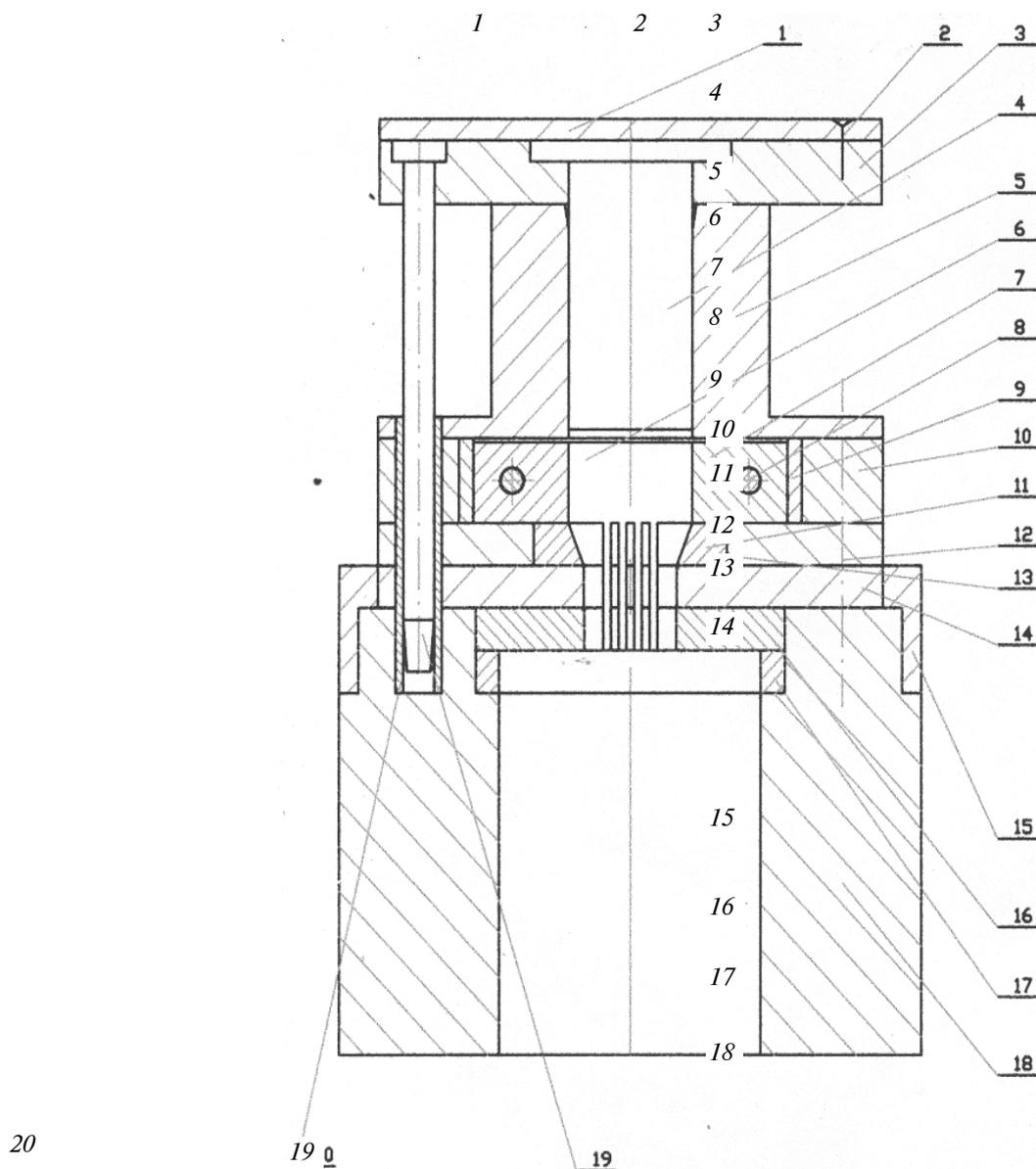


Рис. 1 Принципиальная схема лабораторного формующего устройства

Наибольшие трудности будут возникать при формовании известковых изделий, из-за плохой формуемости. Для улучшения пластических свойств известковой пасты необходимо вводить пластификаторы. Перспективным может быть использование водного раствора поливинилового спирта (ПВС), который отличается высокой клеящей способностью. Помимо этой основной функции ПВС обладает пластифицирующими свойствами [3]. Увлажнение порошков ПВС вначале уменьшает пластичность в результате увеличения адгезии, а затем при влажности $\sim 7\%$ увеличивается [4]. Так как пластическая масса может содержать до 20 % воды, то данный пластификатор будет улучшать ее формуемость, а при сушке изделия будет улучшать его формоудержание.

Также для улучшения формоудержания изделия можно добавлять в пластическую массу волокна (например, целлюлозные) и другие наполнители [5].

В заключение, можно сказать, что тщательная подготовка пластической массы, введение в нее улучшающих добавок является основой для получения качественного изделия с сотовой структурой экструзионным методом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Масленникова Г. Н., Мамаладзе Р. А., Мидзута С., Коумото К. Керамические материалы. М.: Стройиздат, 1991. 320 с.
- 2 Болдырев А. С., Золотов П. П., Люсов А. Н. Строительные материалы: Справочник. М.: Стройиздат, 1989. 320 с.
- 3 Попыльский Р. Я., Кондрашев Ф. В. Прессование керамических порошков. М.: Metallургия, 1968. 217 с.

4 Макаров Б. В., Каморина Г. И., Летюк Л. М. Пластификация ферритовых порошков. Порошковая металлургия. 1979, № 11. С. 6 - 9.

5 Патент № 2157757 7B28 B3/20, 21/56, B29 C 47/02. Экструдированное промышленное изделие и способ его изготовления / Андерсен Пер. Юст., Ходсон Саймон К. Заявл. 12.09.95; Опубл. 05.08.2000. Бюл. № 29.

КАФЕДРА "ПОЛИМЕРНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ"

УДК 621.6.04.

*В. Н. Артемов**

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА МОКРОГО ГРОХОЧЕНИЯ ПОЛИДИСПЕРСНОГО МАТЕРИАЛА

Процессы отделения мелкой фракции из полидисперсного материала широко используются в различных отраслях промышленности и в частности, химической. В первую очередь это механическая классификация (грохочение). Барабанные грохоты, широко используются как для сухой, так и для мокрой классификации сырья. Материал подается внутрь вращающегося перфорированного барабана и мелкая фракция, просеиваясь через отверстия, отделяется от более крупной фракции. Весьма перспективным представляется реализация нескольких технологических процессов в одном аппарате. В частности мокрое грохочение успешно может быть реализовано в машинах барабанного типа одновременно с удалением примесей за счет флотации. Основной причиной сдерживающей расширение использования барабанных грохотов, на наш взгляд, является низкая эффективность грохочения при малых концентрациях фракций, которые необходимо отделить. В работе [1] подробно рассмотрен процесс классификации полидисперсного материала в барабанных грохотах. Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено, что причиной низкой эффективности грохочения является сегрегация частиц по размерам в поперечном сечении гладкого барабана. Конечным результатом сегрегации является образование ядра из мелких частиц в области центра циркуляции. Таким образом, в процессе движения вдоль барабана, концентрация мелких частиц в слоях, прилегающих к перфорированной обечайке, уменьшается. Следовательно, уменьшается и количество отсеивающихся частиц.

В [1] делается вывод, что "для интенсификации процесса грохочения и повышения эффективности желательнее периодически перемешивать сыпучий материал, разрушая тем самым ядро сегрегации, в котором в основном находится мелкая, т.е. проходная фракция". Периодическое перемешивание сыпучего материала, повышает интенсивность и эффективность процесса, однако более радикальным представляется целенаправленное перемещение мелкой фракции из центра сегрегации к перфорированной обечайке барабана. Нами разработана конструкция [2], позволяющая реализовать направленное перемещение материала в поперечном сечении барабана.

Математическую модель, представленную в работе [1], необходимо совершенствовать, поскольку она не позволяет учитывать периодическое разрушение ядра сегрегации.

Рассмотрим более подробно основные положения данной модели. Состояние системы характеризуется распределением частиц разных фракций в поперечных сечениях барабана. Барабан по длине делится на участки и делается допущение о том, что в пределах одного участка распределение частиц по размерам не изменяется во времени. Состояние системы изменяется по шагам при переходе частиц сыпучего материала с одного участка на другой. Таким образом, параметры распределения частиц в конце одного участка являются начальными параметрами для последующего участка. В пределах каждого участка на каждом шаге реализуются следующие процессы: сегрегация частиц по размерам; отделение частиц ключевой (мелкой) фракции от основной массы в результате просеивания через отверстия в обечайке; отделение ключевой фракции за счет уноса ее потоком воды, проходящей через барабан.

Для описания процессов отделения мелкой фракции, в результате теоретических и экспериментальных исследований, по аналогии с зависимостями работы [1], нами получены следующие формулы:

$$V_{от1,i,j,k} = P_{от1,i,j,k} V_{ij} C_{от,i,j,k-1} \delta_{\omega} / \delta_0, \quad (1)$$

$$P_{от1,i,j,k} = K_1 (\omega / \omega_{кр}) C_{от,i,j,k-1}^3 / (3,14 (R - 0,5 R_i - 0,5 R_{i+1}) / R), \quad (2)$$

$$V_{от2,i,j,k} = P_{от2,i,j,k} V_{ij} C_{от,i,j,k-1} \delta_{\omega} / \delta_0, \quad (3)$$

$$P_{от2,i,j,k} = K_2 (\omega / \omega_{кр}) C_{от,i,j,k-1}^3 / (3,14 (R - 0,5 R_i - 0,5 R_{i+1}) / R), \quad (4)$$

где $V_{от1,i,j,k}$, $V_{от2,i,j,k}$ - объемы ключевой фракции, которые удаляются с подслоя i участка j на переходе k , соответственно за счет просеивания и отмывки; $P_{от1,i,j,k}$, $P_{от2,i,j,k}$ - соответствующие вероятности отделения ключевой фракции из i -го подслоя; ω - угловая скорость вращения барабана; $C_{от,i,j,k-1}$ - концентрация ключевой фракции в подслое i на участке j на переходе k ; K_1 , K_2 - постоянные коэффициенты, численные значения которых определяется при идентификации параметров математической модели реальному процессу.

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора

В. Ф. Першина.

Результаты экспериментов по грохочению и отмывке полидисперсного материала во вращающемся барабане с устройством для периодического разрушения ядра сегрегации показали, что максимальная интенсификация указанных процессов достигается когда достаточно большой объем материала переносится из центра циркуляции к обечайке барабана (не менее 20 % от общей массы сыпучего материала находящегося в барабане). Применительно к послойной модели это не менее одного внутреннего подслоя. Учитывая вышесказанное, при моделировании процесса классификации необходимо организовать пересчет концентрации по подслоям после каждого разрушения ядра сегрегации. При пересчете можно предположить, что при разрушении ядра сегрегации сыпучий материал последнего или нескольких внутренних слоев переносится на наружную поверхность циркуляционного контура, а их место занимает материал из вышележащих подслоев.

Для экспериментального исследования эффективности грохочения мы разработали и изготовили специальную лабораторную установку. В опытах мы использовали двухкомпонентную смесь из кварцевого песка со средним диаметром частиц 0,2 мм и стеклянных шариков с диаметром 0,8 мм. Диаметр барабана был равен 0,25 м, длина 0,3 м, а угловая скорость его вращения $2,07 \text{ с}^{-1}$.

Концентрация мелкой фракции в исходной смеси была равна: 0,466; 0,5; 0,666.

Порядок проведения опытов был следующий. Готовилась двухкомпонентная смесь с определенной концентрацией мелкой фракции. Смесь загружали в перфорированный барабан, который приводился во вращение. Через определенные промежутки времени, мелкую фракцию, высыпающуюся из барабана, взвешивали с точностью 0,01 г. Результаты экспериментов показали, что наименее эффективно идет процесс грохочения при исходной концентрации мелкой фракции 0,466. Если оценивать эффективность грохочения отношением отсеянной мелкой фракции к ее первоначальному количеству, то при исходной концентрации $C_0 = 0,66$, эффективность отсева составляет 72 %, при $C_0 = 0,5$ – 35 %, а при $C_0 = 0,466$ – 28 %. Очевидно, что при меньшем содержании мелкой фракции в исходном продукте, эффективность грохочения будет еще ниже.

Экспериментально перемещение мелкой фракции осуществлялось следующим образом. Внутри барабана была установлена изогнутая труба прямоугольного поперечного сечения с возможностью поворота вокруг оси барабана. Расстояние от оси до центра входного отверстия трубы было равно R_c , т.е. расстоянию от указанной оси до центра циркуляции. Расстояние до дальнего края выходного отверстия было меньше на 3 – 5 мм чем внутренний радиус барабана. Через 180 с после начала процесса грохочения изогнутую трубу поворачивали вокруг оси барабана по направлению его вращения. При повороте трубы мелкие частицы, сконцентрированные вокруг центра циркуляции, попадали в изогнутую трубу и перемещались непосредственно к перфорированной обечайке. При $\tau = 330$ с описанная процедура повторялась. Графически результаты этого эксперимента представлены на рис. 1.

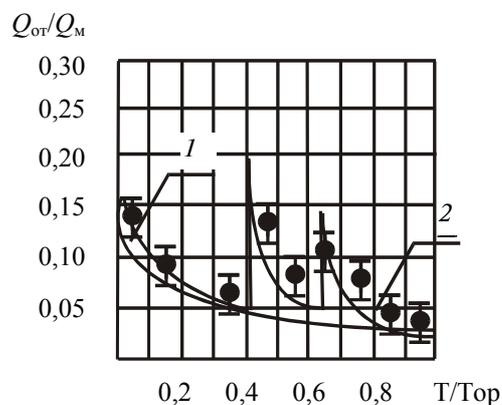


Рис. 1 Изменение интенсивности грохочения:

1 – без разрушения ядра сегрегации. 2 – с периодическим перемещением частиц из центра циркуляции к обечайке барабана.

Количество мелкой фракции, которое прошло через отверстия перфорации равно площади под кривыми 1 и 2. Как видно из графика при $\tau = 180$ с и $\tau = 330$ с наблюдается резкое увеличение количества мелкой фракции, отсеянной в единицу времени, что объясняется перемещением частиц из области центра циркуляции к обечайке барабана. Следует отметить, что описанный выше технологический прием повышает эффективность грохочения с 28 % до 73

%, а разработанная математическая модель позволяет прогнозировать результаты грохочения и рассчитывать оптимальные режимные и геометрические параметры грохота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Першин В. Ф. Моделирование процесса классификации в барабанном грохоте // Теорет. основы хим. технологии. 1989. Т. XXIII, № 4. С. 499 - 505.
- 2 Патент РФ № 2124934 RU В 01 F 3/18, 9/02. Способ приготовления смеси сыпучих материалов и устройство для его осуществления / Н. С. Артемов, В. Н. Артемов, В. Ф. Першин, С. В. Барышникова, А. Г. Ткачев RU. № 97110647. Заявлено 24.06.97; Опубл. 20.01.99. Бюл. № 2.

Кафедра "Прикладная механика и сопротивление материалов"

УДК 66.047

*А. Н. Шикунов, А. Н. Утробин,
Н. Ц. Гатапова, А. Н. Пахомов*

К ВОПРОСУ О КИНЕТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЯХ СУШКИ НА ПОДЛОЖКАХ ДИСПЕРСИЙ ОРГСИНТЕЗА (ЛРФ-СОСТАВ, Р-СОЛЬ, ГАММА-КИСЛОТА, ДИСПЕРГАТОР НФ, БЕЛОФОР)

Сушка дисперсий широко применяется в промышленности (суспензии полупродуктов, красителей, технические полимерные эмульсии и пр.). При сушке они переходят из жидкотекучего состояния в твердое. Механизм и кинетика их сушки изучены недостаточно. Обработка дисперсий может производиться в распылительных сушилках, в аппаратах со взвешенным слоем и на инерте, в вальцеленточных, барабанных, вакуум-гребковых и других конструкциях сушилок.

Наиболее полно и надежно механизм и кинетику тепло- и массопереноса в дисперсиях можно изучать в тонких слоях на специальных варьируемых подложках по методике, разрабатываемой школой профессора В. И. Коновалова. Затем результаты опытов переносятся на промышленные условия.

Ранее были выполнены работы по сушке шести характерных дисперсий: мясокостной жидкости, кукурузной жидкости, желатина, крахмала, сахара и соли [1, 2]. Настоящая работа посвящена исследованию дисперсий, типичных для важнейших производств оргсинтеза.

Исследования проводились на большой циркуляционной конвективной сушилке (БЦС) кафедры ПАХТ ТГТУ (рис. 1). Изучали кинетику сушки дисперсий следующих продуктов: латексно-резорцино-формальдегидный (ЛРФ) состав – для адгезионной пропитки кордных материалов резинотехники; Р-соль (2-нафтол-3,6-дисульфокислота), используемая для получения азокрасителей и полупродуктов; Гамма-кислота (2-амино-8-нафтол-6-сульфокислота) – азосоставляющая в производстве азокрасителей; диспергатор НФ-вещество из группы нафталинсульфонатов (НФ: $\text{CH}_2(\text{C}_{10}\text{H}_6\text{SO}_3\text{NO})_2$) – поверхностно-активное вещество, применяемое в процессах крашения синтетических волокон; белофор КД-2 (динатриевая соль-4,4"-бис-стильбен-2,2"-дисульфокис-лоты) и белофор КД-93 (в жидком виде состоит на 20 % из белофора КД-2, а остальное – вода, грануло- и пенообразующие добавки) – оптические отбеливатели в синтетических моющих средствах.

Исходные сухие (кроме ЛРФ) полупродукты разбавлялись до нужной концентрации дистиллированной водой (ЛРФ – до $x_{\text{нач}} = 25\%$ упаривали в сушильном шкафу), а затем наносились на подложки с термопарой (ХК, $d = 0,15$ мм). После этого рамка с образцом помещалась внутрь БЦС (рис. 1) на приемную рамку, соединенную с магнитной подвеской пишущих электронных весов. Образец обдувался горячим воздухом. При этом происходило обезвоживание дисперсии и снимали одновременно термограмму и весовую кривую на приборах типа КСП-4. Далее проводился "чистый" нагрев и образец повторно взвешивался. Затем данные заносились в бланк отчета и обрабатывались на компьютере.

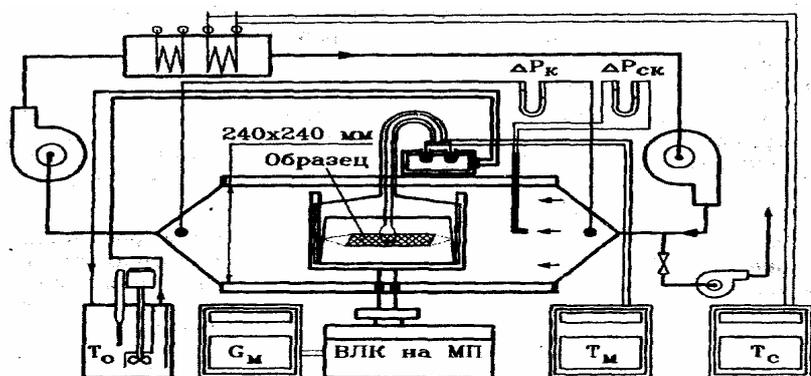


Рис. 1 Большая циркуляционная сушилка (БЦС)

В качестве подложек (рис. 2) были выбраны следующие материалы: фторопласт ($\delta = 2$ мм) и алюминий ($\delta = 2$ мм) – для одностороннего испарения влаги, ткань анидная ТА-100 ($\delta = 0,75$ мм) и шнур лавсановый ($10,7 \times 6 \times 3$), набранный в подложку из отрезков одинаковой

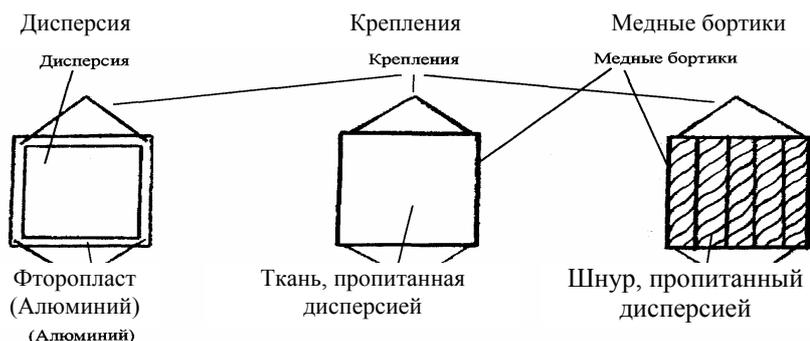


Рис. 2 Схема подложек с нанесенной дисперсией

длины, спаянных на концах параллельно друг другу – для двухстороннего испарения влаги. Все подложки имели размеры 45×35 мм. Предусмотрены также подложки из тонкой полиамидной сетки. Одновременно проводились визуальные наблюдения структуры дисперсии, поверхности, текучести, цвета и пр. Диапазоны температур, скоростей воздуха и начальных концентраций составляли соответственно: от 80 °С до 160 °С, от 3 до 7 м/с и от 6 % до 50 % (по массе на сухой остаток). Типичные результаты представлены для примера и анализа на рис. 3 – 5.

Рис. 3 Кривые сушки белофора на МФП при $T_c = 120$ °С

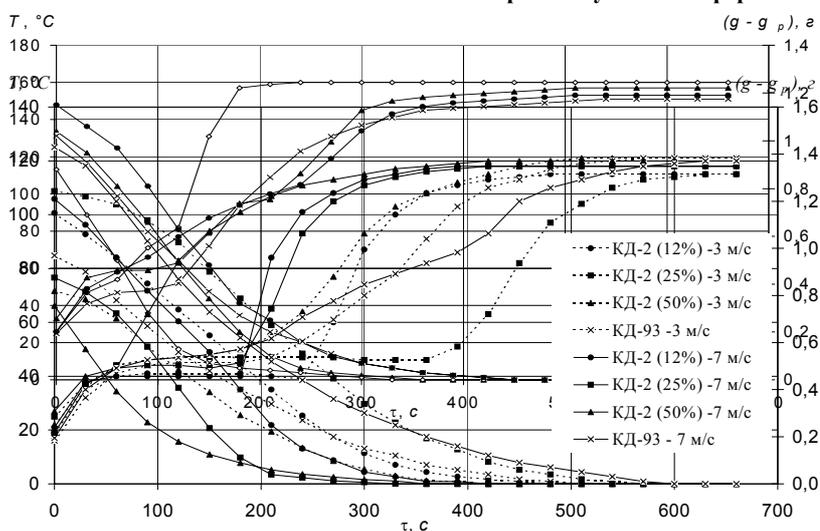


Рис. 4 Кривые сушки ЛРФ при $T_c = 160$ °С, $W = 5$ м/с, $x_{нач} = 12$ %

Как видно из рис. 3 при сушке белофора КД-2 и КД-93 убыль влаги прекращается примерно при достижении слоев температуры сушильного агента. Отчетливо видно увеличение скорости сушки при увеличении скорости обдува. Рост $x_{нач}$ существенного влияния на скорость сушки в первом периоде не оказывает. На всех температурных кривых присутствует площадка температуры мокрого термометра $T_{мт}$. Цвет белофоров после сушки – белый со следами зеленого и коричневого.

При сушке ЛРФ (рис. 4) при жестком режиме ($T_c = 160$ °С, $W = 5$ м/с) скорость процесса от вида подложки зависит незначительно. Для каждой из четырех подложек характерно наличие площадки $T_{мт}$, а для МАП – еще и площадки кипения $T_{кип}$. На МАП и МФП при жестком режиме наблюдаются морщинистость и отслоение образующейся пленки, а на ТА-100 и ШЛ – глубокое проникновение в поры материала подложки и прочное там удержание. Цвет высушенного ЛРФ – коричневый. Для Р-соли, Диспергатора НФ и Гамма-кислоты (рис. 5) при $T_c = 160$ °С время сушки оказывается меньше времени достижения слоев температуры T_c . Для всех кривых характерно наличие площадок $T_{мт}$. Для Р-соли и Диспергатора НФ при $T_c = 160$ °С имеются еще и площадки при $T_{кип}$.

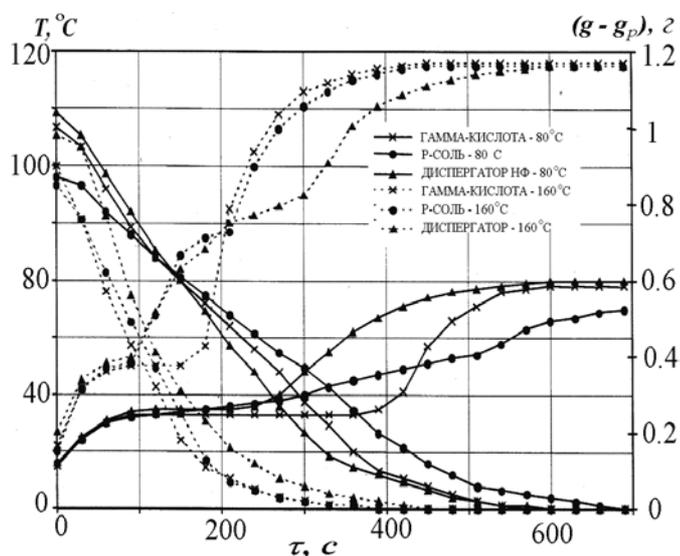


Рис. 5 Кривые сушки Гамма-кислоты, Р-соли, Диспергатора НФ на МФП при $W = 5$ м/с, $x_{нач} = 25\%$

Повышение температуры ведет к интенсивному образованию трещин и пузырей на поверхности слоя. После сушки полупродукты легко скалываются с подложки и имеют следующий цвет: Р-соль и Гамма-кислота – серый, Диспергатор НФ – темно-оранжевый.

На основании проведенных экспериментов, рассматриваемые дисперсии можно отнести к следующим структурно-кинетическим типам [2]: одна площадка $T_{мт}$ – все дисперсии с различными $x_{нач}$, кроме Диспергатора НФ с $x_{нач} = 50\%$; одна площадка $T_{кип}$ – ЛРФ-состав с $x_{нач} = 25\%$, Гамма-кислота, Диспергатор НФ и Р-соль – все с $x_{нач} = 50\%$; обе площадки $T_{мт}$ и $T_{кип}$ – ЛРФ-состав с $x_{нач} = 12\%$ и 25% , Гамма-кислота с $x_{нач} = 50\%$, Диспергатор НФ с $x_{нач} = 25\%$, Р-соль с $x_{нач} = 25\%$ и 50% ; отсутствие площадок (как при "мягких", так и при "жестких" режимах) – Диспергатор НФ с $x_{нач} = 50\%$. На этой основе строятся методики расчета конкретных процессов и выбирается технологический режим, обеспечивающий необходимое качество при максимально возможной интенсивности сушки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Пахомов А. Н., Гатапова Н. Ц. К вопросу кинетики сушки дисперсий на подложках / Труды ТГТУ. Вып. 6. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2000. С. 115 - 117.

Kononov V. I., Pachomov A. N., Gatarova N. Z., Kudra T. Modeling of Drying of Dispersed Systems // Теплообмен ММФ-2000: Труды IV Междунар. симпозиума. Минск: ИТМО, 2000. Т. 9, с. 20 - 29.

Кафедра "Процессы и аппараты химической технологии"

УДК 621.604

М. М. Свиридов, И. Н. Шубин

АНАЛИЗ ПОВЕДЕНИЯ ПОТОКОВ МАТЕРИАЛА В ИНЕРЦИОННОМ СМЕСИТЕЛЕ

Приготовление однородных по составу композиций из твердых материалов, находящихся в зернистом, пыле- или порошкообразном состоянии, их смешивание является широко используемым процессом. Во многих случаях от его исхода зависит качество готового продукта. Несмотря на многообразие смесителей, литература, посвященная исследованию процессов происходящих в них, не дает однозначного пути повышения эффективности смесеобразования. Как правило, в этих работах основное внимание уделяется технологическим параметрам - качеству смешивания, потребляемой мощности, производительности аппарата и некоторым другим и фактически отсутствуют данные о характеристиках движения потоков материалов.

Целью настоящей работы является анализ поведения ряда сыпучих материалов в инерционном смесителе (рис. 1).

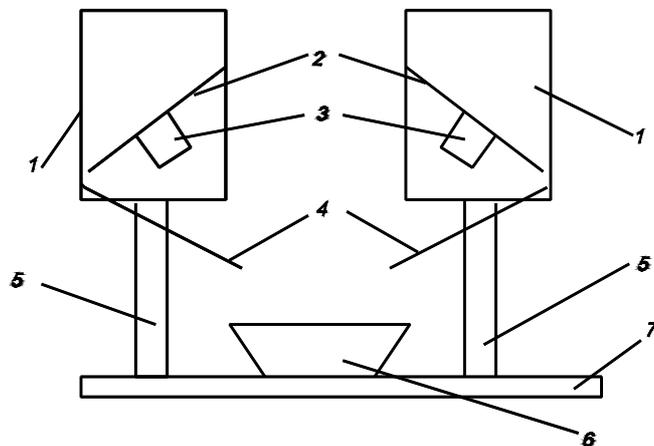


Рис. 1 Схема инерционного смесителя:

1 - бункер; 2 - подвижное днище; 3 - вибратор; 4 - направляющая;
5 - подвижная часть рамы; 6 - приемная емкость; 7 - рама

Процесс может быть условно разбит на три стадии: 1 - образовании потоков в бункере; 2 - разгон потока по направляющей; 3 - падение материала в веере. Первая стадия интересна с точки зрения изучения поведения материала в бункере 1, в котором возможно сводообразование и зависание материала. Исследование второй стадии позволяет получить скоростные и геометрические параметры потока на сыпающем краю направляющей 4. Названные характеристики потоков являются исходными для получения геометрии и плотности потока материала в веере, определяющие интенсивность взаимного проникновения непосредственно при пересечении потоков компонентов образующих смесь. Для анализа первой стадии был использован один бункер 1 инерционного смесителя. В состав экспериментальной установки входила также видеокамера 8, на которую производилась съемка процессов, происходящих с материалом при истечении его из бункера 1. Вид экспериментальной установки представлен на рис. 2.

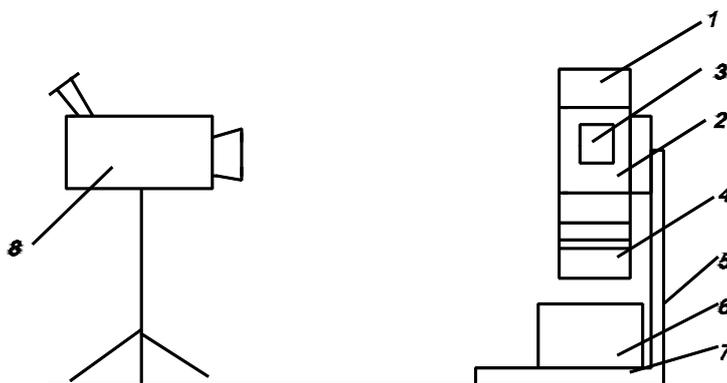


Рис. 2 Схема экспериментальной установки:

1 - бункер; 2 - подвижное днище; 3 - вибратор; 4 - направляющая;
5 - подвижная часть рамы; 6 - приемная емкость; 7 - рама;
8 - видеокамера на штативе

В качестве исследуемых материалов были использованы: кварцевый песок, речной песок, поваренная соль, цеолит, глина, пшено. Их физико-механические свойства приведены в табл. 1.

1 Физико-механические свойства исследуемых материалов

Характеристика материал	Насыпная плотность, ρ , кг/м ³	Средний размер частиц, $d \cdot 10^3$, м
Поваренная соль	1500	0,38
Кварцевый песок	1250	0,47
Речной песок	2180	0,26

Цеолит	750	$(20 - 40) \cdot 10^3$
Глина	820	$(20 - 100) \cdot 10^3$
Пшено	980	1,93

Методика эксперимента заключалась в следующем. После загрузки материала в бункер 1, с началом его истечения, включалась видеокамера 8, которая записывала процесс истечения на видеопленку. У видеокамеры 8 был установлен специальный режим скоростной видеозаписи для съемки быстропротекающих процессов. Согласно целям исследования эксперимент разбивался на две части. В первой части исследовалось поведение материала непосредственно в бункере 1, т.е. возможное наличие и тип циркуляции при наложении вибрации, первоначально направленной исключительно на разрушение сводаобразования у плохо текучих материалов (первая стадия). Для наглядности эксперимента использовался контрастный материал: пшено различного цвета (зеленый и желтый цвет). Данный компонент загружался в бункер 1 послойно, с чередованием цветов (рис. 3, а).

При анализе второй стадии процесса внимание уделялось геометрии слоя (в частности его высоте H) и скорости V движения материала на направляющей 4 (рис. 3, б).

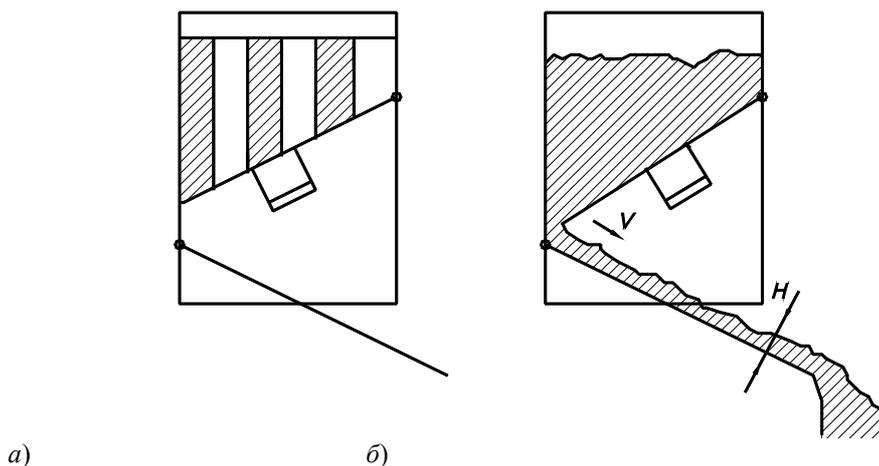


Рис. 3 Схемы бункеров экспериментальной установки с загруженным материалом:

а – в первой части эксперимента; б – во второй части эксперимента

После проведения видеосъемки данного эксперимента кассета с видеозаписью была оцифрована с целью детального изучения с помощью компьютерной техники. В итоге были получены следующие результаты.

Налагаемая вибрация не оказывает влияние на истечение материала из бункера 1 (т.е. послойная укладка материала в бункере не разрушалась; происходило его плавное истечение по наклонному днищу; отсутствовала циркуляция в объеме материала со смещением разноцветных слоев).

При движении по направляющей 4, материал был распределен равномерно с одинаковой высотой H слоя по всей ее протяженности.

Скорость V материала главным образом зависела от угла наклона направляющей 4 (при его увеличении скорость возрастала).

Результат анализа двух первых стадий процесса показал: а) отсутствие воздействия вибрирующего днища 2 бункера 1 на геометрию и скорости потока материала на направляющей 4; б) геометрические параметры и плотность материала в веере, стадия 3, определяются геометрией направляющей 4 и значениями физико-механических свойств материалов (коэффициенты трения движения и покоя).

Таким образом проведенные опыты подтвердили, что определяющими эффективностью процесса смешивания являются вторая стадия – разгон потока по направляющей 4 и третья стадия – падение материала в веере, на которой в реальном смесителе происходит пересечение и взаимное проникновение потоков частиц, т.е. смесеобразование.

Кафедра "Конструирование машин и аппаратов"

УДК 621.6.04:661.185-3 12

Ю. Т. Селиванов, А. В. Орлов*

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

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ В БАРАБАННОМ СМЕСИТЕЛЕ

Математические модели, описывающие процесс смешения в барабанных смесителях периодического действия разработаны как для двухкомпонентных смесей [1], так и для многокомпонентных смесей [2]. Они созданы на базе аппарата случайных марковских цепей. На основе этих моделей разработана модель для непрерывного режима смешения. При этом использовался ряд допущений (прямолинейный характер распределения сыпучего материала по длине барабана; процесс смешивания происходит, в основном, в поперечных сечениях, а продольным перемешиванием можно пренебречь), которые требуют дополнительной экспериментальной проверки.

Была разработана экспериментальная установка – барабанный смеситель сыпучих материалов, который является аппаратом непрерывного действия, предназначенным для проведения экспериментов по смешиванию. Целью создания данной установки было подтверждение данных, полученных на основе расчетов с использованием описанной математической модели, для чего будут проводиться три серии экспериментов:

1 Анализ зависимости распределения материала по длине барабана.

Характер распределения сыпучего материала по длине барабана с подпорным кольцом и без него на ссыпающем краю достаточно хорошо исследовано в работе [3]. В математическую модель заложен прямолинейный характер распределения сыпучего материала. Исключением является небольшой участок вблизи от ссыпающего края барабана, когда нет подпорного кольца. Для проверки этого необходимо сравнить площади поперечного сечения материала в поперечных сечениях в начале, середине и конце барабана. Получаемые значения должны показывать характерные изменения объемов проб на различных участках по длине барабана. Если вначале в каждой пробе сосредоточен больший объем материала, то далее, по мере движения материала к разгрузочному отверстию объем каждой пробы уменьшается по линейной зависимости, что показано в математической модели и требует экспериментального подтверждения.

2 Оценка распределения скоростей движения частиц вдоль оси барабана.

В модели заложено, что преобладающее влияние на процесс смешивания оказывает движение сыпучего материала в поперечных сечениях. Распределение скоростей вдоль оси барабана является менее значимым. Для проверки этих утверждений необходимо провести вторую серию экспериментов. Предполагается проведение двух видов экспериментов при введении окрашенного компонента. После выхода процесса смешения на установившийся режим в барабан, наряду с равномерной загрузкой, в течение небольшого промежутка времени, добавляется материал отличающийся от основного компонента цветом и засекается время, за которое частицы подкрашенного материала выйдут с разгрузочного края барабана. Во втором случае в определенный момент времени подача основного компонента прекращается, а вместо него, в течение промежутка времени, соответствующего первому виду эксперимента, загружается такой же, но подкрашенный материал. В результате проведения этих экспериментов можно сравнить длительность выгрузки подкрашенного компонента с продолжительностью его загрузки в барабан, а также, зная время пребывания этих частиц в смесителе, оценить эффективность осевого смешивания. По результатам сравнения двух видов экспериментов можно сделать вывод о том, насколько сильно влияет на процесс осевого смешивания скачкообразное изменение величины входного сигнала (единовременная и неодновременная загрузка основного и подкрашенного компонентов).

Смешивание двух и более компонентов и анализ результатов.

Эти эксперименты наиболее важны из всех перечисленных серий. Наша цель – оценить качество смеси при различных режимных и геометрических параметрах установки, для чего в отдельно взятых пробах из смеси, подаваемой на ленту транспортера, выделяются основной и ключевые компоненты, оценивается характер распределения компонентов и влияние сегрегации на этот процесс. В ходе эксперимента изменяется регламент загрузки, в том числе должна быть возможность загрузки ключевых компонентов в любую точку барабана по его длине.

Экспериментальная установка (для всех типов экспериментов) состоит из полупрозрачной пластиковой трубы с соотношением длины к диаметру 6.5, закрепленной при помощи муфты на редукторе привода постоянного тока. Благодаря этому у нас имеется возможность плавно регулировать скорость вращения барабана в пределах $(0,1 \dots 0,5) \omega_{кр}$. Также есть возможность изменять угол наклона барабана и производительность (меняя расход, поступающего на загрузочный край установки, материала). На загрузочном и разгрузочном краях барабана могут быть установлены ограничительные подпорные кольца различных диаметров. Причем кольцо со значительно меньшим диаметром внутреннего отверстия установлено на загрузочном крае барабана, что создает постоянный подпор уровня материала даже на незначительных углах наклона барабана. Кольца съемные и с различными диаметрами внутреннего отверстия – это позволяет регулировать степень

подпора на различных углах наклона, при различных скоростях вращения барабана и на различных типах смешиваемых компонентов.

Для экспериментов по анализу характера распределения сыпучего материала вдоль оси барабана разработана конструкция секционированного пробоотборника, позволяющая производить одновременный отбор проб материала по всей длине барабана. Он состоит из металлических полуокружностей – пластин, имеющих диаметр, соответствующий внутреннему диаметру барабана, жестко и соосно закрепленных на двух параллельных стержнях. Расстояния между пластинами определяются длиной металлических втулок, расположенных между полуокружностями на стержнях. Длина втулок выбирается таким образом, чтобы расстояния между пластинами в середине и вблизи от разгрузочного и загрузочного краев барабана были равны. Втулки и пластины, расположенные на стержнях, фиксируются с обеих сторон гайками. По завершении цикла смешивания пробоотборник вводится в барабан, так чтобы не касаться слоя материала и проворачивается на 180°. При этом сыпучий материал оказывается разделенным на секции вдоль оси барабана пластинами пробоотборника. В дальнейшем происходит извлечение материала из отдельных секций пробоотборника и оценивается его вес и объем с целью анализа распределения вдоль оси барабана. Для более детального анализа характера распределения компонентов и сравнительного анализа различных методов отбора проб использовалась оригинальная технология: специально подобранный пластиковый (полипропилен) барабан с полупрозрачной обечайкой позволяет производить измерение хорд (при помощи штангенциркуля) расположения материала по длине. После чего вычисляется объем материала в каждой секции пробоотборника. Для повышения достоверности, после измерения хорд, объем материала в каждой секции сравнивается с вычисленным по хордам объемом.

Следует отметить, что во всех экспериментах загрузка производится через специальный раструб из бункера со статическим внутренним давлением сыпучего материала. Уровень материала в загрузочном бункере поддерживается в узком диапазоне, что минимизирует перепады расхода на входе в барабан.

Небольшой внутренний диаметр барабана с принятым ранее соотношением длины к диаметру позволяет успешно проводить эксперименты по анализу зависимости распределения материала вдоль оси барабана и оценивать характер распределения скоростей движения частиц в осевом направлении. Однако, если конструкция имеет слишком маленький диаметр барабана, то это не позволяет вводить в него дополнительные конструктивные элементы. Например, т.к. загрузка может производиться в любой точке барабана, необходимо вводить дополнительные конструктивные элементы (лотки) в отверстие подпорного кольца, что невозможно из-за слишком малого его диаметра, а дальнейшее его увеличение связано с ростом угла наклона барабана или скорости его вращения. При таком диаметре, циркуляционный контур (его площадь) будет слишком маленьким и, при достаточно высокой склонности ключевого компонента к сегрегации, процесс может заканчиваться по длине барабана на небольшом расстоянии от разгрузочного края (например, ближе к середине). Исходя из вышесказанного, для исследования процесса смешивания необходимо использовать барабан большего диаметра с меньшей длиной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Першин В. Ф. Моделирование процесса смешения сыпучего материала в поперечном сечении гладкого вращающегося барабана // Теоретические основы хим. технологии. 1986. Т. XX, № 4. С. 508 - 513.

2 Селиванов Ю. Т., Першин В. Ф. Моделирование процесса смешивания дисперсных материалов, отличающихся размерами частиц // Теоретические основы хим. технологии. 2001. Т. 35, № 1. С. 90 - 93.

3 Макевнин М. П. Исследование движения сыпучих материалов во вращающихся барабанах: Автореф. ... канд. техн. наук. Москва, 1963. 16 с.

УДК 66.028

*С. В. Барышникова, А. А. Осипов, Д. В. Филимонов**

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ ВЕСОВЫХ ДОЗАТОРОВ

Непрерывное весовое дозирование широко используется в различных технологических процессах переработки порошкообразных материалов. Основной характеристикой дозатора является точность дозирования.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований показали, что в информационных материалах ведущих мировых фирм, выпускающих весовые дозаторы, указывается точность дозирования при средних значениях производительности. Наиболее сложно решается вопрос точного весового дозирования при малых производительностях, порядка нескольких грамм в секунду. Учитывая большое число различных конструкций весовых дозаторов, представляется целесообразным использование имитационных моделей для проведения численных экспериментов с целью определения точности дозирования.

В результате анализа типовых схем весового непрерывного дозирования нами выделены следующие основные этапы данного процесса: 1) формирование непрерывного потока порошкообразного материала; 2) определение воздействия определенной части потока на весоизмерительный датчик; 3) расчет производительности; 4) сравнение полученного значения с заданным; 5) корректировка производительности.

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

Для оценки работы разных конструкций непрерывных дозаторов, а также для создания новых перспективных способов непрерывного дозирования нами разработаны математические модели каждого этапа дозирования и на основе этих моделей создана компьютерная программа, позволяющая имитировать непрерывный процесс весового дозирования сыпучих и порошкообразных материалов.

Учитывая результаты исследований, проведенных нами ранее [1, 2], для сыпучих материалов преобразование отдельных порций в непрерывный поток был выбран вибрирующий лоток, а для порошкообразных – виброшнековый питатель. Следует отметить, что именно эти устройства наиболее часто используются в дозаторах, которые в настоящее время выпускают ведущие мировые компании.

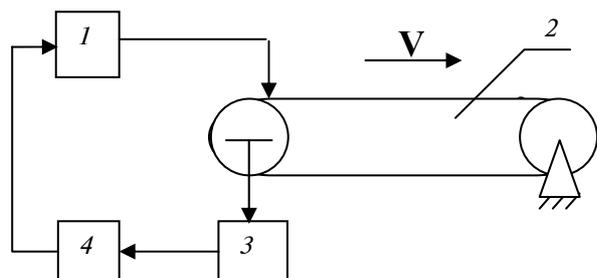


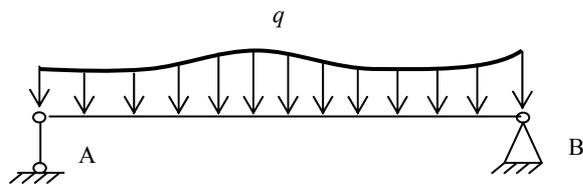
РИС. 1 ЛЕНТОЧНЫЙ ТРАНСПОРТЕР С ВЕСОИЗМЕРИТЕЛЬНЫМ ДАТЧИКОМ

Для определения и регулирования производительности мы использовали типовую схему весового непрерывного дозирования, включающую ленточный транспортер с весоизмерительным датчиком (рис. 1).

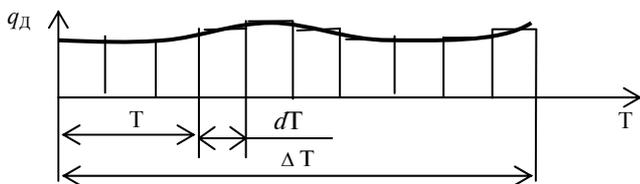
Выбор данной схемы обусловлен тем, что ей присущи все основные достоинства и недостатки традиционных устройств для весового непрерывного дозирования. Устройство работает следующим образом. Непрерывный поток материала узлом 1 подается на ленточный транспортер 2. Материал, находящийся на ленте транспортера воздействует на датчик 3. Сигнал с датчика 3 подается на контроллер 4, где сравнивается с заданной величиной. По результатам сравнения управляющий сигнал подается на узел 1, где осуществляется изменение производительности.

Для имитации процесса воздействия определенной части потока на весоизмерительный датчик и расчета производительности разработана математическая модель данного процесса. На рис. 2, а показана расчетная схема для определения усилия P_d , действующего на датчик.

Реакция в опоре А численно равна P_d . Фактически это балка на двух опорах, нагруженная распределенной по длине нагрузкой q . Величина q складывается из двух составляющих: равномерно распределенной нагрузки q_T от веса транспортера; неравномерно распределенной нагрузки q_d от веса дозируемого материала. Поскольку нагрузка от веса транспортера распределена равномерно и может быть легко вычислена, в дальнейших расчетах мы ее указывать не будем.



а)



б)

Рис. 2 Распределение материала на ленте

На рис. 2, б показано изменение производительности q_d за промежуток времени $\Delta T = L/V$, где L - длина транспортера, а V - скорость движения ленты. Фактически это распределение материала на ленте (рис. 2, а).

Численная величина P_d равна

$$P_d = \frac{1}{\Delta T} \int_0^{\Delta T} q_d(T) T dT . \quad (1)$$

Именно этот сигнал с датчика 3 поступает на контроллер 4. Поскольку не известно истинное распределение материала на ленте, т.е. функция $q_d(T)$ при расчетах считают, что материал распределен равномерно с интенсивностью q_p равной

$$q_p = 2P_d/L . \quad (2)$$

В контроллере 4 эта величина вычитается из заданного значения q_3 и разница, в качестве управляющего сигнала, подается на узел 1.

В математической модели, распределение $q_d(T)$ мы рассматривали как ступенчатое, что позволило в дальнейшем с помощью генератора случайных чисел имитировать возможные варианты работы узла 1.

Теоретический анализ и проведенные численные эксперименты показали, что при обработке информации неверно рассчитывается производительность дозатора, следовательно, подается неверный сигнал на узел 1. На рис. 3 показан пример распределения сыпучего материала транспортной ленте.

Допустим, что производительность равномерно уменьшается от 5 гс^{-1} до $4,1 \text{ гс}^{-1}$ тогда согласно формулам (1) и (2) $q_p = 4,615 \text{ гс}^{-1}$. Средняя производительность $q_{срд} = 4,55 \text{ гс}^{-1}$. Предположим, что она равна заданной производительности.

Однако, поскольку расчетное значение получилось больше чем заданное, то контроллер подаст управляющий сигнал на

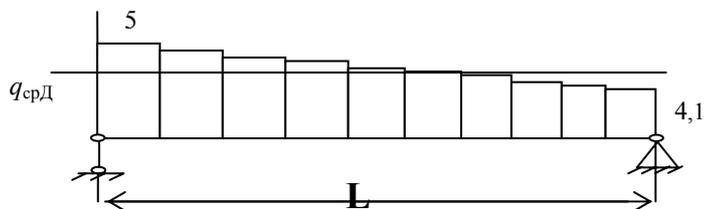


Рис. 3 Экспериментальное распределение материала

узел 1 (рис. 1) об увеличении производительности на величину $0,065 \text{ гс}^{-1}$. Если же расположить весоизмерительный датчик справа, то согласно формулам (1) и (2) $q_p = 4,385 \text{ гс}^{-1}$ следовательно расчетная производительность будет на 3,6 % меньше чем реальная и контроллер соответственно подаст управляющий сигнал на увеличение производительности. Аналогичные результаты были получены при использовании других схем измерения производительности весовых дозаторов. Таким образом, одной из причин возникновения погрешности при непрерывном весовом дозировании сыпучего материала является ошибочная методика обработки информации поступающей с весоизмерительного датчика на контроллер.

Нами были проведены численные эксперименты с использованием имитационной модели по двухстадийному дозированию сыпучего материала [1, 2, 3]. В результате экспериментов было установлено, что погрешность дозирования в 5 - 10 раз ниже, чем при использовании традиционных способов непрерывного весового дозирования.

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.
- 2 Осипов А. А., Барышникова С. В. Использование двухстадийной технологии для дозирования сыпучего материала // Труды ТГТУ. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2001. Вып. 8. С. 93 - 97.
- 3 Патент RU2138783 C1, G 01 F 11/00 Способ непрерывного дозирования сыпучих материалов / Першин В. Ф., Барышникова С. В. Бюл. № 27, 27.09.99.

УДК 621.6.04.

О. В. Демин*

СПОСОБ И УСТАНОВКА ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СМЕСИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Основной задачей многих отраслей промышленности, широко использующих процесс смешивания сыпучих материалов, является повышение качества продукции и сокращение энергозатрат путем модернизации существующего оборудования.

Для этих целей предлагается смесительная установка, содержащая корпус 1, внутри которого расположен полый вал 2, имеющий привод 3 (рис. 1). Смеситель имеет механизм изменения угла поворота лопаток 4 относительно оси вращения вала 2, приводимый в движение штангой 5 исполнительным механизмом 6 [1]. Лопатки 4 на периферии выполнены скругленными.

Способ реализуется следующим образом.

Загрузку осуществляют равномерно по длине смесителя. Это необходимо для сокращения времени распределения компонентов по длине смесителя и создания одинаковой нагрузки на все рабочие органы смесителя в момент начала процесса смешивания. Для этого можно, к примеру, использовать ленточный транспортер 1 (рис. 2). Поскольку при длительном смешивании в периферийной части смесителя наблюдается концентрация компонентов малого размера, загрузку компонентов осуществляют в порядке уменьшения размеров частиц и/или увеличения плотности материалов, из которых они состоят.

В начальный момент для облегчения пуска двигателя устанавливается лопатка под углом 90° к оси вращения вала. При этом зазор между лопаткой и цилиндрическим корпусом максимальный.

В первое время при смесеприготовлении в смесителе сыпучих материалов качество смеси изменяется в основном за счет конвективного разноса компонентов [2]. В это время процесс смешения идет на уровне макрообъемов. Для интенсификации данного процесса, т.е. переноса больших порций сыпучего материала на большие расстояния через определенное время (от 10 до 60 с) в зависимости от физико-механических свойств применяемых материалов устанавливается угол поворота лопатки 4 равный 0° . Тем самым организуется максимальная интенсивность "поршневого" перемещения частиц, т.е. лопатка 4 при движении захватывает максимальной площадью своей поверхности порцию компонента А и переносит ее в зону компонента Б, а объем занимаемый компонентом А заполняется компонентом Б. То же самое происходит при повторных движениях лопаток. Этот процесс идет с большой скоростью и продолжается в течение от 0,1 до 0,3 от общего времени процесса смешения.

После того как компоненты в основном будут распределены по рабочему объему смесителя, процесс перераспределения частиц идет уже на уровне микрообъемов. Более заметное влияние на ход процесса смешения начинает оказывать сегрегация частиц. Именно поэтому на данном этапе организуется максимальная интенсивность сдвигового перемещения частиц, для чего устанавливается угол поворота лопаток из диапазона оптимальных значений от 40 до 50° в зависимости от физико-механических свойств, применяемых материалов, из которых состоят компоненты смеси. Данный процесс характеризуется значениями оптимального сочетания количественных показателей сдвигового перемещения частиц под воздействием лопатки и энергозатрат, которые определяются экспериментально [2, 3].

Затем процессы сегрегации и диффузного смешения уравниваются, и дальнейшее перемешивание компонентов смеси не имеет смысла, так как качество смеси остается неизменным.

За счет организации максимальной интенсивности "поршневого" перемещения, значительно сокращается время процесса конвективного смешения ($t_2^k < t_1^k$) (участок I кинетической кривой смешения) и снижается коэффициент неоднородности смеси ($V_{c2}^k < V_{c1}^k$) (рис. 3). То же самое происходит при организации максимальной интенсивности сдвигового перемещения частиц (участок II кинетической кривой смешения). В конечном итоге общее время смешения, определяемое как сумма времени смешения на первом и втором участках, т.е. $t^{см} = t^k + t^{пт}$, сокращается ($t_2^{см} = t_2^k + t_2^{пт} < t_1^{см} = t_1^k + t_1^{пт}$) при улучшении качества получаемой смеси ($V_{c2}^{пт} < V_{c1}^{пт}$).

Для обеспечения минимального, равномерного зазора между кромкой лопатки и стенкой цилиндрического корпуса смесителя на периферии лопатки предлагается выполнить скругленными с радиусом определяемым соотношением

$$r - \sqrt{r^2 - \left(\frac{b}{2}\right)^2} = H - \sqrt{H^2 - \left(\frac{b \sin(\alpha)}{2}\right)^2}, \quad (1)$$

где r – радиус скругления лопатки, м; b – ширина лопатки, м; α – угол поворота лопатки относительно оси вращения вала, град.

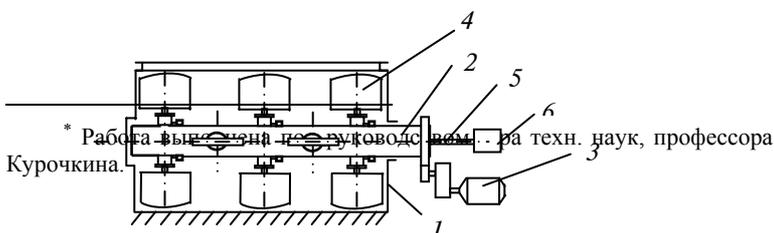


Рис. 1 Схема смесительной установки

В. Ф. Першина, канд. техн. наук, профессора И. М.

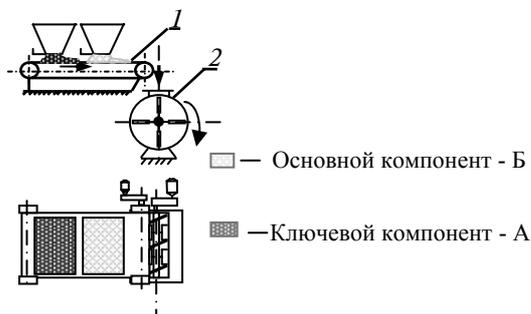
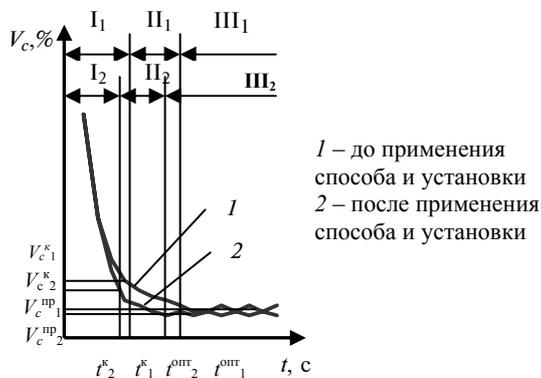


Рис. 2 Схема загрузки компонентов в смеситель:
1 – ленточный транспортер; 2 – смесительная установка



ВИС 3

$$H = R - h - (0,001 \dots 0,002) \text{ м}, \quad (2)$$

где R – внутренний радиус цилиндрического корпуса смесителя, м;
 h – вылет лопатки, м; 0,001 ... 0,002 – необходимый зазор между периферийной частью лопатки и стенкой смесителя, м.

Значения угла поворота лопатки α относительно оси вращения вала берутся из диапазона оптимальных значений от 40 до 50° и определяются экспериментально в зависимости от физико-механических свойств смешиваемых материалов, из которых состоят компоненты.

Соотношение (1) позволяет оптимизировать форму лопатки в зависимости от физико-механических свойств смешиваемых материалов при выдержке необходимого качества смеси.

Ширина лопатки определяется по формуле

$$b = \frac{L}{\cos(\alpha)n}, \quad (3)$$

где L – длина смесителя, м; n - число рядов лопаток.

Соотношение (3) позволяет значительно интенсифицировать процесс смешения за счет применения достаточного числа рядов лопаток, определенной ширины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 А.с. №1502068(СССР), МКИ 4 В01 F 7/04. Смеситель.
- 2 Макаров Ю. И. Аппараты для смешения сыпучих материалов. М.: Машиностроение, 1973. 215 с.
- 3 Демин О. В. Экспериментальное исследование перемещения частиц сыпучего материала в лопастном смесителе: Информ. листок № 70-036-01 / Тамб. центр науч.-техн. информации. Тамбов, 2001. 2 с.

УДК 621.928.235 15

Р. В. РОМАНЦОВ

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ОПЫТОВ
НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ ВИБРОСЕПАРАТОРЕ
С ПНЕВМОПРИВОДОМ *

На первом этапе опытов [1], проведенных на экспериментальной установке, было поставлено несколько задач:

- проверить работоспособность установки и соответствие изготовленного образца поставленным задачам;
- оценить картину поведения материала при различных параметрах вибрации;
- выяснить влияние шероховатости разделительной поверхности на процесс разделения;
- определить преимущества и недостатки пневматических вибраторов.

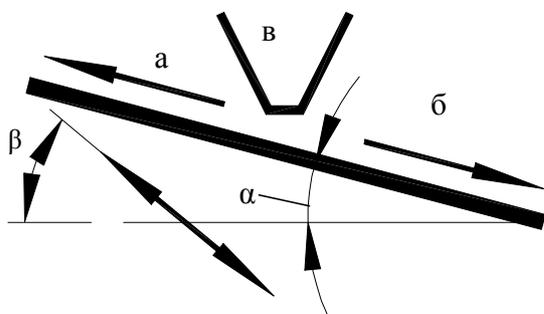
По результатам предварительных экспериментов, проведенных на вибросепараторе с плоской неперфорированной разделительной поверхностью – декой и снабженном пневматическим вибратором, были сделаны следующие выводы.

Во-первых, установлено, что изготовленная экспериментальная установка соответствует поставленным задачам. Она реализует изменение угла наклона деки и угла вибросепарации от 0 до 75°, что вполне достаточно для практических нужд и проведения экспериментов; предусмотрена возможность применения вибраторов различной конструкции (пневматического, электрического) и разделительных поверхностей с различными характеристиками (гладких, шероховатых; плоских или вогнутых); обеспечена компактность и безопасность обслуживания установки, что позволяет использовать ее для лабораторных работ студентов.

Во-вторых, картина движения материала при проведении опытов соответствует теоретическим выводам, описанным в литературе, то есть адекватна. В частности, выяснилось (рис. 1), что по направлению вибрации (направление, обозначенное "а") движутся все частицы, для которых критический угол вибросепарации меньше установленного для данного опыта (на рисунке – угол β), т.е., вверх движутся все фракции материала, мельче целевой и целевая. При падении материала на вибрирующую поверхность, установленную к горизонту под углом α , из зоны подачи (зона "в") он весь в течение некоторого времени движется вниз по деке (направление, обозначенное "б"), и только потом начинает разделяться. Время, в течение которого материал движется вниз, и расстояние от зоны питания, которое он проходит до начала процесса разделения, зависит от высоты его падения. С увеличением высоты падения материала повышается вероятность проскока частиц целевой фракции вниз, за пределы деки.

Рис. 1 Схема разделения материала на деке под воздействием вибрации

На первом этапе экспериментов разделялся материал, состоящий из смеси песка (размер частиц до 0,5 мм), семян проса (размер частиц до 0,5 - 1,5 мм) и полимерных шариков (диаметром более 3 мм). При выбранных условия сепарации (угол наклона деки $\alpha = 10^\circ$ к



горизонту, угол вибросепарации $\beta = 55^\circ$ к вертикали), на гладкой металлической поверхности вверх по направлению вибрации движется песок; слой песка увлекает с собой многие частицы

семян проса, а вниз скатываются полимерные шарики. Можно предположить, что слой песка сыграл роль шероховатой поверхности, которая позволила транспортировать семена проса вверх по направлению вибрации. На гладкой металлической поверхности практически все семена проса скатывались вниз. Поэтому можно говорить о том, что шероховатость поверхности увеличивает диаметр частиц, транспортируемых вверх по направлению вибрации [3], по сравнению с гладкой поверхностью.

В-третьих, установлено, что пневматические вибросепараторы (предоставленные фирмой "Финдева"), по сравнению с электроприводом, выигрывают по массогабаритным характеристикам при одинаковых параметрах вибрации (частота и амплитуда), при этом не учитывалась масса шланга, подающего воздух. Для пневматического вибратора конкретной модели проще изменять частоту вибрации (с помощью изменения давления воздуха), а для электрического – амплитуду, заменяя эксцентрики, закрепленные на валу электродвигателя.

В работе [2] описываются опыты по разделению сыпучих материалов на деке, наклоненной к вертикали под двумя углами (так называемые углы поперечного и продольного наклона, определяемые относительно поперечной и продольной оси деки). При этом частицы с различными параметрами сепарации движутся от зоны подачи материала к краям деки под разными углами к ее продольной оси. Однако эти углы являются лишь проекциями угла между двумя плоскостями (деки и горизонта) на две перпендикулярные друг к другу вертикальные плоскости. Поэтому веер траекторий частиц с различными свойствами можно наблюдать и на деке, угол наклона к горизонтали для которой определяется только одним углом (относительно продольной ее оси).

Для дальнейших исследований выработаны следующие задачи:

- проверка возможности разделения на неперфорированной деке полидисперсных материалов, склонных к комкованию и обладающих повышенной адгезией;
- исследование эффекта переноса более крупных частиц на слое более мелких вверх по направлению вибрации;
- проверка математической модели, описывающей поведение сыпучего материала на неперфорированной плоскости.

УДК 621.6.04.

*В. Н. Артемов**

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА МОКРОГО ГРОХОЧЕНИЯ ПОЛИДИСПЕРСНОГО МАТЕРИАЛА

Процессы отделения мелкой фракции из полидисперсного материала широко используются в различных отраслях промышленности и в частности, химической. В первую очередь это механическая классификация (грохочение). Барабанные грохоты, широко используются как для сухой, так и для мокрой классификации сырья. Материал подается внутрь вращающегося перфорированного барабана и мелкая фракция, просеиваясь через отверстия, отделяется от более крупной фракции. Весьма перспективным представляется реализация нескольких технологических процессов в одном аппарате. В частности мокрое грохочение успешно может быть реализовано в машинах барабанного типа одновременно с удалением примесей за счет флотации. Основной причиной сдерживающей расширение использования барабанных грохотов, на наш взгляд, является низкая эффективность грохочения при малых концентрациях фракций, которые необходимо отделить. В работе [1] подробно рассмотрен процесс классификации полидисперсного материала в барабанных грохотах. Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено, что причиной низкой эффективности грохочения является сегрегация частиц по размерам в поперечном сечении гладкого барабана. Конечным результатом сегрегации является образование ядра из мелких частиц в области центра циркуляции. Таким образом, в процессе движения вдоль барабана, концентрация мелких частиц в слоях, прилегающих к перфорированной обечайке, уменьшается. Следовательно, уменьшается и количество отсеивающихся частиц.

В [1] делается вывод, что "для интенсификации процесса грохочения и повышения эффективности желательнее периодически перемешивать сыпучий материал, разрушая тем самым ядро сегрегации, в котором в основном находится мелкая, т.е. проходная фракция". Периодическое перемешивание сыпучего материала, повышает интенсивность и эффективность процесса, однако более радикальным представляется целенаправленное перемещение мелкой фракции из центра сегрегации к перфорированной обечайке барабана. Нами разработана конструкция [2], позволяющая реализовать направленное перемещение материала в поперечном сечении барабана.

Математическую модель, представленную в работе [1], необходимо совершенствовать, поскольку она не позволяет учитывать периодическое разрушение ядра сегрегации.

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора

В. Ф. Першина.

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора

В. Ф. Першина.

Рассмотрим более подробно основные положения данной модели. Состояние системы характеризуется распределением частиц разных фракций в поперечных сечениях барабана. Барабан по длине делится на участки и делается допущение о том, что в пределах одного участка распределение частиц по размерам не изменяется во времени. Состояние системы изменяется по шагам при переходе частиц сыпучего материала с одного участка на другой. Таким образом, параметры распределения частиц в конце одного участка являются начальными параметрами для последующего участка. В пределах каждого участка на каждом шаге реализуются следующие процессы: сегрегация частиц по размерам; отделение частиц ключевой (мелкой) фракции от основной массы в результате просеивания через отверстия в обечайке; отделение ключевой фракции за счет уноса ее потоком воды, проходящей через барабан.

Для описания процессов отделения мелкой фракции, в результате теоретических и экспериментальных исследований, по аналогии с зависимостями работы [1], нами получены следующие формулы:

$$V_{от1,i,j,k} = P_{от1,i,j,k} V_{ij} C_{от,i,j,k-1} \delta_{\omega} / \delta_0, \quad (1)$$

$$P_{от1,i,j,k} = K_1 (\omega / \omega_{кр}) C_{от,i,j,k-1}^3 / (3,14 (R - 0,5 R_i - 0,5 R_{i+1}) / R), \quad (2)$$

$$V_{от2,i,j,k} = P_{от2,i,j,k} V_{ij} C_{от,i,j,k-1} \delta_{\omega} / \delta_0, \quad (3)$$

$$P_{от2,i,j,k} = K_2 (\omega / \omega_{кр}) C_{от,i,j,k-1}^3 / (3,14 (R - 0,5 R_i - 0,5 R_{i+1}) / R), \quad (4)$$

где $V_{от1,i,j,k}$, $V_{от2,i,j,k}$ - объемы ключевой фракции, которые удаляются с подслоя i участка j на переходе k , соответственно за счет просеивания и отмывки; $P_{от1,i,j,k}$, $P_{от2,i,j,k}$ - соответствующие вероятности отделения ключевой фракции из i -го подслоя; ω - угловая скорость вращения барабана; $C_{от,i,j,k-1}$ - концентрация ключевой фракции в подслое i на участке j на переходе k ; K_1 , K_2 - постоянные коэффициенты, численные значения которых определяется при идентификации параметров математической модели реальному процессу.

Результаты экспериментов по грохочению и отмывке полидисперсного материала во вращающемся барабане с устройством для периодического разрушения ядра сегрегации показали, что максимальная интенсификация указанных процессов достигается когда достаточно большой объем материала переносится из центра циркуляции к обечайке барабана (не менее 20 % от общей массы сыпучего материала находящегося в барабане). Применительно к послойной модели это не менее одного внутреннего подслоя. Учитывая вышесказанное, при моделировании процесса классификации необходимо организовать пересчет концентрации по подслоям после каждого разрушения ядра сегрегации. При пересчете можно предположить, что при разрушении ядра сегрегации сыпучий материал последнего или нескольких внутренних слоев переносится на наружную поверхность циркуляционного контура, а их место занимает материал из вышележащих подслоев.

Для экспериментального исследования эффективности грохочения мы разработали и изготовили специальную лабораторную установку. В опытах мы использовали двухкомпонентную смесь из кварцевого песка со средним диаметром частиц 0,2 мм и стеклянных шариков с диаметром 0,8 мм. Диаметр барабана был равен 0,25 м, длина 0,3 м, а угловая скорость его вращения $2,07 \text{ с}^{-1}$.

Концентрация мелкой фракции в исходной смеси была равна: 0,466; 0,5; 0,666.

Порядок проведения опытов был следующий. Готовилась двухкомпонентная смесь с определенной концентрацией мелкой фракции. Смесь загружали в перфорированный барабан, который приводился во вращение. Через определенные промежутки времени, мелкую фракцию, высыпавшуюся из барабана, взвешивали с точностью 0,01 г. Результаты экспериментов показали, что наименее эффективно идет процесс грохочения при исходной концентрации мелкой фракции 0,466. Если оценивать эффективность грохочения отношением отсеянной мелкой фракции к ее первоначальному количеству, то при исходной концентрации $C_0 = 0,66$, эффективность отсева составляет 72 %, при $C_0 = 0,5$ – 35 %, а при $C_0 = 0,466$ – 28 %. Очевидно, что при меньшем содержании мелкой фракции в исходном продукте, эффективность грохочения будет еще ниже.

Экспериментально перемещение мелкой фракции осуществлялось следующим образом. Внутри барабана была установлена изогнутая труба прямоугольного поперечного сечения с возможностью поворота вокруг оси барабана. Расстояние от оси до центра входного отверстия трубы было равно R_c , т.е. расстоянию от указанной оси до центра циркуляции. Расстояние до дальнего края выходного отверстия было меньше на 3 – 5 мм чем внутренний радиус барабана. Через 180 с после начала процесса грохочения изогнутую трубу поворачивали вокруг оси барабана по направлению его вращения. При повороте трубы мелкие частицы, сконцентрированные вокруг центра циркуляции, попадали в изогнутую трубу и перемещались непосредственно к перфорированной обечайке. При $\tau = 330$ с описанная процедура повторялась. Графически результаты этого эксперимента представлены на рис. 1.

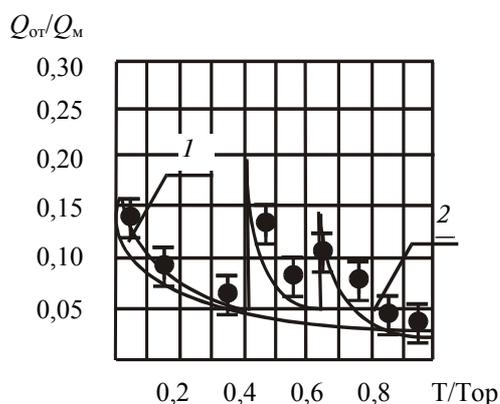


Рис. 1 Изменение интенсивности грохочения:

1 – без разрушения ядра сегрегации. 2 – с периодическим перемещением частиц из центра циркуляции к обечайке барабана.

Количество мелкой фракции, которое прошло через отверстия перфорации равно площади под кривыми 1 и 2. Как видно из графика при $\tau = 180$ с и $\tau = 330$ с наблюдается резкое увеличение количества мелкой фракции, отсеянной в единицу времени, что объясняется перемещением частиц из области центра циркуляции к обечайке барабана. Следует отметить, что описанный выше технологический прием повышает эффективность грохочения с 28 % до 73 %, а разработанная математическая модель позволяет прогнозировать результаты грохочения и рассчитывать оптимальные режимные и геометрические параметры грохота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 3 Першин В. Ф. Моделирование процесса классификации в барабанном грохоте // Теорет. основы хим. технологии. 1989. Т. XXIII, № 4. С. 499 - 505.
- 4 Патент РФ № 2124934 RU В 01 F 3/18, 9/02. Способ приготовления смеси сыпучих материалов и устройство для его осуществления / Н. С. Артемов, В. Н. Артемов, В. Ф. Першин, С. В. Барышникова, А. Г. Ткачев RU. № 97110647. Заявлено 24.06.97; Опубл. 20.01.99. Бюл. № 2.

Кафедра "Прикладная механика и сопротивление материалов"

УДК 66.047

*А. Н. Шикунов, А. Н. Утробин,
Н. Ц. Гатапова, А. Н. Пахомов*

К ВОПРОСУ О КИНЕТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЯХ СУШКИ НА ПОДЛОЖКАХ ДИСПЕРСИЙ ОРГСИНТЕЗА (ЛРФ-СОСТАВ, Р-СОЛЬ, ГАММА-КИСЛОТА, ДИСПЕРГАТОР НФ, БЕЛОФОР)

Сушка дисперсий широко применяется в промышленности (суспензии полупродуктов, красителей, технические полимерные эмульсии и пр.). При сушке они переходят из жидкотекучего состояния в твердое. Механизм и кинетика их сушки изучены недостаточно. Обработка дисперсий может производиться в распылительных сушилках, в аппаратах со взвешенным слоем и на инерте, в вальцеленточных, барабанных, вакуум-гребковых и других конструкциях сушилок.

Наиболее полно и надежно механизм и кинетику тепло- и массопереноса в дисперсиях можно изучать в тонких слоях на специальных варьируемых подложках по методике, разрабатываемой школой профессора В. И. Коновалова. Затем результаты опытов переносятся на промышленные условия.

Ранее были выполнены работы по сушке шести характерных дисперсий: мясокостной жидкости, кукурузной жидкости, желатина, крахмала, сахара и соли [1, 2]. Настоящая работа посвящена исследованию дисперсий, типичных для важнейших производств оргсинтеза.

Исследования проводились на большой циркуляционной конвективной сушилке (БЦС) кафедры ПАХТ ТГТУ (рис. 1). Изучали кинетику сушки дисперсий следующих продуктов: латексно-резорцино-формальдегидный (ЛРФ) состав – для адгезионной пропитки кордных материалов резинотехники; Р-соль (2-нафтол-3,6-дисульфокислота), используемая для получения азокрасителей и полупродуктов; Гамма-кислота (2-амино-8-нафтол-6-сульфокислота) – азосоставляющая в производстве азокрасителей; диспергатор НФ-вещество из группы нафталинсульфонатов (НФ: $\text{CH}_2(\text{C}_{10}\text{H}_6\text{SO}_3\text{NO})_2$) – поверхностно-активное вещество, применяемое в процессах крашения синтетических волокон; белофор КД-2 (динатриевая соль-4,4"-бис-стильбен-2,2"-дисульфокис-лоты) и белофор КД-93 (в жидком виде состоит на 20 % из белофора КД-2, а остальное – вода, грануло- и пенообразующие добавки) – оптические отбеливатели в синтетических моющих средствах.

Исходные сухие (кроме ЛРФ) полупродукты разбавлялись до нужной концентрации дистиллированной водой (ЛРФ – до $x_{\text{нач}} = 25$ % упаривали в сушильном шкафу), а затем наносились на подложки с термопарой (ХК, $d = 0,15$ мм). После этого рамка с образцом помещалась внутрь БЦС (рис. 1) на приемную рамку, соединенную с магнитной подвеской пишущих электронных весов. Образец обдувался горячим воздухом. При этом происходило обезвоживание дисперсии и снимали одновременно термограмму и весовую кривую на приборах типа КСП-4. Далее проводился "чистый" нагрев и образец повторно взвешивался. Затем данные заносились в бланк отчета и обрабатывались на компьютере.

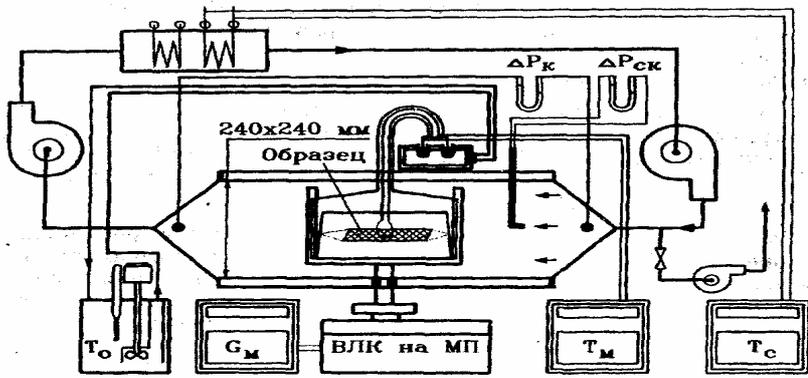


Рис. 1 Большая циркуляционная сушилка (БЦС)

В качестве подложек (рис. 2) были выбраны следующие материалы: фторопласт ($\delta = 2$ мм) и алюминий ($\delta = 2$ мм) – для одностороннего испарения влаги, ткань анидная ТА-100 ($\delta = 0,75$ мм) и шнур лавсановый ($10,7 \times 6 \times 3$), набранный в подложку из отрезков одинаковой

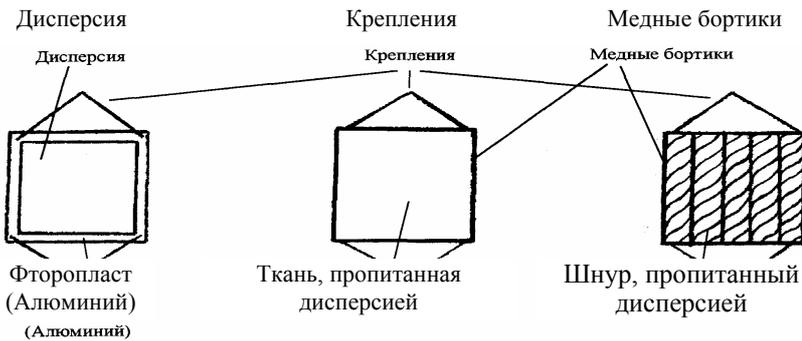


Рис. 2 Схема подложек с нанесенной дисперсией

длины, спаянных на концах параллельно друг другу – для двухстороннего испарения влаги. Все подложки имели размеры 45×35 мм. Предусмотрены также подложки из тонкой полиамидной сетки. Одновременно проводились визуальные наблюдения структуры дисперсии, поверхности, текучести, цвета и пр. Диапазоны температур, скоростей воздуха и начальных концентраций составляли соответственно: от 80 °С до 160 °С, от 3 до 7 м/с и от 6 % до 50 % (по массе на сухой остаток). Типичные результаты представлены для примера и анализа на рис. 3 – 5.

Рис. 3 Кривые сушки белофора на МФП при $T_c = 120$ °С

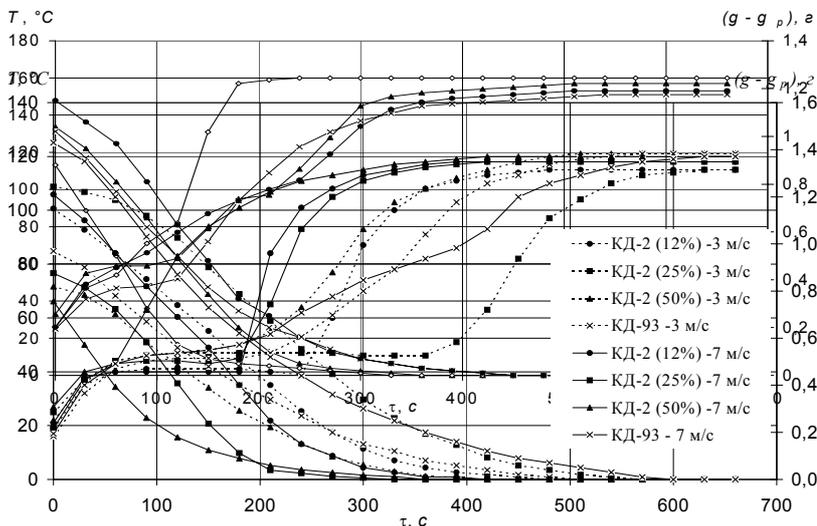


Рис. 4 Кривые сушки ЛРФ при $T_c = 160$ °С, $W = 5$ м/с, $x_{нач} = 12$ %

Как видно из рис. 3 при сушке белофора КД-2 и КД-93 убыль влаги прекращается примерно при достижении слоев температуры сушильного агента. Отчетливо видно увеличение скорости сушки при увеличении скорости обдува. Рост $x_{нач}$ существенного влияния на скорость сушки в первом периоде не оказывает. На всех температурных кривых присутствует площадка температуры мокрого термометра $T_{мт}$. Цвет белофоров после сушки – белый со следами зеленого и коричневого.

При сушке ЛРФ (рис. 4) при жестком режиме ($T_c = 160$ °С, $W = 5$ м/с) скорость процесса от вида подложки зависит незначительно. Для каждой из четырех подложек характерно наличие площадки $T_{мт}$, а для МАП – еще и площадки кипения $T_{кип}$. На МАП и МФП при жестком режиме наблюдаются морщинистость и отслоение образующейся пленки, а на ТА-100 и ШЛ – глубокое проникновение в поры материала подложки и прочное там удержание. Цвет высушенного ЛРФ –

коричневый. Для Р-соли, Диспергатора НФ и Гамма-кислоты (рис. 5) при $T_c = 160^\circ\text{C}$ время сушки оказывается меньше времени достижения слоев температуры T_c . Для всех кривых характерно наличие площадок $T_{\text{мт}}$. Для Р-соли и Диспергатора НФ при $T_c = 160^\circ\text{C}$ имеются еще и площадки при $T_{\text{кип}}$.

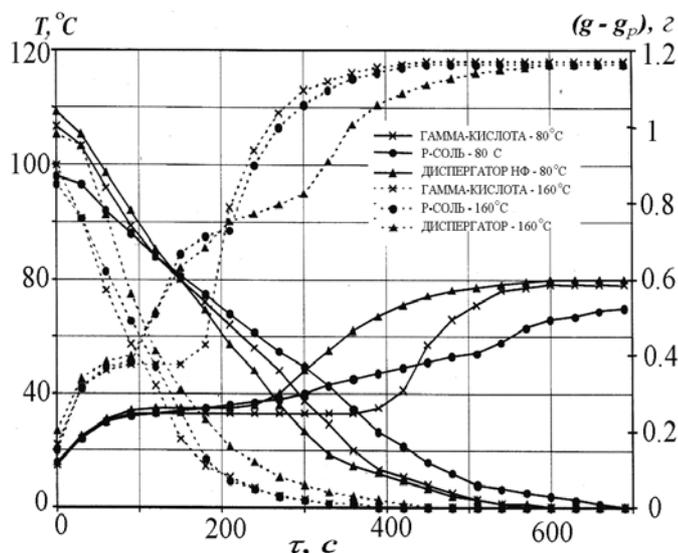


Рис. 5 Кривые сушки Гамма-кислоты, Р-соли, Диспергатора НФ на МФП при $W = 5 \text{ м/с}$, $x_{\text{нач}} = 25\%$

Повышение температуры ведет к интенсивному образованию трещин и пузырей на поверхности слоя. После сушки полупродукты легко скалываются с подложки и имеют следующий цвет: Р-соль и Гамма-кислота – серый, Диспергатор НФ – темно-оранжевый.

На основании проведенных экспериментов, рассматриваемые дисперсии можно отнести к следующим структурно-кинетическим типам [2]: одна площадка $T_{\text{мт}}$ – все дисперсии с различными $x_{\text{нач}}$, кроме Диспергатора НФ с $x_{\text{нач}} = 50\%$; одна площадка $T_{\text{кип}}$ – ЛРФ-состав с $x_{\text{нач}} = 25\%$, Гамма-кислота, Диспергатор НФ и Р-соль – все с $x_{\text{нач}} = 50\%$; обе площадки $T_{\text{мт}}$ и $T_{\text{кип}}$ – ЛРФ-состав с $x_{\text{нач}} = 12\%$ и 25% , Гамма-кислота с $x_{\text{нач}} = 50\%$, Диспергатор НФ с $x_{\text{нач}} = 25\%$, Р-соль с $x_{\text{нач}} = 25\%$ и 50% ; отсутствие площадок (как при "мягких", так и при "жестких" режимах) – Диспергатор НФ с $x_{\text{нач}} = 50\%$. На этой основе строятся методики расчета конкретных процессов и выбирается технологический режим, обеспечивающий необходимое качество при максимально возможной интенсивности сушки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Пахомов А. Н., Гатапова Н. Ц. К вопросу кинетики сушки дисперсий на подложках / Труды ТГТУ. Вып. 6. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2000. С. 115 - 117.

Kononov V. I., Pachomov A. N., Gatarova N. Z., Kudra T. Modeling of Drying of Dispersed Systems // Теплообмен ММФ-2000: Труды IV Междунар. симпозиума. Минск: ИТМО, 2000. Т. 9, с. 20 - 29.

Кафедра "Процессы и аппараты химической технологии"

УДК 621.604

М. М. Свиридов, И. Н. Шубин

АНАЛИЗ ПОВЕДЕНИЯ ПОТОКОВ МАТЕРИАЛА В ИНЕРЦИОННОМ СМЕСИТЕЛЕ

Приготовление однородных по составу композиций из твердых материалов, находящихся в зернистом, пылеили порошкообразном состоянии, их смешивание является широко используемым процессом. Во многих случаях от его исхода зависит качество готового продукта. Несмотря на многообразие смесителей, литература, посвященная исследованию процессов происходящих в них, не дает однозначного пути повышения эффективности смесеобразования. Как правило, в этих работах основное внимание уделяется технологическим параметрам – качеству смешивания, потребляемой мощности, производительности аппарата и некоторым другим и фактически отсутствуют данные о характеристиках движения потоков материалов.

Целью настоящей работы является анализ поведения ряда сыпучих материалов в инерционном смесителе (рис. 1).

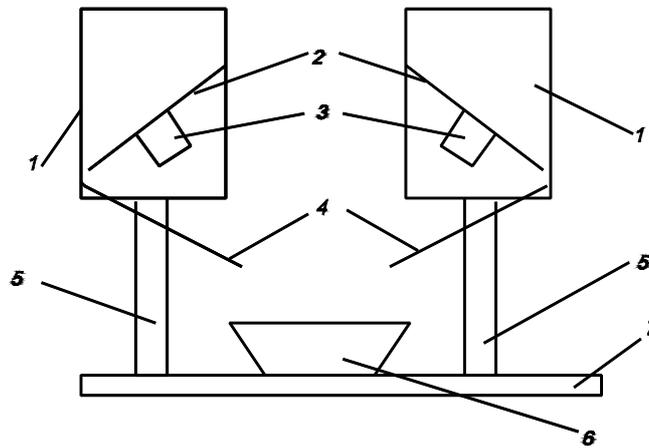


Рис. 1 Схема инерционного смесителя:

1 - бункер; 2 - подвижное днище; 3 - вибратор; 4 - направляющая;
5 - подвижная часть рамы; 6 - приемная емкость; 7 - рама

Процесс может быть условно разбит на три стадии: 1 - образовании потоков в бункере; 2 - разгон потока по направляющей; 3 - падение материала в веере. Первая стадия интересна с точки зрения изучения поведения материала в бункере 1, в котором возможно сводообразование и зависание материала. Исследование второй стадии позволяет получить скоростные и геометрические параметры потока на сыпающем краю направляющей 4. Названные характеристики потоков являются исходными для получения геометрии и плотности потока материала в веере, определяющие интенсивность взаимного проникновения непосредственно при пересечении потоков компонентов образующих смесь. Для анализа первой стадии был использован один бункер 1 инерционного смесителя. В состав экспериментальной установки входила также видеокамера 8, на которую производилась съемка процессов, происходящих с материалом при истечении его из бункера 1. Вид экспериментальной установки представлен на рис. 2.

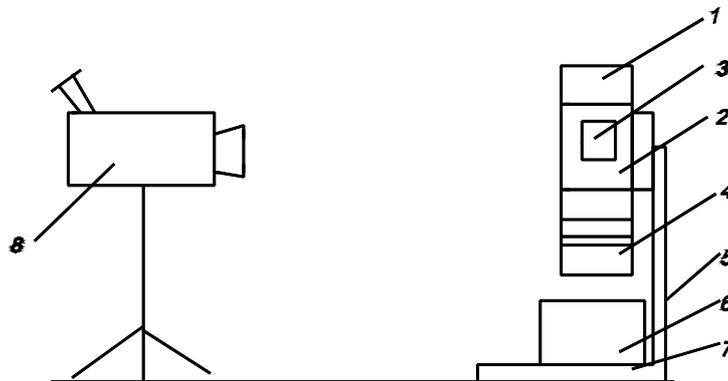


Рис. 2 Схема экспериментальной установки:

1 - бункер; 2 - подвижное днище; 3 - вибратор; 4 - направляющая;
5 - подвижная часть рамы; 6 - приемная емкость; 7 - рама;
8 - видеокамера на штативе

В качестве исследуемых материалов были использованы: кварцевый песок, речной песок, поваренная соль, цеолит, глина, пшено. Их физико-механические свойства приведены в табл. 1.

1 Физико-механические свойства исследуемых материалов

Характеристика материал	Насыпная плотность, ρ , кг/м ³	Средний размер частиц, $d \cdot 10^3$, м
Поваренная соль	1500	0,38
Кварцевый песок	1250	0,47

Речной песок	2180	0,26
Цеолит	750	$(20 - 40) \cdot 10^3$
Глина	820	$(20 - 100) \cdot 10^3$
Пшено	980	1,93

Методика эксперимента заключалась в следующем. После загрузки материала в бункер *1*, с началом его истечения, включалась видеокамера *8*, которая записывала процесс истечения на видеопленку. У видеокамеры *8* был установлен специальный режим скоростной видеозаписи для съемки быстропротекающих процессов. Согласно целям исследования эксперимент разбивался на две части. В первой части исследовалось поведение материала непосредственно в бункере *1*, т.е. возможное наличие и тип циркуляции при наложении вибрации, первоначально направленной исключительно на разрушение сводаобразования у плохо текучих материалов (первая стадия). Для наглядности эксперимента использовался контрастный материал: пшено различного цвета (зеленый и желтый цвет). Данный компонент загружался в бункер *1* послойно, с чередованием цветов (рис. 3, *а*).

При анализе второй стадии процесса внимание уделялось геометрии слоя (в частности его высоте *H*) и скорости *V* движения материала на направляющей *4* (рис. 3, *б*).

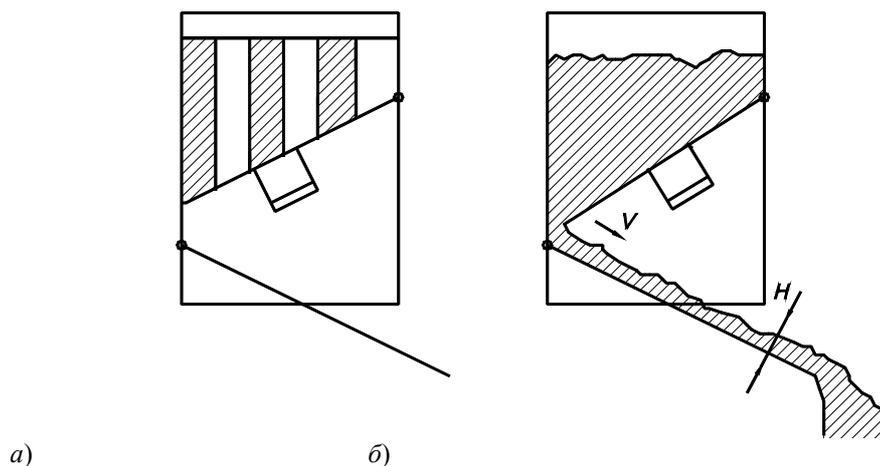


Рис. 3 Схемы бункеров экспериментальной установки с загруженным материалом:
а – в первой части эксперимента; *б* – во второй части эксперимента

После проведения видеосъемки данного эксперимента кассета с видеозаписью была оцифрована с целью детального изучения с помощью компьютерной техники. В итоге были получены следующие результаты.

Налагаемая вибрация не оказывает влияние на истечение материала из бункера *1* (т.е. послойная укладка материала в бункере не разрушалась; происходило его плавное истечение по наклонному днищу; отсутствовала циркуляция в объеме материала со смещением разноцветных слоев).

При движении по направляющей *4*, материал был распределен равномерно с одинаковой высотой *H* слоя по всей ее протяженности.

Скорость *V* материала главным образом зависела от угла наклона направляющей *4* (при его увеличении скорость возрастала).

Результат анализа двух первых стадий процесса показал: *а*) отсутствие воздействия вибрирующего днища *2* бункера *1* на геометрию и скорости потока материала на направляющей *4*; *б*) геометрические параметры и плотность материала в веере, стадия 3, определяются геометрией направляющей *4* и значениями физико-механических свойств материалов (коэффициенты трения движения и покоя).

Таким образом проведенные опыты подтвердили, что определяющими эффективностью процесса смешивания являются вторая стадия – разгон потока по направляющей *4* и третья стадия – падение материала в веере, на которой в реальном смесителе происходит пересечение и взаимное проникновение потоков частиц, т.е. смесеобразование.

Кафедра "Конструирование машин и аппаратов"

УДК 621.6.04:661.185-3 12

Ю. Т. Селиванов, А. В. Орлов*

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

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ В БАРАБАННОМ СМЕСИТЕЛЕ

Математические модели, описывающие процесс смешения в барабанных смесителях периодического действия разработаны как для двухкомпонентных смесей [1], так и для многокомпонентных смесей [2]. Они созданы на базе аппарата случайных марковских цепей. На основе этих моделей разработана модель для непрерывного режима смешения. При этом использовался ряд допущений (прямолинейный характер распределения сыпучего материала по длине барабана; процесс смешивания происходит, в основном, в поперечных сечениях, а продольным перемешиванием можно пренебречь), которые требуют дополнительной экспериментальной проверки.

Была разработана экспериментальная установка – барабанный смеситель сыпучих материалов, который является аппаратом непрерывного действия, предназначенным для проведения экспериментов по смешиванию. Целью создания данной установки было подтверждение данных, полученных на основе расчетов с использованием описанной математической модели, для чего будут проводиться три серии экспериментов:

1 Анализ зависимости распределения материала по длине барабана.

Характер распределения сыпучего материала по длине барабана с подпорным кольцом и без него на ссыпающем краю достаточно хорошо исследовано в работе [3]. В математическую модель заложен прямолинейный характер распределения сыпучего материала. Исключением является небольшой участок вблизи от ссыпающего края барабана, когда нет подпорного кольца. Для проверки этого необходимо сравнить площади поперечного сечения материала в поперечных сечениях в начале, середине и конце барабана. Получаемые значения должны показывать характерные изменения объемов проб на различных участках по длине барабана. Если вначале в каждой пробе сосредоточен больший объем материала, то далее, по мере движения материала к разгрузочному отверстию объем каждой пробы уменьшается по линейной зависимости, что показано в математической модели и требует экспериментального подтверждения.

2 Оценка распределения скоростей движения частиц вдоль оси барабана.

В модели заложено, что преобладающее влияние на процесс смешивания оказывает движение сыпучего материала в поперечных сечениях. Распределение скоростей вдоль оси барабана является менее значимым. Для проверки этих утверждений необходимо провести вторую серию экспериментов. Предполагается проведение двух видов экспериментов при введении окрашенного компонента. После выхода процесса смешения на установившийся режим в барабан, наряду с равномерной загрузкой, в течение небольшого промежутка времени, добавляется материал отличающийся от основного компонента цветом и засекается время, за которое частицы подкрашенного материала выйдут с разгрузочного края барабана. Во втором случае в определенный момент времени подача основного компонента прекращается, а вместо него, в течение промежутка времени, соответствующего первому виду эксперимента, загружается такой же, но подкрашенный материал. В результате проведения этих экспериментов можно сравнить длительность выгрузки подкрашенного компонента с продолжительностью его загрузки в барабан, а также, зная время пребывания этих частиц в смесителе, оценить эффективность осевого смешивания. По результатам сравнения двух видов экспериментов можно сделать вывод о том, насколько сильно влияет на процесс осевого смешивания скачкообразное изменение величины входного сигнала (единовременная и неодновременная загрузка основного и подкрашенного компонентов).

Смешивание двух и более компонентов и анализ результатов.

Эти эксперименты наиболее важны из всех перечисленных серий. Наша цель – оценить качество смеси при различных режимных и геометрических параметрах установки, для чего в отдельно взятых пробах из смеси, подаваемой на ленту транспортера, выделяются основной и ключевые компоненты, оценивается характер распределения компонентов и влияние сегрегации на этот процесс. В ходе эксперимента изменяется регламент загрузки, в том числе должна быть возможность загрузки ключевых компонентов в любую точку барабана по его длине.

Экспериментальная установка (для всех типов экспериментов) состоит из полупрозрачной пластиковой трубы с соотношением длины к диаметру 6.5, закрепленной при помощи муфты на редукторе привода постоянного тока. Благодаря этому у нас имеется возможность плавно регулировать скорость вращения барабана в пределах $(0,1 \dots 0,5) \omega_{кр}$. Также есть возможность изменять угол наклона барабана и производительность (меняя расход, поступающего на загрузочный край установки, материала). На загрузочном и разгрузочном краях барабана могут быть установлены ограничительные подпорные кольца различных диаметров. Причем кольцо со значительно меньшим диаметром внутреннего отверстия установлено на загрузочном крае барабана, что создает постоянный подпор уровня материала даже на незначительных углах наклона

барабана. Кольца съемные и с различными диаметрами внутреннего отверстия – это позволяет регулировать степень подпора на различных углах наклона, при различных скоростях вращения барабана и на различных типах смешиваемых компонентов.

Для экспериментов по анализу характера распределения сыпучего материала вдоль оси барабана разработана конструкция секционированного пробоотборника, позволяющая производить одновременный отбор проб материала по всей длине барабана. Он состоит из металлических полуокружностей – пластин, имеющих диаметр, соответствующий внутреннему диаметру барабана, жестко и соосно закрепленных на двух параллельных стержнях. Расстояния между пластинами определяются длиной металлических втулок, расположенных между полуокружностями на стержнях. Длина втулок выбирается таким образом, чтобы расстояния между пластинами в середине и вблизи от разгрузочного и загрузочного краев барабана были равны. Втулки и пластины, расположенные на стержнях, фиксируются с обеих сторон гайками. По завершении цикла смешивания пробоотборник вводится в барабан, так чтобы не касаться слоя материала и проворачивается на 180°. При этом сыпучий материал оказывается разделенным на секции вдоль оси барабана пластинами пробоотборника. В дальнейшем происходит извлечение материала из отдельных секций пробоотборника и оценивается его вес и объем с целью анализа распределения вдоль оси барабана. Для более детального анализа характера распределения компонентов и сравнительного анализа различных методов отбора проб использовалась оригинальная технология: специально подобранный пластиковый (полипропилен) барабан с полупрозрачной обечайкой позволяет производить измерение хорд (при помощи штангенциркуля) расположения материала по длине. После чего вычисляется объем материала в каждой секции пробоотборника. Для повышения достоверности, после измерения хорд, объем материала в каждой секции сравнивается с вычисленным по хордам объемом.

Следует отметить, что во всех экспериментах загрузка производится через специальный раструб из бункера со статическим внутренним давлением сыпучего материала. Уровень материала в загрузочном бункере поддерживается в узком диапазоне, что минимизирует перепады расхода на входе в барабан.

Небольшой внутренний диаметр барабана с принятым ранее соотношением длины к диаметру позволяет успешно проводить эксперименты по анализу зависимости распределения материала вдоль оси барабана и оценивать характер распределения скоростей движения частиц в осевом направлении. Однако, если конструкция имеет слишком маленький диаметр барабана, то это не позволяет вводить в него дополнительные конструктивные элементы. Например, т.к. загрузка может производиться в любой точке барабана, необходимо вводить дополнительные конструктивные элементы (лотки) в отверстие подпорного кольца, что невозможно из-за слишком малого его диаметра, а дальнейшее его увеличение связано с ростом угла наклона барабана или скорости его вращения. При таком диаметре, циркуляционный контур (его площадь) будет слишком маленьким и, при достаточно высокой склонности ключевого компонента к сегрегации, процесс может заканчиваться по длине барабана на небольшом расстоянии от разгрузочного края (например, ближе к середине). Исходя из вышесказанного, для исследования процесса смешивания необходимо использовать барабан большего диаметра с меньшей длиной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

4 Першин В. Ф. Моделирование процесса смешения сыпучего материала в поперечном сечении гладкого вращающегося барабана // Теоретические основы хим. технологии. 1986. Т. XX, № 4. С. 508 - 513.

5 Селиванов Ю. Т., Першин В. Ф. Моделирование процесса смешивания дисперсных материалов, отличающихся размерами частиц // Теоретические основы хим. технологии. 2001. Т. 35, № 1. С. 90 - 93.

6 Макевнин М. П. Исследование движения сыпучих материалов во вращающихся барабанах: Автореф. ... канд. техн. наук. Москва, 1963. 16 с.

УДК 66.028

*С. В. Барышникова, А. А. Осипов, Д. В. Филимонов**

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ ВЕСОВЫХ ДОЗАТОРОВ

Непрерывное весовое дозирование широко используется в различных технологических процессах переработки порошкообразных материалов. Основной характеристикой дозатора является точность дозирования.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований показали, что в информационных материалах ведущих мировых фирм, выпускающих весовые дозаторы, указывается точность дозирования при средних значениях производительности. Наиболее сложно решается вопрос точного весового дозирования при малых производительностях, порядка нескольких грамм в секунду. Учитывая большое число различных конструкций весовых

дозаторов, представляется целесообразным использование имитационных моделей для проведения численных экспериментов с целью определения точности дозирования.

В результате анализа типовых схем весового непрерывного дозирования нами выделены следующие основные этапы данного процесса: 1) формирование непрерывного потока порошкообразного материала; 2) определение воздействия определенной части потока на весоизмерительный датчик; 3) расчет производительности; 4) сравнение полученного значения с заданным; 5) корректировка производительности.

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

Для оценки работы разных конструкций непрерывных дозаторов, а также для создания новых перспективных способов непрерывного дозирования нами разработаны математические модели каждого этапа дозирования и на основе этих моделей создана компьютерная программа, позволяющая имитировать непрерывный процесс весового дозирования сыпучих и порошкообразных материалов.

Учитывая результаты исследований, проведенных нами ранее [1, 2], для сыпучих материалов преобразование отдельных порций в непрерывный поток был выбран вибрирующий лоток, а для порошкообразных – виброшнековый питатель. Следует отметить, что именно эти устройства наиболее часто используются в дозаторах, которые в настоящее время выпускают ведущие мировые компании.

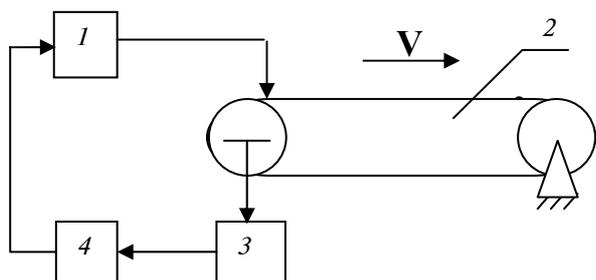


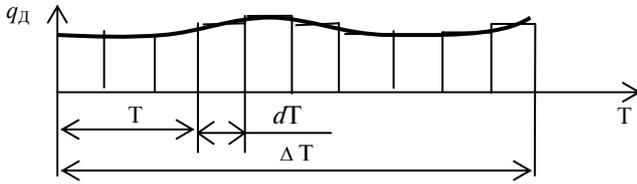
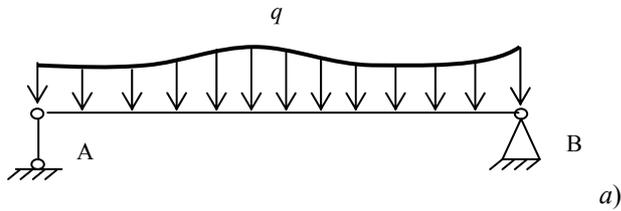
РИС. 1 ЛЕНТОЧНЫЙ ТРАНСПОРТЕР С ВЕСОИЗМЕРИТЕЛЬНЫМ ДАТЧИКОМ

Для определения и регулирования производительности мы использовали типовую схему весового непрерывного дозирования, включающую ленточный транспортер с весоизмерительным датчиком (рис. 1).

Выбор данной схемы обусловлен тем, что ей присущи все основные достоинства и недостатки традиционных устройств для весового непрерывного дозирования. Устройство работает следующим образом. Непрерывный поток материала узлом 1 подается на ленточный транспортер 2. Материал, находящийся на ленте транспортера воздействует на датчик 3. Сигнал с датчика 3 подается на контроллер 4, где сравнивается с заданной величиной. По результатам сравнения управляющий сигнал подается на узел 1, где осуществляется изменение производительности.

Для имитации процесса воздействия определенной части потока на весоизмерительный датчик и расчета производительности разработана математическая модель данного процесса. На рис. 2, а показана расчетная схема для определения усилия P_d , действующего на датчик.

Реакция в опоре А численно равна P_d . Фактически это балка на двух опорах, нагруженная распределенной по длине нагрузкой q . Величина q складывается из двух составляющих: равномерно распределенной нагрузки q_T от веса транспортера; неравномерно распределенной нагрузки q_d от веса дозируемого материала. Поскольку нагрузка от веса транспортера распределена равномерно и может быть легко вычислена, в дальнейших расчетах мы ее указывать не будем.



б)

Рис. 2 Распределение материала на ленте

На рис. 2, б показано изменение производительности q_d за промежуток времени $\Delta T = L/V$, где L - длина транспортера, а V - скорость движения ленты. Фактически это распределение материала на ленте (рис. 2, а).

Численная величина P_d равна

$$P_d = \frac{1}{\Delta T} \int_0^{\Delta T} q_d(T) T dT . \quad (1)$$

Именно этот сигнал с датчика 3 поступает на контроллер 4. Поскольку не известно истинное распределение материала на ленте, т.е. функция $q_d(T)$ при расчетах считают, что материал распределен равномерно с интенсивностью q_p равной

$$q_p = 2P_d/L . \quad (2)$$

В контроллере 4 эта величина вычитается из заданного значения q_3 и разница, в качестве управляющего сигнала, подается на узел 1.

В математической модели, распределение $q_d(T)$ мы рассматривали как ступенчатое, что позволило в дальнейшем с помощью генератора случайных чисел имитировать возможные варианты работы узла 1.

Теоретический анализ и проведенные численные эксперименты показали, что при обработке информации неверно рассчитывается производительность дозатора, следовательно, подается неверный сигнал на узел 1. На рис. 3 показан пример распределения сыпучего материала транспортной ленте.

Допустим, что производительность равномерно уменьшается от 5 гс^{-1} до $4,1 \text{ гс}^{-1}$ тогда согласно формулам (1) и (2) $q_p = 4,615 \text{ гс}^{-1}$. Средняя производительность $q_{срД} = 4,55 \text{ гс}^{-1}$. Предположим, что она равна заданной производительности.

Однако, поскольку расчетное значение получилось больше чем заданное, то контроллер подаст управляющий сигнал на

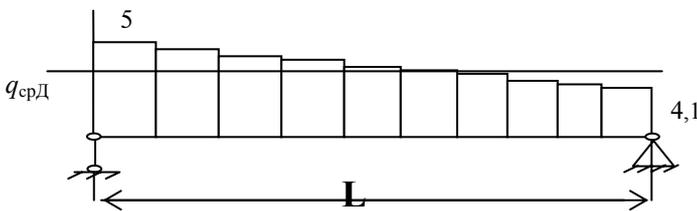


Рис. 3 Экспериментальное распределение материала

узел 1 (рис. 1) об увеличении производительности на величину $0,065 \text{ гс}^{-1}$. Если же расположить весоизмерительный датчик справа, то согласно формулам (1) и (2) $q_p = 4,385 \text{ гс}^{-1}$ следовательно расчетная производительность будет на 3,6 % меньше чем реальная и контроллер соответственно подаст управляющий сигнал на увеличение производительности. Аналогичные результаты были получены при использовании других схем измерения производительности весовых дозаторов. Таким образом, одной из причин возникновения погрешности при непрерывном весовом дозировании сыпучего материала является ошибочная методика обработки информации поступающей с весоизмерительного датчика на контроллер.

Нами были проведены численные эксперименты с использованием имитационной модели по двухстадийному дозированию сыпучего материала [1, 2, 3]. В результате экспериментов было установлено, что погрешность дозирования в 5 - 10 раз ниже, чем при использовании традиционных способов непрерывного весового дозирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

4 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.

5 Осипов А. А., Барышникова С. В. Использование двухстадийной технологии для дозирования сыпучего материала // Труды ТГТУ. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2001. Вып. 8. С. 93 - 97.

6 Патент RU2138783 C1, G 01 F 11/00 Способ непрерывного дозирования сыпучих материалов / Першин В. Ф., Барышникова С. В. Бюл. № 27, 27.09.99.

Кафедра "Прикладной механики и сопротивления материалов"

УДК 621.6.04.

*О. В. Демин**

СПОСОБ И УСТАНОВКА ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СМЕСИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Основной задачей многих отраслей промышленности, широко использующих процесс смешивания сыпучих материалов, является повышение качества продукции и сокращение энергозатрат путем модернизации существующего оборудования.

Для этих целей предлагается смесительная установка, содержащая корпус 1, внутри которого расположен полый вал 2, имеющий привод 3 (рис. 1). Смеситель имеет механизм изменения угла поворота лопаток 4 относительно оси вращения вала 2, приводимый в движение посредством штанги 5 исполнительным механизмом 6 [1]. Лопатки 4 на периферии выполнены скругленными.

Способ реализуется следующим образом.

Загрузку осуществляют равномерно по длине смесителя. Это необходимо для сокращения времени распределения компонентов по длине смесителя и создания одинаковой нагрузки на все рабочие органы смесителя в момент начала процесса смешивания. Для этого можно, к примеру, использовать ленточный транспортер 1 (рис. 2). Поскольку при длительном смешивании в периферийной части смесителя наблюдается концентрация компонентов малого размера, загрузку компонентов осуществляют в порядке уменьшения размеров частиц и/или увеличения плотности материалов, из которых они состоят.

В начальный момент для облегчения пуска двигателя устанавливается лопатка под углом 90° к оси вращения вала. При этом зазор между лопаткой и цилиндрическим корпусом максимальный.

В первое время при смешивании в смесителе сыпучих материалов качество смеси изменяется в основном за счет конвективного разноса компонентов [2]. В это время процесс смешения идет на уровне макрообъемов. Для интенсификации данного процесса, т.е. переноса больших порций сыпучего материала на большие расстояния через определенное время (от 10 до 60 с) в зависимости от физико-механических свойств применяемых материалов устанавливается угол поворота лопатки 4 равный 0° . Тем самым организуется максимальная интенсивность "поршневого" перемещения частиц, т.е. лопатка 4 при движении захватывает максимальной площадью своей поверхности порцию компонента А и переносит ее в зону компонента Б, а объем занимаемый компонентом А заполняется компонентом Б. То же самое происходит при повторных движениях лопаток. Этот процесс идет с большой скоростью и продолжается в течение от 0,1 до 0,3 от общего времени процесса смешения.

После того как компоненты в основном будут распределены по рабочему объему смесителя, процесс перераспределения частиц идет уже на уровне микрообъемов. Более заметное влияние на ход процесса смешения начинает оказывать сегрегация частиц. Именно поэтому на данном этапе организуется максимальная интенсивность сдвигового перемещения частиц, для чего устанавливается угол поворота лопаток из диапазона оптимальных значений от 40° до 50° в зависимости от физико-механических свойств, применяемых материалов, из которых состоят компоненты смеси. Данный процесс характеризуется значениями оптимального сочетания количественных показателей сдвигового перемещения частиц под воздействием лопатки и энергозатрат, которые определяются экспериментально [2, 3].

Затем процессы сегрегации и диффузного смешения уравниваются, и дальнейшее перемешивание компонентов смеси не имеет смысла, так как качество смеси остается неизменным.

За счет организации максимальной интенсивности "поршневого" перемещения, значительно сокращается время процесса конвективного смешения ($t_2^k < t_1^k$) (участок I кинетической кривой смешения) и снижается коэффициент неоднородности смеси ($V_c^k < V_c^k$) (рис. 3). То же самое происходит при организации максимальной интенсивности сдвигового перемещения частиц (участок II кинетической кривой смешения). В конечном итоге общее время смешения, определяемое как сумма времени смешения на первом и втором участках, т.е. $t^{cm} = t^k + t^{opt}$, сокращается ($t_2^{cm} = t_2^k + t_2^{opt} < t_1^{cm} = t_1^k + t_1^{opt}$) при улучшении качества получаемой смеси ($V_c^{np} < V_c^{np}$).

Для обеспечения минимального, равномерного зазора между кромкой лопатки и стенкой цилиндрического корпуса смесителя на периферии лопатки предлагается выполнить скругленными с радиусом определяемым соотношением

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора Курочкина.

В. Ф. Першина, канд. техн. наук, профессора И. М.

$$r - \sqrt{r^2 - \left(\frac{b}{2}\right)^2} = H - \sqrt{H^2 - \left(\frac{b \sin(\alpha)}{2}\right)^2}, \quad (1)$$

где r – радиус скругления лопатки, м; b – ширина лопатки, м; α – угол поворота лопатки относительно оси вращения вала, град.

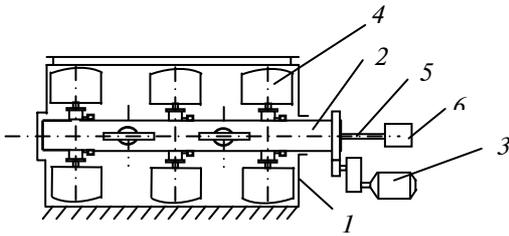


Рис. 1 Схема смесительной установки

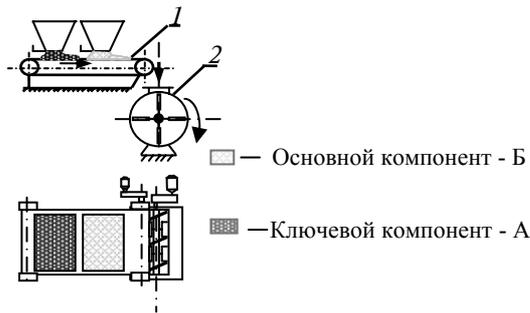
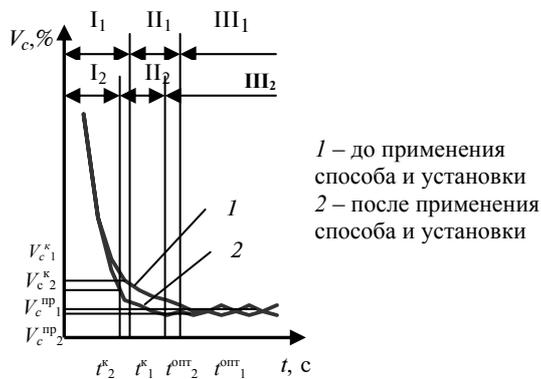


Рис. 2 Схема загрузки компонентов в смеситель:
1 – ленточный транспортер; 2 – смесительная установка



ВИС 2

$$H = R - h - (0,001 \dots 0,002) \text{ м}, \quad (2)$$

где R – внутренний радиус цилиндрического корпуса смесителя, м; h – вылет лопатки, м; 0,001 ... 0,002 – необходимый зазор между периферийной частью лопатки и стенкой смесителя, м.

Значения угла поворота лопатки α относительно оси вращения вала берутся из диапазона оптимальных значений от 40 до 50° и определяются экспериментально в зависимости от физико-механических свойств смешиваемых материалов, из которых состоят компоненты.

Соотношение (1) позволяет оптимизировать форму лопатки в зависимости от физико-механических свойств смешиваемых материалов при выдержке необходимого качества смеси.

Ширина лопатки определяется по формуле

$$b = \frac{L}{\cos(\alpha)n}, \quad (3)$$

где L – длина смесителя, м; n - число рядов лопаток.

Соотношение (3) позволяет значительно интенсифицировать процесс смешения за счет применения достаточного числа рядов лопаток, определенной ширины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 4 А.с. №1502068(СССР), МКИ 4 В01 F 7/04. Смеситель.
- 5 Макаров Ю. И. Аппараты для смешения сыпучих материалов. М.: Машиностроение, 1973. 215 с.
- 6 Демин О. В. Экспериментальное исследование перемещения частиц сыпучего материала в лопастном смесителе: Информ. листок № 70-036-01 / Тамб. центр науч.-техн. информации. Тамбов, 2001. 2 с.

Кафедра "Прикладная механика и сопротивление материалов"

УДК 621.928.235 15

Р. В. РОМАНЦОВ

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ОПЫТОВ НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ ВИБРОСЕПАРАТОРЕ С ПНЕВМОПРИВОДОМ*

На первом этапе опытов [1], проведенных на экспериментальной установке, было поставлено несколько задач:

- проверить работоспособность установки и соответствие изготовленного образца поставленным задачам;
- оценить картину поведения материала при различных параметрах вибрации;
- выяснить влияние шероховатости разделительной поверхности на процесс разделения;
- определить преимущества и недостатки пневматических вибраторов.

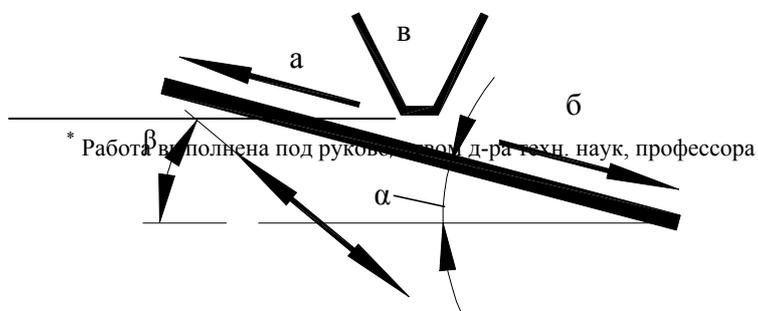
По результатам предварительных экспериментов, проведенных на вибросепараторе с плоской неперфорированной разделительной поверхностью – декой и снабженном пневматическим вибратором, были сделаны следующие выводы.

Во-первых, установлено, что изготовленная экспериментальная установка соответствует поставленным задачам. Она реализует изменение угла наклона деки и угла вибросепарации от 0 до 75°, что вполне достаточно для практических нужд и проведения экспериментов; предусмотрена возможность применения вибраторов различной конструкции (пневматического, электрического) и разделительных поверхностей с различными характеристиками (гладких, шероховатых; плоских или вогнутых); обеспечена компактность и безопасность обслуживания установки, что позволяет использовать ее для лабораторных работ студентов.

Во-вторых, картина движения материала при проведении опытов соответствует теоретическим выводам, описанным в литературе, то есть адекватна. В частности, выяснилось (рис. 1), что по направлению вибрации (направление, обозначенное "а") движутся все частицы, для которых критический угол вибросепарации меньше установленного для данного опыта (на рисунке – угол β), т.е., вверх движутся все фракции материала, мельче целевой и целевая. При падении материала на вибрирующую поверхность, установленную к горизонту под углом α , из зоны подачи (зона "в") он весь в течение некоторого времени движется вниз по деке (направление, обозначенное "б"), и только потом начинает разделяться. Время, в течение которого материал движется вниз, и расстояние от зоны питания, которое он проходит до начала процесса разделения, зависит от высоты его падения. С увеличением высоты падения материала повышается вероятность проскока частиц целевой фракции вниз, за пределы деки.

Рис. 1 Схема разделения материала на деке под воздействием вибрации

На первом этапе экспериментов разделялся материал, состоящий из смеси песка (размер



В. Ф. Першина.

частиц до 0,5 мм), семян проса (размер частиц до 0,5 - 1,5 мм) и полимерных шариков (диаметром более 3 мм). При выбранных условия сепарации (угол наклона деки $\alpha = 10^\circ$ к горизонту, угол вибросепарации $\beta = 55^\circ$ к вертикали), на гладкой металлической поверхности вверх по направлению вибрации движется песок; слой песка увлекает с собой многие частицы семян проса, а вниз скатываются полимерные шарики. Можно предположить, что слой песка сыграл роль шероховатой поверхности, которая позволила транспортировать семена проса вверх по направлению вибрации. На гладкой металлической поверхности практически все семена проса скатывались вниз. Поэтому можно говорить о том, что шероховатость поверхности увеличивает диаметр частиц, транспортируемых вверх по направлению вибрации [3], по сравнению с гладкой поверхностью.

В-третьих, установлено, что пневматические вибросепараторы (предоставленные фирмой "Финдева"), по сравнению с электроприводом, выигрывают по массогабаритным характеристикам при одинаковых параметрах вибрации (частота и амплитуда), при этом не учитывалась масса шланга, подающего воздух. Для пневматического вибратора конкретной модели проще изменять частоту вибрации (с помощью изменения давления воздуха), а для электрического – амплитуду, заменяя эксцентрики, закрепленные на валу электродвигателя.

В работе [2] описываются опыты по разделению сыпучих материалов на деке, наклоненной к вертикали под двумя углами (так называемые углы поперечного и продольного наклона, определяемые относительно поперечной и продольной оси деки). При этом частицы с различными параметрами сепарации движутся от зоны подачи материала к краям деки под разными углами к ее продольной оси. Однако эти углы являются лишь проекциями угла между двумя плоскостями (деки и горизонта) на две перпендикулярные друг к другу вертикальные плоскости. Поэтому веер траекторий частиц с различными свойствами можно наблюдать и на деке, угол наклона к горизонтали для которой определяется только одним углом (относительно продольной ее оси).

Для дальнейших исследований выработаны следующие задачи:

- проверка возможности разделения на неперфорированной деке полидисперсных материалов, склонных к комкованию и обладающих повышенной адгезией;
- исследование эффекта переноса более крупных частиц на слое более мелких вверх по направлению вибрации;
- проверка математической модели, описывающей поведение сыпучего материала на неперфорированной плоскости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Романцов Р. В. Разработка экспериментальной установки для исследований в области вибросепарации // Труды ТГТУ. Вып. 8. Технологические процессы и оборудование. Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2001. С. 202 – 205.
- 2 Анахин В. Д., Плисс Д. А., Монахов В. Н. Вибрационные сепараторы. М.: Недра, 1991. С. 157.
- 3 Вибрации в технике. Справочник / Под ред. Э. Э. Лавендела. М.: Машиностроение, 1981. Т. 4. С. 509.

Кафедра "Прикладная механика и сопротивление материалов"

УДК 51.001.57

С. Б. Путин, С. А. Скворцов

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА АДСОРБЦИОННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ГАЗОВОЙ СМЕСИ. ПРОБЛЕМЫ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Анализ современного состояния технологии и исследований в области моделирования и управления процессом адсорбционного разделения газовых смесей показал, что весьма актуальным является создание имитационных систем данных процессов на основе математического моделирования, применение которых при разработке систем КБА позволяет значительно снизить затраты ресурсов.

Установка КБА представляет собой объект со сложной структурой внутренних потоков, находящихся в постоянной динамике, вызванной циклическим режимом работы установки.

Для анализа особенностей процесса КБА введем в рассмотрение феноменологическую модель (ФМ) физической адсорбции многокомпонентной газовой смеси.

$$\frac{\partial c_k}{\partial \tau} + \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \frac{\partial a_k}{\partial \tau} = -\operatorname{div} \left[\mathbf{u} c_k - \left(\overline{\mathbf{v}_k c_k} \right) + D_m \nabla c_k \right], \quad k = \overline{1, N_k}. \quad (1)$$

В уравнении (1) c_k - концентрация k -го компонента в газовой фазе; a_k - величина сорбции k -го компонента. Это локальные термодинамические параметры, которые являются функциями координат и времени. Величина порозности ε определяется отношением величины межгранулярного пространства к общему объему элементарного слоя адсорбента. В модели действительная скорость потока представляется в виде суммы средней скорости \mathbf{u} и скорости случайных пульсаций \mathbf{v} .

$$C_* \frac{\partial T}{\partial \tau} = -\varepsilon C_p \nabla \mathbf{u} T - \varepsilon C_p \nabla (\overline{\mathbf{v} T}) + \lambda \nabla^2 T + \sum_{k=1}^{N_k} (1-\varepsilon) q_{a_k} \frac{\partial a_k}{\partial \tau} + \frac{1}{\Delta V} \int H dV + Q. \quad (2)$$

В уравнениях (1) и (2) использованы следующие обозначения: D_m - коэффициент молекулярной диффузии; C_* - объемная суммарная теплоемкость слоя; T - средняя температура слоя; q_{a_k} - теплота сорбции k -го компонента газовой смеси; H - теплота диссипирующая в единице объема за счет вязкости (трения); Q - количество теплоты передаваемое за счет термодиффузии; N_k - количество газовых компонентов в смеси; ∇ , ∇^2 , div - дифференциальные операторы.

Аналитических решений для ФМ не найдено, а численное решение связано со значительными затратами машинного времени, поэтому необходимо сформулировать систему допущений, которая позволит получить математическую модель более простого, с точки зрения поиска решения, вида и пригодную для решения тех или иных задач возникающих при разработке систем КБА для определенной отрасли жизнедеятельности человека.

Для большинства типов математических моделей процессов протекающих в адсорбере установки КБА правомерны следующие допущения:

- 1 Изотермичность процесса
- 2 Одномерность процесса
- 3 Характер сорбции Ленгмюровский
- 4 Совпадение изотерм адсорбции и десорбции
- 5 Постоянство физико-механических свойств адсорбента
- 6 Отсутствие обратных газовых пульсаций в слое.

Система допущений математической модели гидромеханических процессов заключается в следующем:

- 1 Изотермичность процессов
- 2 Постоянство конструктивных характеристик
- 3 Пренебрежение силами инерции и перепадами высот
- 4 Принятие гипотезы идеального перемешивания газовой смеси в ресивере, клапанах и местах разветвления трубопровода.

В рамках вышеуказанной системы допущений математическая модель описана следующими уравнениями:

а) Материальный баланс по N_k компонентам газовой смеси

$$\varepsilon \frac{\partial p_k}{\partial \tau} + \frac{\partial a_k}{\partial \tau} + \frac{\partial (v p_k)}{\partial x} = D_k^* \frac{\partial^2 p_k}{\partial x^2}, \quad k = \overline{1, N_k}, \quad (3)$$

где p_k , a_k - парциальные давления k -го компонента газовой смеси над гранулой и внутри, соответственно; D_k^* - эффективный коэффициент продольного перемешивания.

б) Начальные условия для системы уравнений (3):

$$a_k(x, \tau) = a_{k_0}(x), \quad p_k(x, \tau) = p_{k_0}(x), \quad \tau = 0. \quad (4)$$

в) Граничные условия на стадии адсорбции

$$p_k^{\text{вх}} = p_k(0, \tau) + \frac{D_k}{v(0, \tau)} \frac{\partial p_k}{\partial x}(0, \tau), \quad \frac{\partial p_k}{\partial x}(\bar{x}, \tau) = 0. \quad (5)$$

г) Граничные условия на стадии десорбции

$$p_k^{\text{вх}} = p_k(\bar{x}, \tau) + \frac{D_k}{v(\bar{x}, \tau)} \frac{\partial p_k}{\partial x}(\bar{x}, \tau), \quad \frac{\partial p_k}{\partial x}(0, \tau) = 0. \quad (6)$$

д) Закон Дальтона

$$P = \sum_{k=1}^{N_k} p_k. \quad (7)$$

е) Кинетика поглощения компонентов

$$\frac{\partial a_k}{\partial \tau} = f(\beta_k, a_k, a_k^p), \quad (8)$$

где β_k - кинетический коэффициент по k -му компоненту; a_k^p - равновесная величина сорбции.

ж) Изотермы сорбции

$$a_k^p = f(p_1, p_2, \dots, p_k, \mathbf{q}). \quad (9)$$

з) Уравнение скорости газового потока по длине сорбционного слоя

$$v(x, \tau) = f(x, p_k, a_k, D_k^*, \varepsilon, \Gamma), \quad k = \overline{1, N_k}.$$

Математическое описание гидромеханических процессов представляет собой систему обыкновенных дифференциальных уравнений определяющих динамику давления в адсорберах:

$$\frac{d P_i}{d \tau} = f(G_i^{\text{BX}}, G_i^{\text{ВЫХ}}, \frac{\partial a_k}{\partial \tau}, \Gamma), \quad i = \overline{1, N^A}, \quad (10)$$

где $G_i^{\text{BX}}, G_i^{\text{ВЫХ}}$ - расход смеси на входе и выходе i -го адсорбера; Γ - вектор геометрических характеристик адсорбера.

Уравнения (3) – (10) представляют собой записанное в общем виде математическое описание установки КБА, из их анализа следует, что ММ представляет собой замкнутую систему уравнений в частных производных второго порядка, интегро-дифференциальных и алгебраических уравнений.

Сложность математического описание приводит к тому, что особую роль начинает приобретать задача качественного и количественного исследования решений уравнений математической модели в рамках аналитической математики, а также с позиции методик численного решения подобных систем.

Недостаток априорной информации о характере протекающих процессов приводит к тому, что существуют параметры процесса значение которых невозможно оценить с необходимой точностью, но они входят в математическое описание и выражают количественный характер конкретного процесса разделения. К таким параметрам относятся: кинетические коэффициенты поглощения компонентов β_k ; эффективные коэффициенты продольного перемешивания D_k^* . Для нахождения неизвестных коэффициентов проводят параметрическую идентификацию, на основе которой подбираются такие значения идентифицируемых переменных, которые обеспечивают удовлетворительное совпадение расчетных и экспериментальных данных.

В качестве экспериментальных данных используются записи динамики давления в адсорберах, динамики концентрации компонентов на выходах установки.

Кроме того, при математическом моделировании установок КБА для разделения многокомпонентных смесей, наблюдается значительный недостаток экспериментальных данных по равновесным величинам совместной сорбции многокомпонентной смеси на различных типах поглотителей, что вызывается гигантской размерностью задачи получения экспериментальных данных при различном соотношении компонентов в газовой смеси. Поэтому в качестве дополнительных идентифицируемых параметров целесообразно выбрать компоненты вектора \mathbf{q} изотерм сорбции (9).

Вывод: на основе феноменологической модели физической адсорбции и сформированной системы допущений, получено математическое описание процесса адсорбционного разделения газовой смеси; выделены идентифицируемые параметры математической модели.

*Кафедра "Информационные процессы и управление",
ФГУП "ТамбовНИИИ"*

УДК 536.46

В. И. Быченко, А. А. Баранов

**ПРИМЕНЕНИЕ РАЗРЫВНЫХ РЕШЕНИЙ
К ЗАДАЧАМ ГАЗОДИНАМИКИ В АППАРАТАХ
ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ГОРЕНИЯ**

При построении достаточно полной математической модели газодинамических процессов в аппаратах пульсирующего горения (АПГ) с аэродинамическим клапаном возникают определенные трудности, связанные с невозможностью применять традиционные подходы к решению, ввиду особенностей характерных для пульсирующих течений.

Эксперименты [1, 2], например, показывают, что в газовом тракте устройства пульсирующего горения при стабильной работе существует поток со среднерасходной скоростью, направленный от входного сечения аэродинамического клапана к выходному сечению резонансной трубы, на который наложены крупномасштабные колебания. В элементах аппарата пульсирующего горения постоянно находятся среды отличающиеся не только теплофизическими свойствами, но и химическим составом. Так в аэродинамическом клапане совершает пульсации фактически чистый воздух, обеспечивающий горение; в камере сгорания, где происходит реакция горения, находится высокотемпературная смесь продуктов сгорания с большой потенциальной и малой кинетической энергией; а в резонансной трубе - продукты сгорания с высокой кинетической энергией. Это неполный перечень факторов осложняющих теоретическое описание принципов функционирования устройств пульсирующего горения и закономерностей движения газа в элементах аппарата.

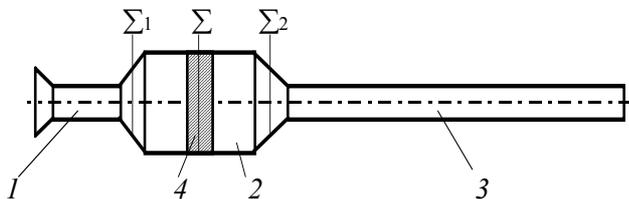


Рис. 1 Схема аппарата пульсирующего горения:

1 - аэродинамический клапан, 2 - камера сгорания, 3 - резонансная труба,
4 - основная зона горения

Поэтому приходится вводить определенные допущения и упрощения при разработке расчетных схем.

Общий подход к решению поставленной задачи можно найти на основе интегральных законов механики сплошной среды. Систему уравнений, описывающую плоское течение вдоль оси x с разрывами параметров можно представить [3] в виде:

$$\left. \begin{aligned} \oint \rho w d\tau &= -\oint \rho dx; \\ \oint (p + \rho w^2) d\tau &= -\oint \rho w dx; \\ \oint \rho w \left(h + \frac{w^2}{2} \right) d\tau &= -\oint \rho \left(u + \frac{w^2}{2} \right), \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где ρ - плотность, w - скорость, h - энтальпия, u - внутренняя энергия.

В работе В. Б. Раушенбаха [4] предложена замена зоны горения 4 в канале поверхностью разрыва Σ (рис. 1) и на основе системы уравнений (1) получены выражения связывающие параметры потока до (индекс 1) и после (индекс 2) разрыва:

$$\left. \begin{aligned} \rho_2 w_2 - \rho_1 w_1 &= -\frac{1}{F} \frac{d}{d\tau} \int_V \rho dV + M^*; \\ (\rho_2 w_2 + p_2) - (\rho_1 w_1 + p_1) &= -\frac{1}{F} \frac{d}{d\tau} \int_V \rho w dV; \\ \rho_2 w_2 \left(\frac{w_2^2}{2} + h_2 + q_2 \right) - \rho_1 w_1 \left(\frac{w_1^2}{2} + h_1 + q_1 \right) &= -\frac{1}{F} \frac{d}{d\tau} \int_V \rho \left(\frac{w^2}{2} + u + q \right) dV, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где V - рассматриваемый объем, M^* - приток топлива в зону горения, отнесенный к площади канала F , q - теплота. На основе анализа этой системы дается подробный анализ возбуждения акустических колебаний зоной горения.

Аналогичный подход предлагается использовать для описания стационарных и нестационарных течений в зоне соединения камеры сгорания с аэродинамическим клапаном (поверхность разрыва Σ_1) и резонансной трубой (поверхность разрыва Σ_2). Введение поверхности разрыва позволяет заменить реальную картину течения некоторой условной, в которой свойства потока изменяются скачком на поверхности разрыва. В самом деле, вследствие наличия местных гидравлических сопротивлений, параметры движения газа, такие как скорость, плотность, энтальпия, на участках сопряжения с камерой сгорания изменяются фактически скачкообразно, поэтому применение поверхности разрыва для описания движения вполне обосновано. При рассмотрении поверхностей разрыва, которые в стационарном потоке неподвижны, а в возмущенном перемещаются в плоском потоке со скоростью $D(\tau) = dx/d\tau$, система уравнений гидродинамики примет вид:

$$\left. \begin{aligned} \rho_1 (w_1 - D) &= \rho_2 (w_2 - D); \\ \rho_1 (w_1 - D)^2 + p_1 &= \rho_2 (w_2 - D)^2 + p_2; \\ \rho_1 (w_1 - D) \left(h_1 + \frac{(w_1 - D)^2}{2} \right) &= \rho_2 (w_2 - D) \left(h_2 + \frac{(w_2 - D)^2}{2} \right), \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Если рассмотреть такую систему отсчета, в которой скорость перед разрывом равна нулю, а сама поверхность разрыва перемещается в пространстве с некоторой скоростью $D > 0$, то система (3) преобразуется следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} -\rho_1 D &= \rho_2 (w_2^* - D); \\ \rho_1 D^2 + p_1 &= \rho_2 (w_2^* - D)^2 + p_2; \\ -\rho_1 D \left(h_1 + \frac{D^2}{2} \right) &= \rho_2 (w_2^* - D) \left(h_2 + \frac{(w_2^* - D)^2}{2} \right), \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где $w_2^* = w_2 - w_1$ - скорость относительно новой системы отсчета за разрывом. Величину D можно рассматривать теперь как скорость распространения поверхности разрыва по частицам среды со стороны 1 от разрыва. Таким образом, в новой системе отсчета единственной величиной, которую следует каким либо образом определить является скорость распространения разрыва D . Остальные параметры легко определяются из интегральных уравнений сохранения массы, импульса и энергии (4).

Предложенный подход позволяет решать задачи о колебательном движении газа в аппарате с использованием уравнения Лагранжа, в котором в качестве обобщенной координаты выступает объем продуктов сгорания V в камере. В работе [5], например, для определения резонансной частоты колебаний АПГ получено уравнение

$$\rho_{\text{пр}} l_{\text{пр}} \frac{d^2 V}{d\tau^2} + \frac{\rho^2 a^2}{M} V = 0, \quad (5)$$

где ρ и $\rho_{\text{пр}}$ - плотность продуктов сгорания в камере и резонансной трубе соответственно, $l_{\text{пр}}$ - длина резонансной трубы, M - масса продуктов сгорания в камере, a - скорость звука в продуктах сгорания. При этом скорость изменения объема $dV/d\tau$ из уравнения (5) однозначно связана с введенным нами параметром D и геометрией потока зависимостью

$$\frac{dV}{d\tau} = F \frac{dx}{d\tau} = FD.$$

Таким образом предложенная методика описания движения газа в АПГ позволяет достаточно просто исследовать колебательные процессы в аппарате и определять параметры потока в его элементах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Северянин В. С. Особенности аэродинамики устройств пульсирующего горения. В кн.: Научные и прикладные проблемы энергетики. Минск: Высшая школа, 1978, Вып. 5. С. 25 - 29.
- Баранов А. А., Быченко В. И. Экспериментальное определение параметров газа в аэродинамическом клапане камеры пульсирующего горения // V научная конференция ТГТУ: Краткие тезисы докладов. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2000.
- Самарский А. А., Попов Ю. П. Разностные методы решения задач газовой динамики: Учеб. пособие для вузов. 3-е изд. М.: Наука, 1992.
- Раушенбах В. Б. Вибрационное горение. М.: Физматгиз, 1961.
- Быченко В. И., Северянин В. С. Термодинамический анализ акустических и энтропийных волн в камерах пульсирующего горения // Изв. вузов. Энергетика. 1991, № 10. С. 52 - 56.

*Кафедры "Конструирование машин и аппаратов",
"Гидравлика и теплотехника"*

УДК 66.095.264.3

С. В. Каретников, К. В. Брянкин*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ ДИМЕРИЗАЦИИ 4-НИТРОТОЛУОЛ-2-СУЛЬФОКИСЛОТЫ В 4,4'-ДИНИТРОСТИЛЬБЕН-2,2'-ДИСУЛЬФОКИСЛОТУ

Одним из полупродуктов при производстве белофоров (оптических отбеливающих веществ) является 4,4'-динитростильбен-2,2'-дисульфокислота (ДНС), получение которой осуществляется синтезом 4,4'-динитростильбен-2,2'-дисульфокислоты из 4-нитро-2-сульфоки-слоты толуола (ПНТСК).

Получение ДНС-кислоты протекает ступенчато, с образованием промежуточного вещества динитродибензила (ДНДБ). На стадии химического синтеза параллельно с основной реакцией возможно протекание и побочных реакций, в результате которых образуются вещества красного цвета.

Промышленное распространение получил периодический метод производства ДНС-кислоты, так как согласно литературным данным [1, 2] при проведении непрерывного окисления процесс нестабилен и продукт получается с примесью красителя красного цвета. Выход ДНС-кислоты при проведении непрерывного процесса окисления составляет 48 %, при периодическом – 61,5 %.

Лимитирующей стадией процесса окислительной димеризации ПНТСК в ДНС является химическая реакция (при степени превращения ПНТСК 0,65 – 0,7, время процесса достигает 10 – 12 ч). Кинетика процесса окислительной

димеризации ПНТСК определяется следующими факторами: катализатором; температурой реакционной среды; концентрацией исходных реагентов.

Схематически процесс окислительной димеризации 4-нитро-толуол-2-сульфонокислоты (ПНТСК) в 4,4'-динитростильбен-2,2'-дисульфокислоты (ДНС) можно представить в следующем виде:



* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доцента

А. И. Леонтьевой и канд. хим. наук Н. П. Утробина.

Скорости изменения концентрации ПНТСК, ДНДБ и азокрасителя в течение процесса окисления определяются выражениями:

$$-\frac{dC_{\text{ПНТСК}}}{dt} = k_1 \cdot C_{\text{ПНТСК}} + k_2 \cdot C_{\text{ПНТСК}} ; \quad (1)$$

$$\frac{dC_{\text{ДНДБ}}}{dt} = k_1 \cdot C_{\text{ПНТСК}} ; \quad (2)$$

$$\frac{dC_{\text{п.пр.}}}{dt} = k_2 \cdot C_{\text{ПНТСК}} . \quad (3)$$

Однако ДНДБ расходуется на образование ДНС, поэтому:

$$\frac{dC_{\text{ДНДБ}}}{dt} = k_1 \cdot C_{\text{ПНТСК}} - k_3 \cdot C_{\text{ДНДБ}} , \quad \text{а} \quad \frac{dC_{\text{ДНС}}}{dt} = k_3 \cdot C_{\text{ДНДБ}} ,$$

где $C_{\text{ПНТСК}}$ – концентрация ПНТСК; $C_{\text{ДНС}}$ – концентрация ДНС; $C_{\text{ДНДБ}}$ – концентрация ДНДБ; $C_{\text{аз.кр}}$ – концентрация побочного продукта; k_1 – константа скорости реакции ПНТСК→ДНДБ; k_2 – константа скорости реакции ПНТСК→азокраситель; k_3 – константа скорости реакции ДНДБ→ДНС.

Коэффициент пропорциональности k (константа скорости химической реакции) является величиной постоянной при постоянной температуре, однако по технологии производства процесс окислительной димеризации проводят при нагревании реакционной массы со скоростью 2 – 2,5 град/час в течение 6 – 8 часов. Такой режим нагрева позволяет снизить количество побочного продукта образующегося на первой стадии процесса по реакции ПНТСК→азокраситель. Энергия активации E_2 реакции ПНТСК→азокраситель больше энергии активации E_1 параллельной реакции ПНТСК→ДНДБ. На второй же стадии, где побочные продукты не образуются, температура ускоряет реакцию ДНДБ→ДНС.

Исходя из вышесказанного, для описания кинетики процесса окислительной димеризацией ПНТСК в ДНС-кислоту, необходимо исследовать влияние температуры на константу скорости химической реакции k и найти функцию $k = f(T)$. Такие исследования проводились и согласно [3] выражения зависимости константы скорости реакции от температуры для k_1 , k_2 и k_3 имеют вид:

$$\begin{aligned} \ln(k_1^T) &= \frac{6542,42}{T} - 30,28 ; & \ln(k_2^T) &= \frac{12725,12}{T} - 48,05 ; \\ \ln(k_3^T) &= \frac{26097,54}{T} - 88,98 . \end{aligned}$$

Для проверки адекватности математической модели описанной выше была собрана лабораторная установка (рис. 1), состоящая из емкости 1, погруженной в термостат 2. Нагрев осуществлялся кипятильником 3. Для перемешивания реакционной массы предусмотрена лопастная мешалка 4. Воздух подавался через барботер 5, встроенный в нижнюю часть реактора. Расход воздуха контролировался ротаметром (РТ-1). Измерение температуры осуществлялось термопарой и прибором ТР-200 6.

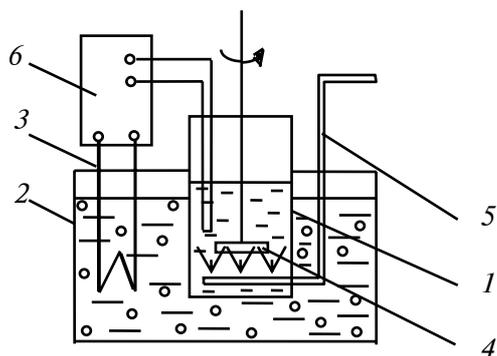


Рис. 1 Схема экспериментальной установки:
 1 - емкость; 2 - термостат; 3 - кипятильник; 4 - мешалка;
 5 - барботер; 6 - прибор ТР-200

Процесс димеризации ПНТСК на лабораторной установке осуществлялся следующим образом:

в емкость 1 последовательно загружались вода (1100 мл); мыло (0,2 г); катализатор (0,08 г); пеногаситель (трибутилофосфат, 0,6 мл); щелочь (NaOH, 150 мл, концентрация 45 %). При включенной мешалке 4 через барботер 5 подавали воздух ($Q = 0,6 \text{ м}^3/\text{ч}$). Заливали гомораствор ПНТСК (280 мл, плотность $1,186 \text{ г}/\text{см}^3$, кислотность 179 г/л, концентрация 298,5 г/л). Щелочность реакционной массы доводили до 2 % путем добавления NaOH по 2 - 5 мл.

При достижении щелочности 2 % начинали поднимать температуру с $44 \text{ }^\circ\text{C}$ до $62 \text{ }^\circ\text{C}$ со скоростью $2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{ч}$. При температуре $62 \text{ }^\circ\text{C}$ делалась выдержка в течение 4 часов. Во время процесса с интервалом в час отбирались пробы для определения концентрации ПНТСК и ДНС. Концентрации ПНТСК и ДНС определялись методом спектрофотометрии по оптическим плотностям. Анализ реакционной массы производился на спектрофотометре СФ-26.

По результатам экспериментальных и расчетных данных были построены графические зависимости (рис. 2, 3).

На графических зависимостях (рис. 2 и 3) линия 1 построена по средним экспериментальным значениям. Линия 2 получена по расчетным данным.

Анализ графических зависимостей представленных на рис. 2 и 3 показал:

- максимальное отклонение расчетных данных от экспериментальных составляет для ПНТСК 3 %, для ДНС – 2,5 %;
- математическая модель позволяет изучать кинетику процесса окислительного дегидрирования ПНТСК.

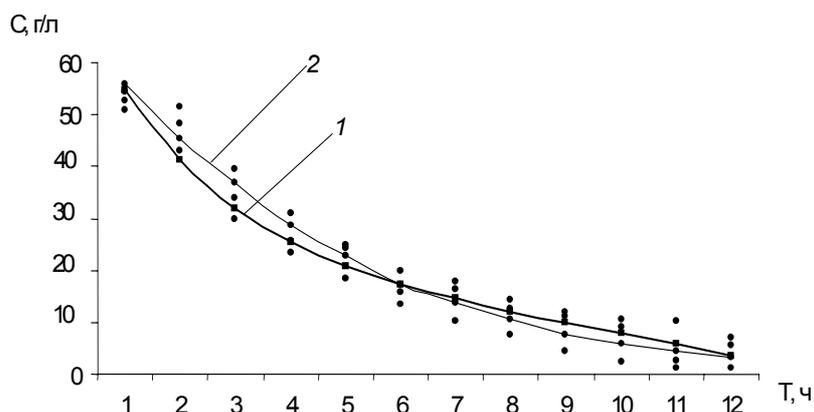


Рис. 2 Изменение концентрации ПНТСК

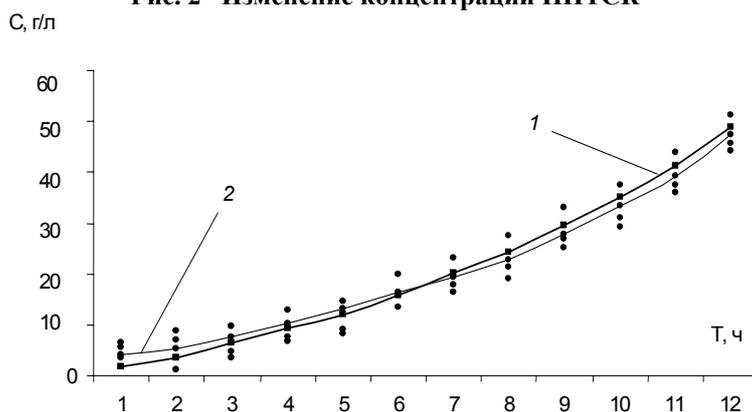


Рис. 3 Изменение концентрации ДНС-кислоты

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Физер Л., Физер М. Органическая химия. Углубленный курс. Пер. с англ. М.: Химия, Т. 1, Т. 2, 1966.
- 2 Сато Кацунобу и др. Патент Японии 55-114426, 1982.
- 3 Карегников С. В., Титов А. Н. Исследование влияния температуры на кинетику процесса окислительной димеризации 4-нитро-толуол-2-сульфокислоты // Труды молодых ученых и студентов. Тамбов: Изд-во ТГТУ, Вып. 8. 2001.

ИНТЕГРАЛ КРИСТОФФЕЛЯ-ШВАРЦА
В ЗАДАЧАХ ГИДРОДИНАМИКИ

Для определения поля скоростей плоского потенциального потока несжимаемой жидкости можно во многих случаях применять метод конформного преобразования. Введение комплексной переменной значительно упрощает исследование потенциального потока и дает возможность привлечь к решению вопросов гидродинамики хорошо разработанный математический аппарат теории функций комплексного переменного. Благодаря этому аппарату, гидродинамика плоского потенциального потока несжимаемой жидкости приобретает особое изящество и законченность [1].

При решении основной задачи теории конформных отображений – отыскания функции, осуществляющей конформное отображение одной заданной области на другую, приходится прибегать к различным специальным методам. Одним из методов является подбор комбинаций элементарных функций при условии, что удастся найти области, которые отображаются этими функциями. Такой подход предполагает свободное владение геометрическими свойствами элементарных функций комплексного переменного.

Однако в отдельных случаях удастся достаточно просто реализовать отображение одной области на другую. Наиболее эффективно задача о точном отображении решается для полигональных областей (многоугольников), когда применение интеграла Кристоффеля-Шварца позволяет найти отображающую функцию в виде некоторого конечного выражения [2, 3]. Интеграл Кристоффеля-Шварца реализует конформное отображение верхней полуплоскости $\text{Im } z \geq 0$ на произвольный многоугольник.

Формула Кристоффеля-Шварца применима для многоугольника с любым числом сторон, каждая из которых соответствует твердой стенке

$$w = f(z) = C_1 \int_0^z \prod_{k=1}^n (z - \lambda_k)^{\frac{\alpha_k}{\pi} - 1} dz + C_2,$$

где w – характеристическая функция (комплексный потенциал); α_k – углы при вершинах A_k многоугольника; λ_k – точки действительной оси полуплоскости z , в которые переходят вершины многоугольника; C_1 и C_2 – комплексные константы.

Константа C_1 осуществляет поворот на угол равный, $\arg C_1$, и растяжение в $|C_1|$ раз. Константа C_2 – сдвиг на вектор C_2 .

Отметим, что любые три точки λ_k можно задать произвольно, тогда остальные точки и константы C_1 и C_2 должны определяться однозначно.

Рассмотрим задачу о повороте потока на угол α . Соответствие точек при конформном отображении верхней полуплоскости $\text{Im } z \geq 0$ (рис. 1, а) на плоскость w зададим в табл. 1.

Таблица 1

k	λ_k	A_k	α_k
1	∞	∞	$-\alpha$
2	0	0	α
3	1	1	1

Заметим, что если одной из вершин многоугольника соответствует бесконечно удаленная точка действительной оси ($\lambda_k = \infty$), то относящийся к этой вершине множитель в формуле Кристоффеля-Шварца выпадает, что упрощает подынтегральное выражение

$$w = C_1 \int_0^z z^{\frac{\alpha}{\pi} - 1} dz + C_2.$$

Таким образом, после интегрирования получим

$$w = C_1 \pi \frac{z^{\frac{\alpha}{\pi}}}{\alpha} + C_2.$$

Из соответствия точек $k = 2$ и $k = 3$ находим константы: $C_1 = \frac{\alpha}{\pi}$ и $C_2 = 0$. Окончательно получим

^{*} Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, профессора

А. А. Коптева.

$$w = z^{\frac{\alpha}{\pi}}.$$

На рис. 1, б показаны линии тока и линии равного потенциала для случая поворота потока на угол $\alpha = \frac{3}{4}\pi$.

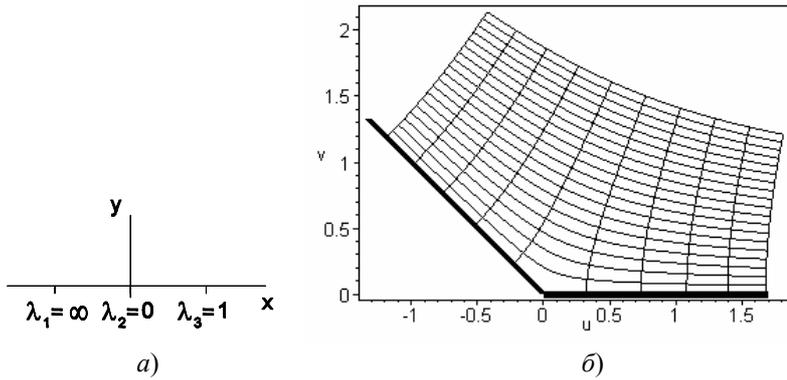


Рис. 1 Поворот потока

Рассмотрим задачу обтекания пластины с полушириной l . Как и в предыдущем случае, соответствие точек при конформном отображении верхней полуплоскости $Im z \geq 0$ (рис. 2, а) на плоскость w зададим в табл. 2.

Таблица 2

k	λ_k	A_k	α_k
1	-1	0	$\pi/2$
2	0	$i \cdot l$	2π
3	1	0	$\pi/2$

В этом случае интеграл Кристоффеля-Шварца

$$w = C_1 \int_0^z \frac{z}{\sqrt{z-1}\sqrt{z+1}} dz + C_2.$$

После интегрирования получим

$$w = C_1 \sqrt{z-1}\sqrt{z+1} + C_2$$

или

$$w = C_1 \sqrt{z^2 - 1} + C_2.$$

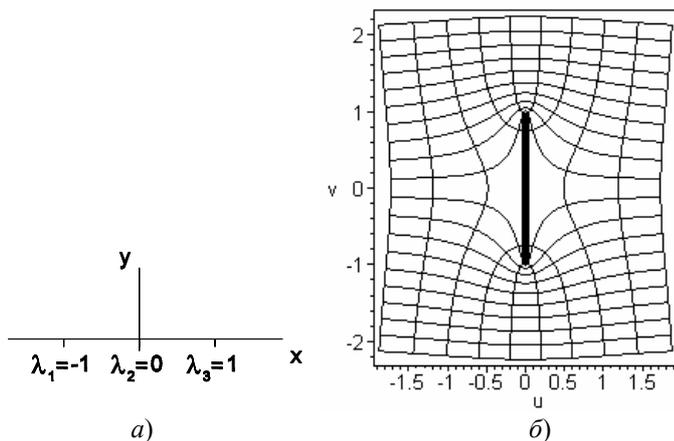


Рис. 2 Обтекание пластины

Из соответствия точек $k=2$ и $k=3$ находим константы $C_1 = l$ и $C_2 = 0$. Окончательно получим

$$w = l\sqrt{z^2 - 1}.$$

На рис. 2, б показаны линии тока и линии равного потенциала для случая обтекания потоком пластины с полушириной $l = 1$.

Таким образом, применение интеграла Кристоффеля-Шварца позволяет в ряде случаев достаточно просто решать задачи плоских потенциальных течений несжимаемой жидкости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1973. 848 с.
- 2 Сидоров Ю. В., Федорюк М. В., Шабунин М. И. Лекции по теории функций комплексного переменного. М.: Наука, 1982. 488 с.
- 3 Лаврик В. И., Савенков В. Н. Справочник по конформным отображениям. Киев: Наукова думка, 1970. 252 с.

Кафедра "Конструирование машин и аппаратов"

УДК 66.065.51

*В. С. Орехов, А. И. Леонтьева,
А. Н. Утробин, С. В. Удальцов*

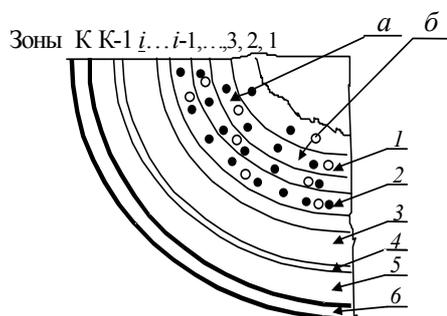
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФУГАТА ПРИ УДАЛЕНИИ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ПРИМЕСЕЙ ИЗ СУСПЕНЗИЙ ПОЛУПРОДУКТОВ ОРГАНИЧЕСКИХ КРАСИТЕЛЕЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИЕЙ В ПОЛЕ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СИЛ

В промышленности наибольшее распространение получили методы удаления водорастворимых примесей из паст путем промывки на фильтрах и репульсации (одно- и многостадийной). Однако, их применение дает положительный результат лишь при использовании большого количества промывных вод при температуре, соответствующей максимальной растворимости примесей. Кроме того, в процессе разделения часть водорастворимых примесей кристаллизуется в порах пасты и их удаление невозможно путем простого вытеснения фильтрата промывной жидкостью.

В качестве альтернативы предлагается использовать метод удаления примесей кристаллизацией [1, 2]. Для получения целевого продукта в чистом виде в одном аппарате совмещаются процессы выделения из суспензии целевого продукта и кристаллизации водорастворимых солей из фугата.

Суспензии полупродуктов органических красителей имеют сложный состав, содержащий различные вещества влияющие на процесс кристаллизации (органические примеси – 5 ... 6 %, неорганические примеси водорастворимых солей – 25 ... 27 % из них (H_2SO_4 – 5 ... 6 %, Na_2SO_4 - 18 ... 19 %, остальное - соли металлов)).

Процесс выделения целевого вещества и кристаллизации водорастворимых примесей (Na_2SO_4 , K_2SO_4) из суспензий



полупродуктов органических красителей протекает следующим образом (рис. 1).

Разделим все пространство в роторе центрифуги концентрическими цилиндрическими поверхностями на K зон.

Равномерно перемешанная суспензия целевого вещества, охлажденная до температуры соответствующей метастабильному состоянию раствора водорастворимых неорганических примесей (сульфатов Na, K) в фугате, поступает в ротор осадительной центрифуги. Под действием центробежной силы частицы твердой фазы целевого вещества a и органическая составляющая фильтрата b из зоны $i - 1$ оттесняются в зону i (известен [3] способ разделения высокомолекулярных соединений, растворенных в жидкости), причем, из-за различных физико-механических свойств, скорость осаждения частиц целевого вещества выше скорости осаждения органической составляющей фильтрата. В результате чего в зоне $i - 1$ -ой уменьшается концентрация органических примесей и частиц целевого вещества, что способствует снижению растворимости сульфатов в фугате и началу процесса образования зародышей кристаллов последних в этой зоне. Аналогичный процесс происходит во всех последующих зонах.

ицами a зоны K не должно превышать времени того осажаться под действием поля центробежных осей отсутствуют в зоне осадка целевого вещества, водорастворимых примесей из суспензий Гамма- и И-

РИС. 1 МЕХАНИЗМ

шь часть сульфатов из суспензии. Для обеспечения жкая фугата и сформированного осадка из ротора состояния пресыщения раствора сульфатов в фугате.

Для разработки способа снижения температуры суспензии в роторе центрифуги был проведен анализ эффективности использования различных хладагентов для обеспечения условий процесса изогидрической кристаллизации.

Экспериментальная установка включала в себя лабораторную центрифугу (WIROWKA WE - 2), электронные весы, лабораторную фильтровальную установку и термостат.

Методика проведения эксперимента заключалась в следующем: отфильтрованный (при $T = 70$ °C) фугат суспензии Гамма-кислоты наливали в пробирку, затем добавляли хладагент, (в качестве хладагента использовали: 1 - сухой лед ($T = -110$ °C), 2 - обыкновенный лед ($T = -10$ °C), 3 - охлажденные сульфаты натрия лед ($T = -10$ °C)). Пробирку помещали в лабораторную центрифугу и проводили процесс центрифугирования в течение трех минут. После полного осаждения кристаллогидратов сульфата натрия и растворения хладагента (определяемого визуально) процесс центрифугирования прекращают. Очищенный фугат сливают, а кристаллогидраты помещают в термостат, и сушат до постоянного веса (кристаллы сульфатов натрия должны иметь вид порошка), затем проводят взвешивание сульфатов на электронных весах. По полученным данным строим график (рис. 2).

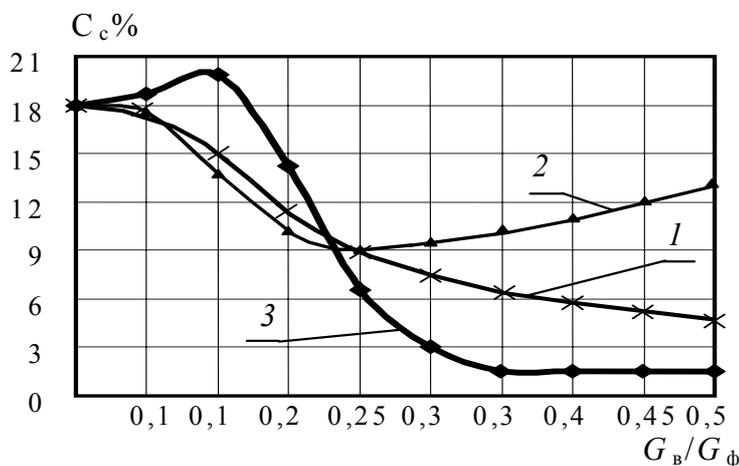


Рис. 2 График зависимости концентрации сульфатов натрия в отфильтрованном фугате (C_c) от количества подаваемого хладагента на количество фильтрата (G_v/G_ϕ) при охлаждении:
1 – сухим льдом; 2 – льдом обыкновенным; 3 – сульфатами

Анализ полученных зависимостей позволяет сделать следующие выводы: что применение льда обыкновенного как хладагента не эффективно, так как при переходе льда в жидкое состояние, вода образующаяся при этом разбавляет фугат тем самым, повышая растворение сульфатов; применение сухого льда позволяет получить фугат с содержанием сульфатов 4,85 %, но из-за того, что время пребывания у сухого льда небольшое, то он не успевает охладить фильтрат за то время которое сухой лед находится в фильтрате; использование охлажденных сульфатов наиболее эффективно так как это позволяет получить наибольшую степень очистки фильтрата (1,48 % содержание сульфатов), и так же наряду с подводом низкопотенциальной энергии в фильтрат вводятся дополнительные центры кристаллизации.

Процесс кристаллизации примесей и последующего их осаждения в поле центробежных сил в виде двойного слоя (рис. 2) позволит получить: 1) обедненный сульфатами фугат, который можно использовать на стадиях синтеза основного вещества; 2) целевой продукт с низким содержанием примесей (водорастворимые); 3) кристаллические примеси (сульфаты), которые в кристаллическом виде являются готовым продуктом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Пат. № 96107139/25. Россия. Способ удаления растворимых примесей из пигментов / А. И. Леонтьева, Н. П. Утробин, П. А. Фефелов, В. П. Таров, К. В. Брянкин, Е. А. Леонтьев. Положит. решение от 24.06.97.
- 2 Пат. № 96113246/25 Россия. Способ выделения пигмента из водной суспензии / А. И. Леонтьева, Н. П. Утробин, П. А. Фефелов, В. П. Таров, К. В. Брянкин, Е. А. Леонтьев. Положит. решение от 24.08.98.
- 3 А.с. № 2058193. Способ разделения высокомолекулярных соединений растворенных в жидкости.

Кафедра "Технологическое оборудование и прогрессивные технологии"

УДК 547.979+541.14.8

*А. Н. Утробин, А. П. Кочетов **

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ОТБЕЛИВАТЕЛЯ БЕЛОФОРА КД-2 НА ЕГО КОЛОРИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Одним из наиболее широко распространенных органических люминофоров, применяемых для устранения естественной желтизны текстильных материалов, является оптический отбеливатель – белофор КД-2 [4,4'-бис (4''-анилино-6''-морфолино-триазин-2''-ил-амино)-2, 2' стильбенсульфо кислота, динатриевая соль].

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора В. И. Коновалова и канд. техн. наук, доцента А. И. Леонтьевой.

Его получают последовательным замещением атомов хлора в молекуле цианорхлорида (ЦНХ) в реакциях с 4, 4'-диаминотильбен-2, 2'-сульфо кислотой (ДС-кислотой), анилином и морфолином [1]. Белофор КД-2 относится к классу бистриазиниламинотильбенов [1]. Для них присуще явление полиморфизма, то есть способность вещества существовать в виде двух или нескольких структурных форм [1, 2]. Отбеливатель, полученный при температуре ниже 100 °С состоит из нетермостабильной α -модификации, имеющей желтый цвет [3]. При температуре выше 100 °С в присутствии щелочей или органических оснований образуются термостабильная β -форма белого цвета. Однако, как правило, образцы отбеливателя белого цвета (β -форма) имеют цветовой тон (оттенок) из-за присутствия в них небольшого количества красителя. Наличие красителя обусловлено следующими причинами:

- Краситель образуется в качестве побочного продукта при синтезе КД-2.
- Краситель присутствует в исходных компонентах: ДС-кислоте и анилине.

Для отработки технологических режимов получение КД-2 (β -форма) продукт синтезировали в лабораторных условиях. В трехгорлую колбу, снабженную мешалкой, загружали 80 мл воды, 0,1 г синтамида 5 (полиэтиленгликолевые эфиры моноэтаноламидов СЖК) [4], 50 г льда и 8,25 г ЦНХ. Полученную суспензию перемешивали в течении трех минут и загружали 60,8 мл ДС-кислоты (концентрация 135,7 г/л) и 8,75 г динатрийфосфата. РН реакционной массы поддерживали в пределах 7,3 - 7,8. Температура реакционной массы составляла 2 – 4 °С.

Окончание первой стадии контролировали по отсутствию реакции на ДС-кислоту. Далее загружали 4,15 мл анилина и увеличивали температуру до 16 – 18 °С.

Вторую стадию проводили в течение часа, обеспечивая величину РН в интервале 6,3 - 6,8.

По окончании этой стадии в реактор загружали 4,2 мл морфолина, затем поташ до РН 10-11, повышали температуру до 100 °С и проводили третью стадию процесса в течение двух часов. Полученную суспензию КД-2 отфильтровывали, осадок промывали водным раствором сульфата натрия (50 мл, концентрация 2,5 %), после чего пасту с влажностью 50 – 55 % сушили при температуре 100 °С. Концентрацию основного вещества определяли спектрофотометрическим методом, относительно стандартного образца. Из сухого образца готовили модельную водную суспензию (концентрация 20 %), которую затем сушили при 100 °С в течение часа. Толщина высушенного образца составляла 3 – 4 мм. Было установлено, что при таком способе получения отбеливателя цвет образца на поверхности и в объеме различаются. На поверхности цвет всегда имеет зеленоватый оттенок, а в объеме – белый.

Поверхностный слой с зеленоватым оттенком (отбеливатель марки А) снимали и анализировали спектрофотометрически в диапазоне длин волн 210 – 700 нм и сравнивали с эталонным отбеливателем КД-2. В результате измерений различий в спектрах поглощения не было обнаружено. Очевидно, что краситель придает оттенок поверхности даже в том случае, когда содержится в концентрации ниже предела чувствительности УФ-спектроскопии.

Авторы работ [1, 3, 5] для улучшения цвета отбеливателя предлагают использовать различные соединения: морфолин, триэтаноламин, диэтаноламин, ацетат натрия, фосфат натрия, трилон-Б, а также вводят стадию промывки готового продукта растворами электролитов. В нашем случае для уменьшения концентрации красителя в конечном продукте в порядок проведения синтеза были внесены изменения. После окончания второй стадии в реактор загружали 26,8 г NaCl затем давали выдержку в течение 30 минут, после чего нагревали реакционную массу до 60 °С и проводили фильтрацию. Осадок с фильтра переносили в колбу, загружали 300 мл воды 4,2 мл морфолина, поташ и далее повторяли условия синтеза, описанного выше. В этом случае высушенный образец имел очень высокую степень белизны, причем цвет поверхности соответствовал цвету в объеме образца (отбеливатель марки Б).

Так как в случае А не удалось спектрофотометрически обнаружить краситель на поверхности образца, измеряли колористические показатели марок А и Б. Определения проводили на цветоизмерительном комплексе "Color Eye 7000" фирмы "Gretag Macbeth" в системе CIELab в режиме, исключающем люминесценцию отбеливателя. В качестве эталона цвета, наиболее близкого к цвету измеряемого образца был использован стандартный образец белофор КД-2. Измерялись координаты цвета L , a , b , спектры отражения в видимом диапазоне 390 – 760 нм, а также цветовой тон (оттенок) образцов отбеливателей [6]. Результаты исследований представлены на рис. 1 и в табл. 1

В видимой части спектра, (Б) (рис. 1, зависимость 2) по сравнению с (А) (рис. 1 зависимость 1) имеет более высокий коэффициент отражения для всех длин волн. Причем спектр отражения для отбеливателя марки Б содержит фиолетовой компоненты излучения на 17 % больше, чем для марки А. Эта величина перекрывает избыточное отражение в красной части спектра на 5 %, что благоприятно сказывается на цветовом тоне марки Б, и подтверждается данными табл. 1.

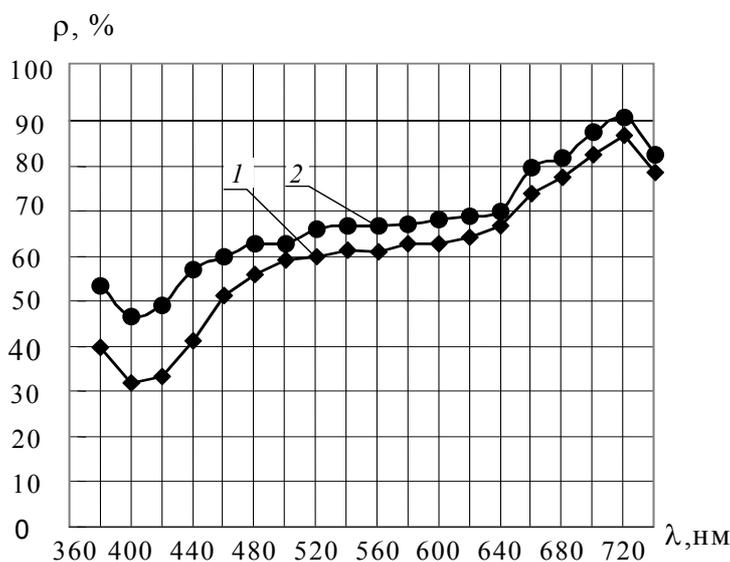


Рис. 1 Влияние способа получения отбеливателя на спектр отражения света образцами в видимой области:
1 - отбеливатель марки А, 2 - отбеливатель марки Б

Сравнительные данные, представленные в табл. 1 свидетельствуют, что по всем колористическим показателям отбеливатель марки Б превосходит эталон и в значительной степени отбеливатель марки А. Цветовой тон отбеливателя марки Б, сдвинут по сравнению с цветовым тоном стандартного образца в красно- синюю часть спектра, а отбеливателя марки А в желто-зеленую.

Установлено что при синтезе белофора КД-2 образуются водорастворимые примеси которые при проведении процесса сушки в атмосфере воздуха резко снижают колористические свойства отбеливателя.

1 Колористические показатели отбеливателя марок А и Б в сравнении со стандартным образцом КД-2

Показатель	Стандартный образец КД-2	Марка А	Марка Б
L	86,503	83,744	86,597
<i>a</i>	-2,830	-3,245	-1,299
<i>b</i>	12,151	16,307	8,256
ΔL	-	-2,758	0,094
Δa	-	-0,415	1,531
Δb	-	4,0156	-3,896

W	24,675	8,016	37,169
----------	--------	-------	--------

Примечание: L, a, b - координаты цвета в системе CIEL ab ; $\Delta L, \Delta a, \Delta b$ - цветовые различия между испытуемым и стандартным образцом (эти показатели определялись по ГОСТу - 16873-92; W - белизна рассчитывалась по формуле Бергера [7].

Предложенный нами способ получения оптического отбеливателя КД-2 марки Б, включающий дополнительную стадию фильтрации с выделением промежуточного продукта позволяет получить продукт с улучшенными колористическими показателями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Химия синтетических красителей / Под ред. К. Венкатарамана. Л.: Химия, 1977, Т. VI. 464 с.
- 2 Неорганическая химия. Ахметов Н. С., М.: Высшая школа, 1975. 670 с.
- 3 Патент Великобритании № 1116619.
- 4 Поверхностноактивные вещества: Справочник, Л.: Химия, 1979. 375 с.
- 5 Патент ЧССР № 162582.
- 6 Лабораторный практикум по пигментам и пигментированным лакокрасочным материалам. Горловский И. А. Л.: Химия, 1990. 239 с.
- 7 Крашение пластмасс / Пер. с нем. В. Н. Шнурова Л.: Химия, 1980. 319 с.

Кафедра "Процессы аппараты химических технологий"

УДК 66.065.55

*С. Г. Волокитин, Л. Н. Чемерчев **

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МИКРОВОЛНОВОЙ СУШИЛКИ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА

Зависимость среднего влагосодержания от времени, начальное и конечное влагосодержание оказывают определяющее влияние на производительность разрабатываемого аппарата для обезвоживания, а толщина слоя и на долю использования СВЧ-энергии. Удельные энергетические затраты на процесс обезвоживания Z_y можно определить по следующей зависимости:

$$Z_y = \frac{Z_{\text{общ}}}{G_y}, \quad (1)$$

где $Z_{\text{общ}}$ – общие затраты на обезвоживание единицы площади слоя материала, G_y – производительность по сухому продукту единицы площади слоя материала.

Общие затраты на обезвоживание $Z_{\text{общ}}$ рассчитываются с учетом составляющих этапов процесса

$$Z_{\text{общ}} = k_{\text{пот}} (Z_{\text{н}} + Z_{\text{с}}), \quad (2)$$

где $k_{\text{пот}} = 1,05$ – коэффициент потерь тепловой энергии в окружающую среду; $Z_{\text{н}}$ и $Z_{\text{с}}$ – общие затраты тепловой энергии на нагрев и микроволновую сушку единицы площади слоя материала.

Удельная производительность G_y :

$$G_y = \frac{H \rho_{\text{сух}}}{\tau_{\text{с}}}, \quad (3)$$

Затраты тепловой энергии на нагрев $Z_{\text{н}}$ обусловлены нагревом материала и влаги в слое до температуры 100 °С

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

$$Z_{\text{н}} = \Delta t \left[c_{\text{мат}} H \rho_{\text{сух}} + c_{\text{вод}} H \rho_{\text{в}} \left(1 - \frac{\rho_{\text{сух}}}{\rho_{\text{ТВ}}} \right) \right], \quad (4)$$

где $c_{\text{мат}}$ и $c_{\text{вод}}$ – удельная теплоемкость материала сушки и воды, для 1-фенил-3-метил-5-пиразолон (ФМП) $c_{\text{мат}} = 854,5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг К}}$, Δt – разность температур между температурой кипения влаги и температурой слоя осадка после фильтрации (80 °С по действующей технологии производства ФМП на АО "Пигмент").

Затраты тепловой энергии на микроволновую сушку

$$Z_{\text{сушки}} = \frac{(u_0 - u_{\text{кон}}) H \rho_{\text{сух}} r}{\bar{\eta} \eta_{\text{изл}}}, \quad (5)$$

где $\eta_{\text{изл}}$ – к.п.д. излучателя (в зависимости от вида и волновой мощности от 0,4 до 0,8).

Таким образом удельные затраты Z_y на обезвоживание конкретного полупродукта органических красителей (ПОК) будут являться функцией времени процесса сушки τ_c , средней доли поглощения СВЧ-энергии $\bar{\eta}$, начального и конечного влагосодержаний u_0 и $u_{\text{кон}}$, характеристики излучателя микроволновой энергии $\eta_{\text{изл}}$ и равны:

$$Z_y = k_{\text{пот}} \tau_c \left(\Delta t c_{\text{мат}} + \Delta t c_{\text{в}} \frac{\rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{сух}}} \left(1 - \frac{\rho_{\text{сух}}}{\rho_{\text{тв}}} \right) + \frac{(u_0 - u_{\text{кон}}) r}{\bar{\eta} \eta_{\text{изл}}} \right) \dots \quad (6)$$

В связи с этим возникает необходимость определения зависимости времени процесса сушки τ_c и средней доли поглощения СВЧ-энергии $\bar{\eta}$ от толщины слоя материала H . Их определение проводим расчетным путем по алгоритму предложенному автором [1]. Удельные затраты Z_y определяем при к.п.д. излучателя 0,5 для слоя толщиной от 0,05 до 0,4. Результаты расчета представлены на рис. 1 и 2 для ФМП при напряженности электрического поля 2000 В/м.

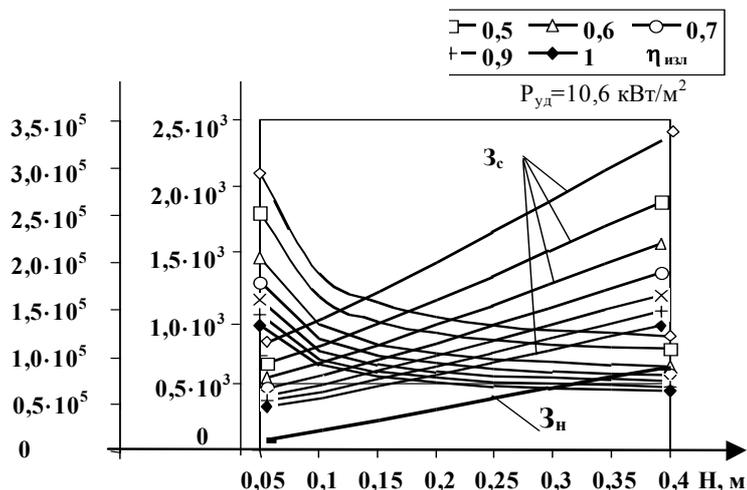


Рис. 1 Удельные затраты на обезвоживание, затраты тепла на нагрев слоя и сушки ФМП в зависимости от КПД излучателя и толщины слоя материала

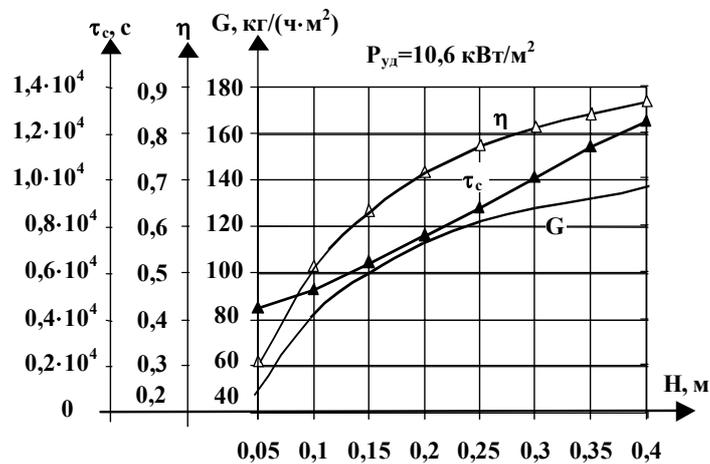


Рис. 2 Доля поглощенной СВЧ-энергии, время сушки и производительность по сухому ФМП в зависимости от толщины слоя материала

сушки и производительности от толщины слоя

величина напряженности электрического поля при микроволновой сушке данных полупродуктов органических красителей ПОК не оказывают влияние на долю поглощенной СВЧ-энергии и удельные затраты тепла на обезвоживание [2].

Выводы: Применение микроволновой сушки для плотного предварительно нагретого слоя ПТМП позволяет значительно снизить энергозатраты на процесс по сравнению с применяемым оборудованием для обезвоживания (для микроволновой сушилки со слоем материала толщиной 0,1 м в 3,2 раза; со слоем 0,2 м в 3,5 раза; со слоем 0,4 м в 3,73 раза).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Леонтьева А. И., Чемерчев Л. Н., Клеников А. А. Математическое описание процесса сушки полупродуктов органических красителей в плотном неподвижном слое при кондуктивно-диэлектрическом способе подвода тепла // Вестник ТГУ. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2000. Т. 5. С. 453 - 455.
- 2 Нетушил А. В., Жуковицкий Б. Я. Высоочастотный нагрев диэлектриков и полупроводников / М.: Госэнергоиздат, 1959. 478 с.

Кафедра "Технологическое оборудование прогрессивные технологии"

УДК 532.5 (075.5)

А. О. Жутков, В. В. Козодаев*

ДВИЖЕНИЕ ЖИДКОСТИ ВБЛИЗИ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Исследованием течений вблизи вращающихся дисков при различных граничных условиях занимались многие исследователи. Одним из примеров точного решения уравнений Навье-Стокса является течение вблизи плоского диска, равномерно вращающегося с угловой скоростью вокруг своей оси, перпендикулярной к плоскости диска. Принимается, что Жидкость вдали от диска имеет только аксиальную составляющую скорости. Вследствие трения слой жидкости, непосредственно прилегающий к диску, увлекается последним и под действием центробежной силы отбрасывается наружу от диска. Взамен отброшенной жидкости к диску притекает в осевом направлении новая жидкость, которая также увлекается диском и опять отбрасывается наружу. Следовательно, в данном случае мы имеем полностью трехмерное течение. Впервые решение системы уравнений было дано Т. Карманом [1] приближенным способом. Впоследствии В. Кохрен [2] вычислил значения функций более точно посредством численного интегрирования. М. Г. Роджерс и Г. Н. Лоус [3] обобщили рассмотренную задачу исследовав случай, когда жидкость в бесконечности вращается с некоторой угловой скоростью. Особый интерес представляет следующее обстоятельство. Полученное точное решение уравнений Навье-Стокса для течения около вращающегося диска, а также полученные решения для течений в окрестности критической точки обладают свойствами, характерными для пограничного слоя. В самом деле, эти решения показывают, что в предельном случае очень малой вязкости область трения, на которую распространяется влияние трения, заключена в весьма тонком слое вблизи твердых стенок, в то время как во всем остальном пространстве течение происходит практически также, как если бы трения не было, т.е. как если бы течение было потенциальным. В этой связи упомянем также о полученном Г. К.

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, профессора

А. А. Коптева.

Бэтчелором [4] решении уравнений Навье-Стокса для течения между двумя дисками, вращающимися в противоположные стороны; по этому поводу также работу К. Стюартсона [5].

С течением, которое возникает вблизи диска, вращающегося в покоящейся жидкости сходно течение, возникающее вблизи неподвижной плоской стенки в том случае, когда на большом расстоянии от стенки происходит вращение жидкости с постоянной угловой скоростью. Такой случай был исследован У. Т. Бедевадтом [6]. Здесь для частиц жидкости, находящихся на большом расстоянии от стенки, центробежная сила и радиальный градиент давления взаимно уравновешиваются. Для частиц же жидкости, находящихся вблизи стенки, окружная скорость вследствие торможения понижена, поэтому здесь центробежная сила уменьшена, между тем как направленный внутрь радиальный градиент давления остается таким же, как и на большом расстоянии от стенки. В результате вблизи стенки возникает направленное внутрь радиальное течение, которое в свою очередь вызывает, вследствие условия непрерывности, восходящее течение в осевом направлении.

Классическая подстановка Т. Кармана [1] позволяет преобразовать уравнения Навье-Стокса в систему обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений. В связи с нелинейностью уравнений мы предположили неоднозначность их решения. Система уравнений Кармана совместным их решением, может быть приведена к виду

$$H^{VI} = -8HH^V + 2H^1H^{IV} + 2H^{II}H^{III} - 4CH^{II} - 16CHH^I - \\ -20HHH^{IV} + 16HH^1H^{III} + 8HH^{II}H^{II} - 4H^1H^1H^{II} - \\ -16HHHH^{III} + 32HHH^1H^{III} - 16HH^1H^1H^1 \quad , \quad (1)$$

где штрихи означают производные по $\varepsilon = z\sqrt{\frac{\omega}{\nu}}$; $H(\varepsilon) = -\frac{v_z}{2\sqrt{\omega\nu}}$; z – аксиальная координата, м; v_z –

аксиальная скорость, м/с; ω – угловая скорость, 1/с; ν – кинематическая вязкость жидкости, м²/с; C – коэффициент радиального градиента давления.

Численное решение нелинейного дифференциального уравнения (1) при некоторых граничных условиях подтверждает наши предположения о неоднозначности его решения. Нами получено от одного до пяти решений при одних и тех же граничных условиях. Какое из решений реализуется на практике, это является предметом нашего теоретического и экспериментального исследований на устойчивость течения жидкости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Karman T, Über laminare und turbulente Reibung. ZAMM 1, 233-252 (1921); см. также Collect. Woks II, 70-97. Английский перевод: NASA TM 1092 (1946).
2. Cochran W. G., The flow due to a rotating disk. Proc. Cambr. Phil. Soc. 30, 365-375 (1934).
3. Rogers M. G., Lauce G. N., The rotationally symmetric flow of a viscous fluid in the presence of an infinite rotating disk. J. Fluid Mech. 7, 617-631 (1960).
4. Batchelor G. K., Note on a class of solutions of the Navier-Stokes equations representing steady non rotationally symmetric flow. Quart. J. Mech. 4, 29-41 (1951).
5. Stewartson K., On the flow between two rotating coaxial discs. Proc. Cambr. Phil. Soc. 49, 331-341 (1953).
6. Bödewadt U. T., Die Drehströmung über festem Grund. ZAMM 20, 241-253 (1940).

Кафедра "Конструирование машин и аппаратов"

УДК 66.047

*А. Н. Колиух, А. А. Савельев, Н. Ц. Гатапова,
А. Н. Пахомов, Б. Н. Михайлов*

ДВУХБАРАБАННАЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПРОЦЕССОВ КОНТАКТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ, НАГРЕВА И СУШКИ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЦИКЛИЧЕСКИХ РЕЖИМАХ

Ранее была описана однобарабанная экспериментальная установка для исследования процессов кондуктивного нагрева, охлаждения и сушки листовых материалов [1, 2]. Однако она не позволяет производить исследования процессов в циклических многооперационных режимах при различных температурах. В настоящее время, на базе однобарабанной установки, на кафедре ПАХТ изготовлена и осваивается двухбарабанная установка, которая позволит изучать все важнейшие промышленные многостадийные процессы с кондуктивным, а также с комбинированными подводом и(или) отводом тепла, с материалами, имеющими различные теплофизические и реологические свойства, во всем практически важном диапазоне внешних условий.

Схема установки представлена на рис. 1. Рабочие барабаны выполнены из тонкостенной алюминиевой трубы диаметром 220 × 2,5 мм и имеют длину $l = 270$ мм. Нагрев или охлаждение обеспечиваются в диапазоне температур 15 - 145 °С подачей из термостатов воды или термостойкого масла. Возможно применение и других теплоносителей и хладоагентов. Наружная среда - комнатный воздух при свободной конвекции, сопловом обдуве или с дополнительным ИК-излучением.

Для обеспечения равномерности температур по всей поверхности каждого барабана и для регулирования интенсивности внутренней теплоотдачи в барабаны встроены рамные четырехлопастные мешалки диаметром 200 мм с приводом постоянного тока, обеспечивающим изменение числа оборотов мешалки от 30 до 500 об/мин. Это соответствует окружным скоростям $w \approx 0,3 - 5$ м/с. Меньшие скорости (до $w \approx 0,05$ м/с) можно получить приближенно поворотом мешалки вручную с секундомером.

Такая схема существенно лучше обычно применяемых электронагрева или греющего пара, так как она проще, надежнее и универсальнее. При этом обеспечиваются большая точность, возможность как нагрева, так и охлаждения, а интенсивность внутренней теплоотдачи охватывает весь практически используемый в промышленности диапазон.

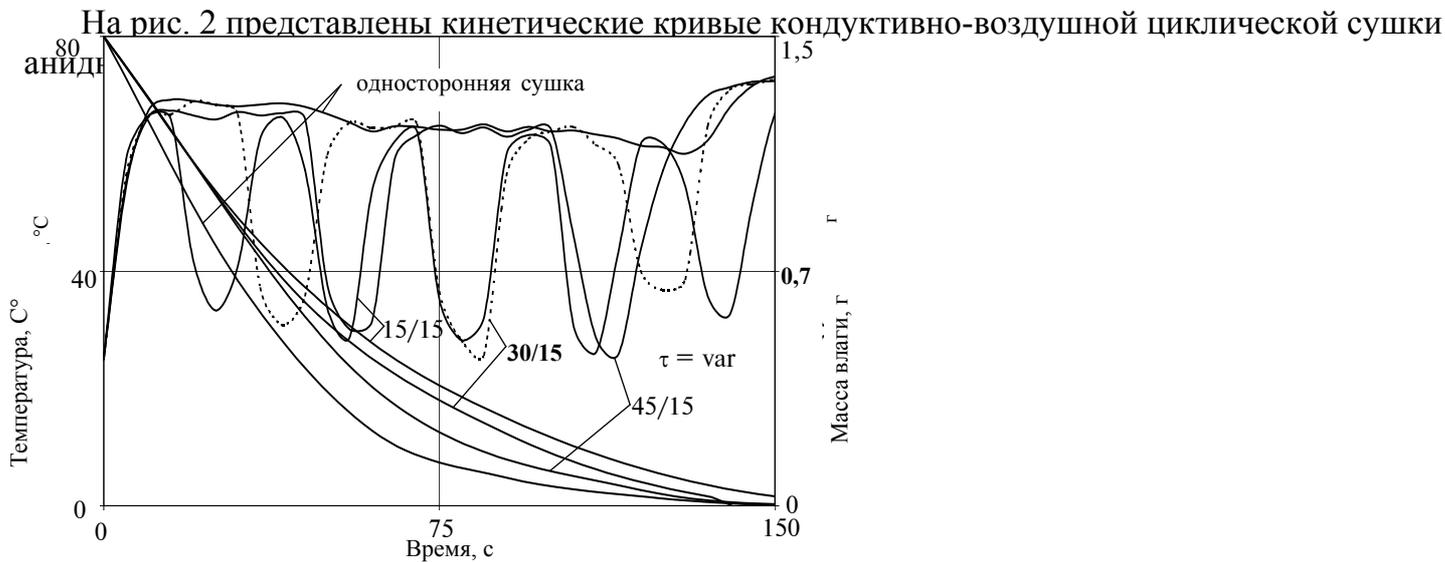
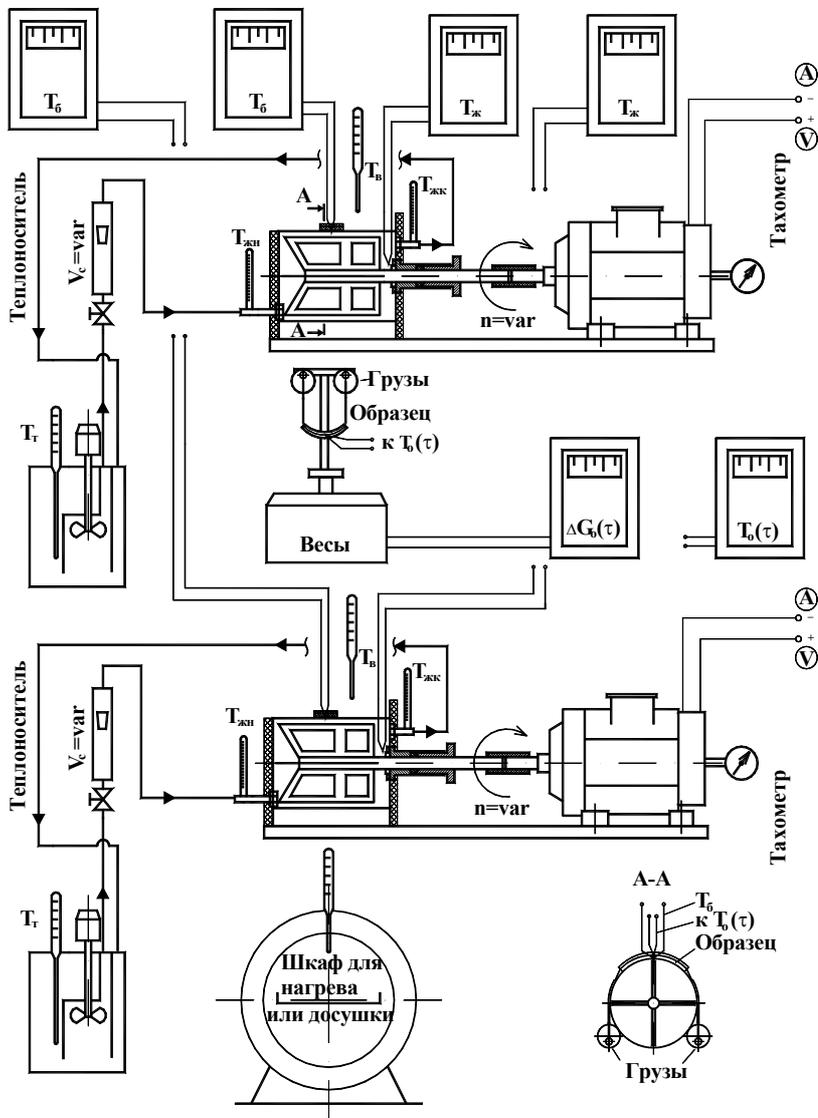


РИС 2

Из этого рисунка видно, что при увеличении времени контакта образца с барабанами $\tau_{\text{бар}}$ по отношению к времени его пребывания между барабанами на воздухе $\tau_{\text{возд}}$ (на рис. 2 $\tau_{\text{возд}} = 15$ с) время сушки уменьшается. Получаемые зигзагообразные кинетические кривые характерны для всех циклических процессов. При этом принципиально изменяется миграция растворенных веществ и качество материалов, что подлежит специальному изучению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Колиух А. Н., Гагапова Н. Ц. К вопросу контактно-конвективной многооперационной сушки и термообработки / Труды ТГТУ. Вып. 6. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2000. С. 115 - 117.
- 2 Гагапова Н. Ц., Колиух А. Н., Коновалов В. И., Савельев А. А. Особенности кинетики теплопередачи и сушки на контактных барабанах // Вестник ТГТУ. 2001. Т. 7, № 3. С. 399 - 406.

Кафедра "Процессы и аппараты химической технологии"

УДК 66.067.

В. Л. Головашин, О. А. Абоносимов*

ОБРАТНООСМОТИЧЕСКОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ УРОТРОПИНА НА ПРОМЫШЛЕННОЙ ОБРАТНООСМОТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКЕ

В процессе производства уротропина, на предприятиях фармацевтической промышленности, при промывке кристаллического продукта образуются сточные воды, имеющие небольшое содержание растворенного вещества (с концентрацией ~ 1 кг/м³) [1]. Данные сточные воды направляются на биологическое окисление, при этом процесс характеризуется потерями растворенного вещества, значительной продолжительностью и требует наличия прудов-отстойников [2]. Нами проведены исследования по возможности применения обратного осмоса для очистки сточных вод, содержащих уротропин.

Эксперименты проводились на промышленной обратноосмотической установке МРР 5-21К-01 с использованием обратноосмотических элементов рулонного типа ЭРО-Э-950/6,5 в которых применяется композитная мембрана МГА-95К. Концентрация уротропина в пермеате и пенетрате определялась фотокалориметрическим методом [3].

По результатам экспериментов, по формулам (1) и (2) рассчитывалась селективность (φ , %) и удельная производительность (G , м³/м²·с) мембран.

$$\varphi = \left(1 - \frac{C_{\text{пер}}}{C_{\text{и}}} \right), \quad (1)$$

$$G = \frac{V}{F\tau}, \quad (2)$$

где $C_{\text{пер}}$, $C_{\text{и}}$ - соответственно концентрации растворенного вещества в пермеате и исходном растворе, кг/м³; V - объем отобранного за время эксперимента пермеата, м³; F - рабочая поверхность мембран, м²; τ - время проведения эксперимента, с.

Исследовалось влияние концентрации растворенного вещества на процесс разделения. Для изучения влияния режимных параметров на процесс разделения были проведены дополнительные эксперименты, при варьировании скорости раствора в межмембранном канале от 0,036 до 0,18 м/с.

*Работа выполнена под руководством С. И. Лазарева.

Рассмотрим влияние скорости раствора на селективность и удельную производительность. Как видно из табл. 1, изменение скорости раствора в межмембранном канале оказывает существенное влияние на процесс разделения. При возрастании скорости раствора удельная производительность значительно увеличивается. Данный эффект объясняется снижением уровня концентрационной поляризации [4, 5], поскольку при росте скорости раствора улучшается перемешивание, и в примембранной зоне снижается концентрация растворенного вещества. Это приводит к уменьшению осмотического потока [6] через мембрану, в результате чего удельная производительность повышается. При увеличении концентрации растворенного вещества удельная производительность несколько уменьшается, вследствие увеличения осмотического давления и снижения в результате этого движущей силы процесса.

Селективность при увеличении скорости раствора возрастает (см. табл. 1). Это также связано с улучшением перемешивания и уменьшением концентрации растворенного вещества в примембранной области. В результате этого снижаются диффузионный и конвективный трансмембранные потоки растворенного вещества [7]. Наиболее благоприятной скоростью в

межмембранном канале при концентрировании водного раствора уротропина, в исследованных пределах, является скорость 0,18 м/с.

1 Экспериментальные данные по обратноосмотическому
разделению водного раствора уротропина на промышленной
обратноосмотической установке,
в зависимости от скорости движения раствора

Скорость раствора, м/с.	Концентрация исходного раствора, кг/м ³	Концентрация в пермеате, кг/м ³	Удельная производительность, $G \cdot 10^6, \text{ м}^3/\text{м}^2\text{с}$	Селективность, φ %
0,036	0,697	0,076	4,27	89,1
0,06		0,0723	4,52	89,91
0,077		0,068	4,8	90,59
0,108		0,06	5,46	92,2
0,135		0,0525	6,2	94,24
0,18		0,03	6,83	95,7

2 Экспериментальные данные по обратноосмотическому
разделению водного раствора уротропина на промышленной
обратноосмотической установке, в зависимости
от концентрации раствора

Концентрация исходного раствора, кг/м ³	Концентрация в концентрате, кг/м ³	Концентрация в пермеате, кг/м ³	Удельная производительность, $G \cdot 10^6, \text{ м}^3/\text{м}^2\text{с}$	Селективность, φ %
0,87	1,07	0,073	6,41	93,2
0,91	1,12	0,08	6,41	93,9
1,8	2,18	0,15	5,92	93,1
3,3	3,88	0,243	5,12	93,7

Увеличение концентрации растворенного вещества (в исследованных пределах) оказывает менее значительное влияние на процесс массопереноса. Это связано с малой сорбируемостью уротропина поверхностью мембраны, и как следствие низкими значениями трансмембранного диффузионного и конвективного потоков растворенного вещества [7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Грушко Я. М. Вредные органические соединения в промышленных сточных водах. Справочник. Л.: Химия, 1982. 248 с.
- 2 Санитарная охрана водоемов от загрязнения промышленными сточными водами. Вып. 8. Изд. Медицина, 1967. 220 с.
- 3 Перегуд Е. А. Химический анализ воздуха (новые и усовершенствованные методы). Л.: Химия, 1976. 328 с.
- 4 Дытнерский Ю. И. Баромембранные процессы: Теория и расчет. М.: Химия, 1986. 272 с.
- 5 Хванг С.-Г., Каммермейер К. Мембранные процессы разделения. М.: Химия, 1981, 464 с.
- 6 Брык М. Т., Цапюк Е. А. Ультрафильтрация. Киев: Наукова думка, 1989. 288 с.
- 7 Tone S. et ell. Journal of membrane Science, 1984, vol. 19, p. 195 - 208.

В. И. Ульянов, А. Н. Кленников*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ЩЕЛОЧНОГО ПЛАВЛЕНИЯ АМИНО-Г-КИСЛОТЫ

Производство Гамма-кислоты пользующейся повышенным спросом на внешнем рынке диктует необходимость модернизации и реконструкции основных технологических стадий. Стадия щелочной плавки Амино-Г-кислоты в значительной степени определяет как себестоимость производства Гамма-кислоты, так и качественные показатели выпускаемой продукции. В настоящее время щелочная плавка АГ-кислоты осуществляется в открытых плавильных котлах при следующих технологических параметрах: избыток едкого натра - 3,4 ... 3,5; температура - 193 ... 197 °С; время - 15 часов упарка раствора едкого натра с 44 % до 70 %, 18 часов придача раствора АГ-кислоты на 70 % раствор едкого натра, 2 часа доплавка АГ-кислоты до остаточного содержания менее 5 % (масс). Недостатки данного способа щелочной плавки: снижение расхода едкого натра сопряжено с уменьшением подвижности плава в процессе плавки; ничем не ограничен доступ воздуха в открытый аппарат (ограничивается только наличием временной паровой подушки); необходимость упарки воды в процессе требует интенсивного теплоподвода и, как следствие, приводит к значительному локальному перегреву в местах контакта реакционной массы с теплообменной поверхностью; значительный избыток едкого натра приводит к большому содержанию минеральных примесей в суспензии Гамма-кислоты при выделении плава. Эти проблемы могут быть частично решены изменением технологии щелочной плавки АГ-кислоты. Снижение себестоимости и решение экологических вопросов производства Гамма-кислоты, расход едкого натра и количество упаренной воды на стадии щелочной плавки.

Ведение процесса щелочного плавления под давлением обеспечит уменьшение органических примесей за счет исключения доступа кислорода в зону реакции. Технологические параметры процесса щелочного плавления под давлением могут быть выбраны после тщательного изучения кинетических и термодинамических его характеристик [1] - [3].

Для исследования процесса щелочного плавления под давлением была разработана и смонтирована экспериментальная установка представленная на рис. 1.

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

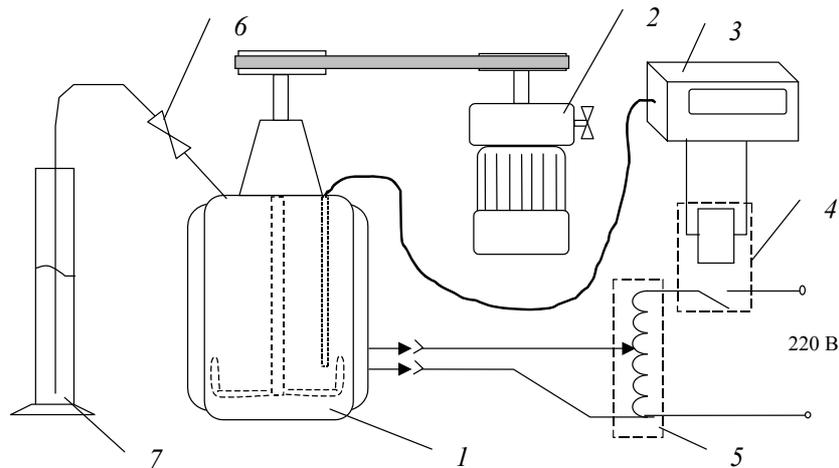


Рис. 1 Схема экспериментальной установки:

1 - автоклав с электрообогревом; 2 - привод мешалки; 3 - прибор контроля и регулирования температуры; 4 - реле; 5 - ЛАТР; 6 - вентиль для упарки; 7 - емкость для конденсации удаленных в процессе паров воды

Методика проведения эксперимента заключается в следующем: в автоклав 1 загружается предварительно упаренный щелочной раствор АГ-кислоты. Температура в процессе щелочной плавки АГ-кислоты поддерживается на постоянном уровне системой регулирования (датчик (термопара) - прибор - регулирующий орган - ЛАТР) управляющей интенсивностью нагрева автоклава. Упарка в процессе щелочной плавки АГ-кислоты осуществляется отгонкой паров через вентиль 6 и их конденсацией в цилиндре с водой 7. По истечении заданного периода времени автоклав охлаждается проточной водой до внутреннего избыточного давления 0 атм, разгерметизируется, плав анализируется на остаточное содержание АГ-кислоты и в случае необходимости плавка продолжается.

На экспериментальной установке проводились исследования по разработке следующих вариантов компоновки технологии процесса щелочной плавки:

- 1 Плавка без предварительного упаривания щелочного аминораствора.
- 2 Плавка с предварительной упаркой щелочного аминораствора.
- 3 Плавка с предварительной упаркой щелочного аминораствора и отгонкой воды из автоклава.

По результатам первого варианта компоновки процесса щелочного плавления можно сделать следующий вывод: щелочная плавка амино-Г-кислоты без предварительной упарки щелочного аминораствора достигает величины

регламентного остаточного содержания аминок-Г-кислоты в плаве Гамма-кислоты при исследуемых температурных и временных диапазонах (195 - 220 °С, до 10 час) без снижения расходной нормы по едкому натру.

По результатам второго варианта компоновки процесса щелочного плавления можно сделать следующий вывод: щелочная плавка аминок-Г-кислоты в условиях $T = 210$ °С, $p = 5 \dots 7$ атм, $\tau = 9,5$ ч при избытке едкого натра $k = 2,59$ (снижение расходной нормы по едкому натру 24,5 %) позволяет обеспечить остаточное содержание аминок-Г-кислоты менее 1 %. Дальнейшее снижение расхода едкого натра на процесс щелочной плавки невозможно без значительного увеличения времени или температуры процесса (решающее влияние оказывает высокая концентрация воды в процессе).

По результатам третьего варианта компоновки процесса щелочного плавления можно сделать следующий вывод: щелочная плавка аминок-Г-кислоты под давлением с предварительной упаркой щелочного аминораствора и дополнительной отгонкой воды в процессе при условиях $T = 215$ °С, $p = 2,5 \dots 3,5$ атм, $\tau = 10 \dots 12$ ч при избытке едкого натра $k = 2 \dots 2,05$ позволяет обеспечить остаточное содержание аминок-Г-кислоты менее 1 %. Дальнейшее снижение расхода едкого натра на процесс щелочной плавки невозможно без потери подвижности плава в процессе плавки.

Для обеспечения подвижности плава при щелочной плавке АГ-кислоты ведется проверка возможности применения инертного растворителя, это предположительно позволит еще снизить расход щелочи на плавку как открытую, так и под давлением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Степанов Б. И. Введение в химию и технологию органических красителей. М.: Химия, 1984.
- 2 Юкельсон И. И. Теоретические основы органического синтеза. М.: Химия, 1968.
- 3 Днепровский А. С., Темникова Т. И. Теоретические основы органической химии. Л.: Химия, 1979.

Кафедра: "Технологическое оборудование и

прогрессивные технологии"

УДК 621.359.2.001.63

С. И. Лазарев, А. В. Свотнев

О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОБАРОМЕМБРАННЫХ АППАРАТОВ

Наиболее перспективными конструкциями баромембранных аппаратов являются аппараты с плоскими и трубчатыми разделительными элементами. Аппараты выпускаются в различных модификациях: корпусные и безкорпусные, с центральным и периферийным выводом, с общим отводом и с раздельным, т.е. отдельно от каждого элемента. Для элементов данного типа положительной особенностью является простота конструктивных решений и сравнительно малая материалоемкость [1] - [3].

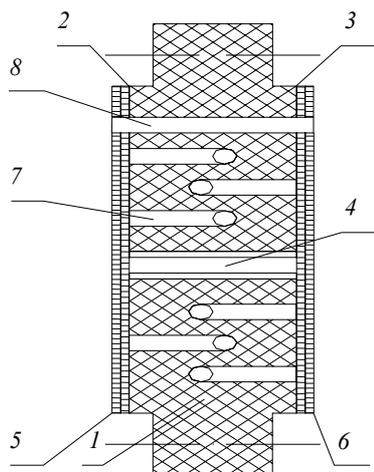
Существенным недостатком существующих конструкций мембранных аппаратов с плоскими и трубчатыми элементами является отсутствие возможности наложения на систему мембрана-раствор физических полей различной природы, например электрического постоянного поля (электробаромембранные процессы). В результате этого невозможно отделение неэлектролита от электролита, выделение веществ из промышленных и природных сточных вод, дифференцированное выделение ионов и получение особо чистых веществ. Так в процессах, работающих под давлением в многокомпонентных системах ионы проходят через мембрану практически в эквимолекулярных соотношениях, что затрудняет дифференцированное выделение их из природных и промышленных сточных вод. К сожалению, невозможно решить эти проблемы на производственном уровне из-за отсутствия электробаромембранных аппаратов промышленного типа [4].

Для решения этих проблем разработаны многокамерные электробаромембранные аппараты с плоскими и трубчатыми элементами промышленного образца. Разработанные электробаромембранные аппараты исходя из технологических и конструктивных целей, представлены в виде последовательно соединенных камер разделения. Камеры разделения образуются из пористых монополярных и биполярных электродов, которые одновременно служат опорой для мембран и дренажом для отвода прианодного и прикатодного пермеатов.

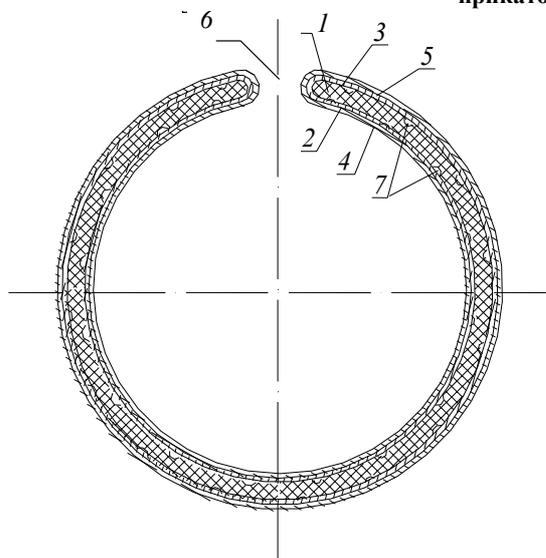
Основным элементом электробаромембранного аппарата для образования промежуточных камер разделения является пористый биполярный электрод, схематично представленный на рис. 1 и 2. Биполярный электрод состоит из нескольких элементов - средней части для отвода прианодного и прикатодного пермеата и двух пористых электродов (анода и катода). В качестве анода и катода использовалась микропористая нержавеющая сталь марки Х18Н15-ПМ, Х18Н15-МП, ППТМ-ПМ, ПНПИТ, Н-МП, ЛПН-ПМ с порозностью 20 ... 45 %, а также микропористый никель и титан [5].

На средней части 1 пористого биполярного электрода плоско-камерного аппарата, приведенного на рис. 1., с одной стороны располагают анод 2, а с другой - пористый катод 3, соединяющиеся между собой коррозионно-стойкой шпилькой 4. На пористом аноде расположена прианодная мембрана 5, а на катоде прикатодная мембрана 6. В средней части пористого биполярного электрода имеются отверстия 7 для отвода прикатодного и прианодного пермеата и переточное отверстие 8 для перетекания разделяемого раствора из одной камеры разделения в другую.

На средней части 1 трубчатого биполярного электрода (рис. 2) по всей площади располагают в виде чулка пористый электрод, который с одной стороны является анодом 2, а с другой пористым катодом 3. На пористых электродах с внутренней и с внешней стороны располагаются прианодные и прикатодные мембраны 4 и 5. В средней части трубчатого биполярного электрода имеется переточное отверстие 6, выполненное в виде щели по всей длине аппарата, и продольные каналы 7 для отвода прианодного и прикатодного пермеата.



**РИС. 1 ПЛОСКИЙ
БИПОЛЯРНЫЙ ЭЛЕКТРОД
С ПРИАНОДНОЙ И
прикатодной мембранами**



**РИС. 2 ТРУБЧАТЫЙ
БИПОЛЯРНЫЙ ЭЛЕКТРОД
С ПРИАНОДНОЙ И
прикатодной мембранами**

Разработанные многокамерные электробаромембранные аппараты с плоскими и трубчатыми элементами можно применять не только в электробаромембранных процессах, а также в электрохимических и баромембранных процессах выделения, концентрирования, получения и дифференцированного выделения ионов из природных и промышленных сточных вод с использованием как полимерных, так и динамических мембран.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Дытнерский Ю. И. Баромембранные процессы: Теория и расчет. М.: Химия, 1986. 272 с.
- 2 Хванг С.-Т., Каммермейер К. Мембранные процессы разделения: Пер. с англ. / Под ред. Ю. И. Дытнерского. М.: Химия, 1981. 464 с.
- 3 Артемов Н. С. Аппараты и установки для мембранных процессов. М.: Машиностроение, 1994. 240 с.
- 4 Дытнерский Ю. И., Когаров Р. Г. Некоторые проблемы теории и практики использования баромембранных процессов // ЖВХО им. Д. И. Менделеева. 1987. Т. 32, № 6. С. 669 - 673.
- 5 Листовые материалы, полученные методом прокатки порош-ков: Проспект. Выкса, 1990. ВМЗ.

Кафедра "Информационные технологии в проектировании"

УДК 681.3:66.0

М. В. Зуйков, А. С. Клейменов

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ ПОДЗЕМНЫХ ГОРИЗОНТАХ

Особенностью многоассортиментных малотоннажных химических производств является образование большого перечня вредных ингредиентов, выбрасываемых в различные компоненты окружающей среды. Сильно загрязненные сточные воды, как правило, после извлечения на локальных установках особо токсичных элементов (например, ртути и серы) усредняются и после необходимой подготовки направляются на закачку в глубокие поглощающие слои горизонта. Слабо загрязненные, биологически окисляемые сточные воды усредняются и направляются на станцию биохимической очистки. Одним из представителей предприятий данного класса производств является ОАО "Пигмент".

Для закачки промышленных стоков в глубокозалегающие водоносные горизонты предприятию предоставлен горный отвод в двух глубокозалегающих водоносных горизонтах живецкого яруса среднего девона. Водовмещающими породами являются слабосцементированные кварцевые песчаники. Рабочие пласты разделены слоем глинисто-алевролитовых пород, которые являются непроницаемыми отложениями [1].

Целью работы является анализ условий функционирования системы наблюдательных скважин по их приемистости и оценка распространения закачиваемых стоков в водоносном горизонте в пределах горного отвода.

Для анализа условий функционирования системы наблюдательных скважин используется геофильтрационная модель, позволяющая получить распределение давлений в нагнетательных скважинах. Оценка распространения закачиваемых стоков в водоносном горизонте осуществляется с помощью геомиграционной модели.

Для реализации геофильтрационной модели выбран метод пространственно-временной суперпозиции аналитических решений уравнений Тейса [2], описывающего повышение напора подземных вод, для скважин работающих в неограниченном изолированном пласте. Они имеют вид:

$$S = \frac{Q}{4\pi T} W(u); \quad u = \frac{r^2}{4at}; \quad r^2 = x^2 + y^2; \quad W(u) = \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du,$$

где S - повышение напора подземных вод, м; Q - дебит закачки, м³/сут; T - проводимость, м²/сут; r - расстояние от скважины, м; a - пьезопроводимость, м²/сут; t - время, сут; W - функция колодца или интегральная показательная функция.

Составляющие скорости фильтрации (V) определяются как производные по осям x и y :

$$V_x = \frac{\partial S}{\partial x} = \frac{Qx}{2\pi mr^2} e^{-u}; \quad V_y = \frac{\partial S}{\partial y} = \frac{Qy}{2\pi mr^2} e^{-u}; \quad r^2 = x^2 + y^2.$$

Таким образом можно определить в каждой точке напор и скорость фильтрации. Для нескольких скважин (J) с постоянным во времени расходами следует применить суперпозицию по площади в виде:

$$S = \sum_{j=1}^J \frac{Q_j}{4\pi T} W\left(\frac{r_j^2}{4aT}\right); \quad r_j^2 = (x - x_j)^2 + (y - y_j)^2;$$

$$V_x = \sum_{j=1}^J \frac{Q_j(x - x_j)}{2\pi mr_j^2} e^{-\frac{r_j^2}{4at}}; \quad V_y = \sum_{j=1}^J \frac{Q_j(y - y_j)}{2\pi mr_j^2} e^{-\frac{r_j^2}{4at}},$$

где x_j, y_j - координаты нагнетательных скважин; m - мощность пласта, м.

Для аппроксимации временной зависимости расходов скважин принималась ступенчатая функция, как более соответствующая существующим данным [1].

Для нескольких скважин, имеющих одинаковые времена, изменения расходов функция имеет вид:

$$S(x, y, t) = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \frac{Q_{i,j} - Q_{i-1,j}}{4\pi T} W \left(\frac{r_j^2}{4a(t-t_i)} \right);$$

$$V_x(x, y, t) = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \frac{Q_{i,j} - Q_{i-1,j}}{2\pi mr^2} (x - x_j) e^{\frac{r_j^2}{4a(t-t_i)}};$$

$$V_y(x, y, t) = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \frac{Q_{i,j} - Q_{i-1,j}}{2\pi mr^2} (y - y_j) e^{\frac{r_j^2}{4a(t-t_i)}};$$

Влияние естественного потока также учитывается суперпозицией [2]. Для расчета скоростей фильтрации с учетом естественного потока добавочные члены по координатам будут равны:

$$V_{0x} = \frac{q_x}{m}; \quad V_{0y} = \frac{q_y}{m},$$

где q - объем естественного потока.

Построение геофильтрационной модели для участка закачки промышленных стоков производится с целью получения поля скоростей фильтрации, необходимых для решения задачи распространения промышленных стоков в старооскольском водоносном горизонте.

Для создания модели миграции загрязнения природная обстановка представлена в виде двух изолированных неограниченных в плане пластов. Параметры фильтрации и массопереноса одинаковы и изотропны для каждого пласта. Породы представлены гомогенной средой. Гидродинамическая дисперсия в песчаных породах, вследствие малости параметра микродисперсии, принята незначительной. Разность плотностей пластовой воды и закачиваемых промышленных стоков практически несущественна. Следовательно массоперенос определяется только вынужденной конвекцией.

Для моделирования процесса массопереноса и построения контуров областей распространения проток в водоносных пластах принят метод блуждающих частиц [2, 3]. Предполагается, что в каждый интервал времени, соответствующий шагу по времени решения задачи, из действующих источников загрязнения - скважин выделяются частицы массы загрязнения. Количество частиц пропорционально массовому расходу источника. Масса всех частиц одинакова. Если источник прекратил свое действие, то вклад этого источника в общее поле скоростей исчезает. Однако его частицы движутся под влиянием других источников, вносящих свои частицы в общее загрязнение. Движение частицы, в течение каждого шага по времени, рассматривается как сумма конвективного перемещения по линии тока, проходящей через точку исходного положения частицы, и случайного блуждания, вызванного гидродинамической дисперсией. Уравнение микродисперсии имеет вид:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) - V_x \frac{\partial C}{\partial x} - V_y \frac{\partial C}{\partial y} = n \frac{\partial C}{\partial t},$$

где C - концентрация веществ, D - коэффициент гидродинамической дисперсии, n - активная пористость.

Коэффициент гидродинамической дисперсии полагается линейно зависящим от скорости фильтрации. Можно записать блуждание точки за шаг по времени Δt , как состоящее из двух элементарных перемещений - закономерного и случайного:

$$\Delta x = \Delta x_v + \Delta x_D; \quad \Delta y = \Delta y_v + \Delta y_D.$$

Составляющие коэффициента гидродинамической дисперсии имеют вид:

$$D_{xx} = \delta_L \frac{u_x^2}{u} + \delta_T \frac{u_y^2}{u} + D^*; \quad D_{yy} = \delta_L \frac{u_y^2}{u} + \delta_T \frac{u_x^2}{u} + D^*;$$

$$D_{xy} = D_{yx} = (\delta_L - \delta_T) \frac{u_x u_y}{u}; \quad u = \sqrt{u_x^2 + u_y^2},$$

где δ_L и δ_T - коэффициенты пропорциональности; u - действительная скорость движения подземных вод.

Моделируются два перемещения: продольное, по направлению скорости фильтрации и поперечное в плоскости, нормальной к линии тока и практически вертикальной. Движению вещества сопутствует ряд процессов его трансформации, приводящих к изменению массы точек или их количества. Основные процессы можно разделить на равновесные и неравновесные. Все процессы должны учитываться изменением массы точек или их количества.

В настоящее время с помощью геоинформационной системы ArcInfo 8.0.2 создана пространственная модель предприятия, включающая в себя отображение рельефа местности Тамбовского промышленного узла, расположение промышленных объектов различного назначения, природных объектов (озер, участка реки Цны и ее притоков), прудов-отстойников и т.д. Она предоставляет возможность проследить путь загрязнений от источников образования до места их закачки в глубокие подземные горизонты. Реализация геофильтрационной и геомиграционной моделей с помощью той же системы и включение их в пространственную модель промышленного узла, позволит получить объективное представление о процессах распространения загрязнений для рассматриваемого класса производств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Оценка загрязнений подземных вод в районе АО "Пигмент" (г. Тамбов). М.: АОЗТ "Проектпромстрой", 1995. 83 с.
- 2 Шестаков В. М. Гидрогеодинамика. М.: Изд-во МГУ, 1995. 268 с.
- 3 Fitter C. W. Contaminant Hidrogeology. МРС, 1994. 458 p.
- 4 Розовский Л. Б. Инженерно-геологические прогнозы и моделирование. Киев: 1987. 285 с.

Кафедра "Гибкие автоматизированные производственные системы"

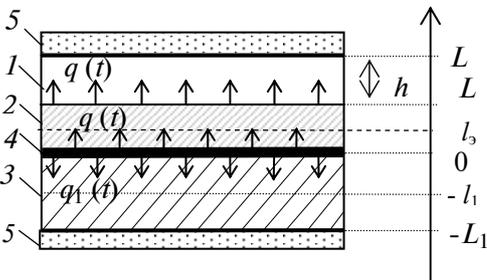
Автоматизация Технологических процессов

УДК 536.24:517.968

Г. В. Шишкина, А. А. Чуриков

МЕТОД И ИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЛОСКИХ ОБРАЗЦОВ НЕОДНОРОДНЫХ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

Измерительные устройства для определения теплофизических свойств (ТФС) плоских образцов в основном базируются на модели, которая предусматривает создание на внешних границах $x = L_n$ и $x = -L_1$ (рис. 1) постоянной температуры, что вызывает необходимость использования для этой цели термостатов (обычно жидкостных). Применение таких термостатов для измерительных устройств или систем оправдано в лабораторных условиях, где можно использовать громоздкое стационарное оборудование, но для промышленных условий контроль ТФС требует использования автономных мобильных измерительных устройств. Современные измерительно-вычислительные микропроцессорные системы позволяют использовать малогабаритные измерительные устройства с несколькими измерительными и управляющими каналами. Поэтому возникла возможность создания измерительного устройства, на внешних границах которого применены специальные блоки, поддерживающие условия тепловой защиты или условия адиабатики.



Измерительное устройство (рис. 1) представляет собой трехслойную систему, в которой пластина из исследуемого материала 1 контактирует с одной стороны с пакетом из двух пластин 2, 3 из эталонных материалов. Между пластинами 2, 3 находится плоский нагреватель 4. Таким образом в измерительном устройстве отсутствует прямой контакт исследуемого материала с датчиками температуры и нагревателем, что позволяет исследовать ТФС и химически агрессивных, и влагонасыщенных материалов. В обоих эталонных образцах на известных расстояниях от нагревателя l_3, l_1 расположены датчики-интеграторы температуры.

Экспериментально измеряемыми величинами являются мощность электронагревателя Q и изменение во времени температур двух эталонных образцов $U_3(l_3, t)$ и $U_1(-l_1, t)$ в сечениях $x = l_3$ и $x = -l_1$, соответственно.

На внешних границах $x = L_n$ и $x = -L_1$ применяются специальные блоки тепловой защиты 5, поддерживающие адиабатические условия.

Процесс переноса тепла в системе контактирующих тел (рис. 1) описывается следующей системой краевых задач:

$$\frac{\partial U_n(x, t)}{\partial t} = a_n \frac{\partial^2 U_n(x, t)}{\partial x^2}, \quad L_3 \leq x \leq L_n, \quad t > 0; \quad (1)$$

$$\frac{\partial U_3(x, t)}{\partial t} = a_3 \frac{\partial^2 U_3(x, t)}{\partial x^2}, \quad 0 \leq x \leq L_3, \quad t > 0; \quad (2)$$

$$\frac{\partial U_1(x, t)}{\partial t} = a_1 \frac{\partial^2 U_1(x, t)}{\partial x^2}, \quad -L_1 \leq x \leq 0, \quad t > 0. \quad (3)$$

С начальными и граничными условиями:

$$U_{\text{н}}(x,0) = 0; U_{\text{з}}(x,0) = 0; U_1(x,0) = 0; \quad (4)$$

$$\lambda_{\text{н}} \frac{\partial U_{\text{н}}(x,t)}{\partial x} \Big|_{x=L_3+0} = \lambda_3 \frac{\partial U_3(x,t)}{\partial x} \Big|_{x=L_3-0}; \quad (5)$$

$$U_{\text{н}}(x,t) \Big|_{x=L_3+0} = U_3(x,t) \Big|_{x=L_3-0}; \quad (6)$$

$$\lambda_3 \frac{\partial U_3(x,t)}{\partial x} \Big|_{x=0+0} = -q_3(t); \quad \lambda_1 \frac{\partial U_1(x,t)}{\partial x} \Big|_{x=0-0} = q_1(t). \quad (7)$$

$$\frac{\partial U_{\text{н}}(x,t)}{\partial x} \Big|_{x=L_{\text{н}}} = 0; \quad \frac{\partial U_1(x,t)}{\partial x} \Big|_{x=-L_1} = 0. \quad (8)$$

В зависимостях (7) $q_3(t)$ и $q_1(t)$ - тепловые потоки, идущие от нагревателя в верхний и нижний эталонные образцы, соответственно.

В результате решения задачи теплопроводности были получены расчетные зависимости для определения коэффициентов теплопроводности $\lambda_{\text{н}}$ и температуропроводности $a_{\text{н}}$ исследуемого материала [1]:

$$\lambda_{\text{н}} = \lambda_3 \frac{\sqrt{g_3}}{\sqrt{g_{\text{н}}}} \frac{h}{L_3} \frac{\text{cth}(\sqrt{g_{\text{н}}}) \text{th}(\sqrt{g_3})}{\left(\frac{q_3^*(p)}{q_{\text{н}}^*(p) \text{ch}(\sqrt{g_3})} - 1 \right)}, \quad (9)$$

$$a_{\text{н}} = \frac{ph^2}{g_{\text{н}}}, \quad (10)$$

где $g = \frac{px^2}{a}$ - безразмерный параметр $\left(g_{\text{н}} = \frac{ph^2}{a_{\text{н}}}, g_3 = \frac{pL_3^2}{a_3}, g_1 = \frac{pL_1^2}{a_1} \right)$; h - толщина исследуемого образца; p - параметр

интегрирования Лапласа [2], $q_3^*(p)$ - временная интегральная характеристика (ВИХ) [2] теплового потока, идущего от нагревателя в верхний эталонный образец; $q_{\text{н}}^*(p)$ - ВИХ теплового потока, идущего в исследуемый образец через поверхность $x = L_3$. Значения $q_3^*(p)$ и $q_{\text{н}}^*(p)$ рассчитываются по формулам:

$$q_3^*(p) = \frac{Q}{p} - \frac{U_1^*(-l_1, p) \text{sh}(\sqrt{g_1}) \lambda_1 \sqrt{g_1}}{\text{ch}(m_1 \sqrt{g_1}) L_1}, \quad (11)$$

$$q_{\text{н}}^*(p) = \frac{q_3^*(p) \text{ch}(m_3 \sqrt{g_3}) - U_3^*(l_3, p) \frac{\lambda_3 \sqrt{g_3}}{L_3} \text{sh}(\sqrt{g_3})}{\text{ch}(n_3 \sqrt{g_3})}, \quad (12)$$

где λ_3, λ_1 - коэффициенты теплопроводности верхнего и нижнего эталонных образцов, соответственно; $U_3^*(l_3, p), U_1^*(-l_1, p)$ - ВИХ температур верхнего и нижнего эталонных образцов в плоскостях $x = l_3$ и $x = -l_1$, соответственно; $m_3 = \frac{L_3 - l_3}{L_3}$,

$n_3 = \frac{l_3}{L_3}, m_1 = \frac{L_1 - l_1}{L_1}$. Величина неявно выраженного параметра $g_{\text{н}}$ находится из трансцендентного уравнения [1]

$$\Phi(g_{\text{н}}, k) \equiv \frac{\text{cth}(\sqrt{g_{\text{н}}})}{\text{cth}(\sqrt{kg_{\text{н}}})} = \frac{\left[\frac{q_3^*(p)}{q_{\text{н}}^*(p) \text{ch}(\sqrt{g_3})} - 1 \right]}{\left[\frac{q_3^*(kp)}{q_{\text{н}}^*(kp) \text{ch}(\sqrt{kg_3})} - 1 \right]} \cdot \frac{\text{cth}(\sqrt{g_3})}{\text{cth}(\sqrt{kg_3})} \equiv \Theta_{\text{н}}(p, k). \quad (13)$$

В уравнении (13) правая часть $\Theta_n(p, k)$ находится по экспериментально рассчитанным значениям ВИХ тепловых потоков $q_s^*(p)$, $q_s^*(kp)$, $q_n^*(p)$, $q_n^*(kp)$, а также заранее определенной функции $\Phi(g_s, k) = \frac{\text{cth}(\sqrt{g_s})}{\text{cth}(\sqrt{kg_s})}$ для известных и конкретных значений p , k и a_s .

Как было сказано выше, на внешних границах измерительного устройства $x = L_n$ и $x = -L_1$ применяются специальные блоки тепловой защиты, поддерживающие адиабатические условия. Конструкция блока тепловой защиты показана на рис. 2.

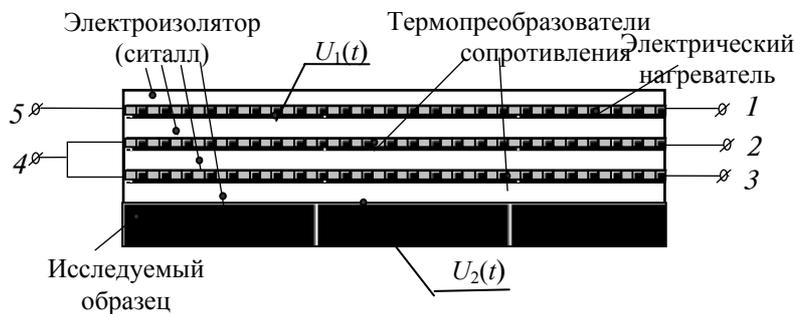


Рис. 2 Блок тепловой защиты

Блоки тепловой защиты состоят из плоского электронагревателя и двух термопреобразователей сопротивления, разделенных слоями электроизолятора (пластинами из ситалла), которые подключены в мостовую схему. В мостовой схеме выходной сигнал равен нулю при условии, что температуры на внешних плоскостях блока тепловой защиты равны, то есть $U_1(t) = U_2(t)$. Процесс поддержания равенства температур осуществляет система регулирования, реализованная на основе измерительно-вычислительного комплекса, в состав которого входят АЦП, ЦАП и персональный компьютер.

Измерительное устройство с внешней тепловой защитой разработано специально для промышленных условий контроля ТФС, так как оно автономно, мобильно и может быть сравнительно далеко вынесено от основного обрабатывающего информацию блока измерительно-вычислительного комплекса или автоматизированной системы научных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Шишкина Г. В. Методика выбора режимных и геометрических параметров средств контроля теплофизических свойств плоских образцов дисперсных материалов: Дис. ... канд. техн. наук. Тамбов: Изд-во ТГТУ. 2000. 179 с.
- 2 Власов В. В. Теплофизические измерения. Справочное пособие по методам расчета полей, характеристик теплопереноса и автоматизации измерений. Тамбов: Изд-во ТГТУ. 1975. 256 с.

Кафедра "Автоматизированные системы и приборы"

УДК 536.24.517.967

К. В. Попова*

РЕШЕНИЕ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ДЛЯ ОГРАНИЧЕННЫХ ОБРАЗЦОВ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

Существующие методы неразрушающего контроля (НК) комплекса теплофизических свойств (ТФС) твердых материалов основаны на решении краевой задачи для тел или системы тел неограниченных и полуограниченных в тепловом отношении размеров [1]. В реальных

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора А. А. Чурикова. измерительных устройствах используются строго ограниченные эталонные образцы. Для того чтобы исследовать влияние граничных условий на точность искомого ТФС рассмотрим следующую модель тепловой системы.

Полуограниченный, сплошной цилиндр I, имеющий радиус R_2 и значения теплопроводности и температуропроводности λ_1 и a_1 соответственно, соприкасается с полуограниченным телом II с теплофизическими свойствами λ_2 и a_2 (рис. 1). Между этими двумя телами расположен бесконечно тонкий источник теплового потока мощностью Q и радиусом R_1 . Плотность теплового потока, идущего в верхнее тело I - $q_1(r, t)$, а в нижнее тело II - $q_2(r, t)$.

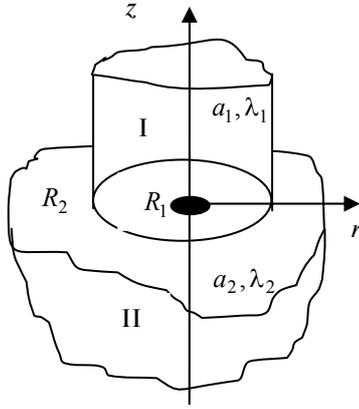


Рис. 1 Физическая модель тепловой системы

Математическое описание данной модели имеет следующий вид:

$$\frac{dU_1(r, z, t)}{dt} = a_1 \left[\frac{d^2 U_1(r, z, t)}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dU_1(r, z, t)}{dr} + \frac{d^2 U_1(r, z, t)}{dz^2} \right]; \quad (1)$$

$$(t \geq 0; 0 \leq r \leq R_2; 0 \leq z < \infty);$$

$$\frac{dU_2(r, z, t)}{dt} = a_2 \left[\frac{d^2 U_2(r, z, t)}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dU_2(r, z, t)}{dr} + \frac{d^2 U_2(r, z, t)}{dz^2} \right]; \quad (2)$$

$$(t \geq 0; 0 \leq r \leq \infty; -\infty \leq z \leq 0);$$

начальные условия:

$$\begin{cases} U_1(r, z, 0) = U_1 \\ U_2(r, z, 0) = U_2 \end{cases} \quad (3)$$

граничные условия:

$$\begin{cases} U_1(r, z, t)|_{r=R_2} = U_1 \\ U_2(r, z, t)|_{r \rightarrow \infty} = U_2 \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} U_1(r, z, t)|_{z \rightarrow \infty} = U_1 \\ U_2(r, z, t)|_{z \rightarrow -\infty} = U_2 \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} \lambda_1 \frac{dU_1(r, z, t)}{dz} \Big|_{z=0, r \leq R_1} = -q_1(r, t) \\ \lambda_2 \frac{dU_2(r, z, t)}{dz} \Big|_{z=0, r \leq R_1} = q_2(r, t) \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} \frac{dU_1(r, z, t)}{dr} \Big|_{r=0} = 0 \\ \frac{dU_2(r, z, t)}{dr} \Big|_{r=0} = 0 \end{cases} \quad (7)$$

$$U_1(r, z, t) \Big|_{R_1 \leq r \leq R_2, z=0} = U_2(r, z, t) \Big|_{R_1 \leq r \leq R_2, z=0}; \quad (8)$$

$$\frac{dU_2(r, z, t)}{dz} \Big|_{r \geq R_2, z=0} = 0. \quad (9)$$

Для упрощения решения предположим, что начальная температура в системе двух тел одинакова и равна нулю, т.е. $U_1 = U_2 = 0$.

Применим к уравнениям (1) и (2) преобразование Лапласа по переменной времени t [2]. Используя теорему дифференцирования для оригинала и начальные условия, получим следующее выражение

$$\frac{p}{a_i} U_i^l(r, z, p) = \frac{d^2 U_i^l(r, z, p)}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dU_i^l}{dr} + \frac{d^2 U_i^l}{dz^2}, \quad (10)$$

при $i = 1, 2$, где U_i^l - изображение температуры по Лапласу.

К полученному уравнению для верхнего тела ($i = 1$) относительно r и z применим конечное преобразование Ханкеля по переменной радиуса r .

Прямое интегральное преобразование Ханкеля имеет вид

$$U^{lh}(\beta_n, z, p) = \int_0^{R_2} r K_\nu(\beta_n, r) U^l(r, z, p) dr,$$

где, $K_\nu(\beta_n, r)$ - ядро конечного преобразования Ханкеля; p, β_n - параметры преобразований Ханкеля и Лапласа.

Таким образом после преобразования уравнения (10) краевая задача в области преобразований Лапласа и Ханкеля имеет следующий вид:

$$U_{1zz}^{lh}(\beta_n, z, p) - \left(\frac{p}{a_1} + \beta_n^2 \right) U_1^{lh}(\beta_n, z, p) = 0; \quad (11)$$

$$U_1^{lh}(\beta_n, z, p) \Big|_{z \rightarrow \infty} = 0; \quad (12)$$

$$\lambda_1 U_{1z}^{lh}(\beta_n, z, p) \Big|_{r \leq R_1, z=0} = -q_1^{lh}(\beta_n, p). \quad (13)$$

Получили обычное линейное дифференциальное уравнение второго порядка (11) с граничными условиями (12) и (13).

При реальной организации процесса наиболее просто создать условия в области $0 \leq r \leq R_1$ плоскости $z = 0$, при которых плотность теплового потока q_1 будет постоянна по координате, т.е. $q_1(r, t) = q_1(t)$. Решив уравнение (11) с использованием граничных условий [4] получим окончательное решение в виде

$$U_1^{lh}(\beta_n, z, p) = \frac{q_1^l(p)}{\lambda_1} \frac{R_1}{\beta_n} J_1(\beta_n R_1) \frac{1}{\sqrt{\frac{p}{a_1} + \beta_n^2}} \exp\left(-z \sqrt{\frac{p}{a_1} + \beta_n^2}\right). \quad (14)$$

Рассмотрим нижнее тело II ($i = 2$). К уравнению (10) преобразованному по Лапласу применим бесконечное преобразование Ханкеля по координате r и получим следующую краевую задачу:

$$U_{2zz}^{lh}(S, z, p) - \left(\frac{p}{a_2} + S^2 \right) U_2^{lh}(S, z, p) = 0; \quad (15)$$

$$U_2^{lh}(S, z, p) \Big|_{z \rightarrow \infty} = 0; \quad (16)$$

$$\lambda_2 U_{2z}^{lh}(S, z, p) \Big|_{r \leq R_1, z=0} = -q_2^{lh}(S, p). \quad (17)$$

Окончательно уравнение (15) примет следующий вид

$$U_2^{lh}(S, z, p) = \frac{q_2^l(p)}{\lambda_2} \frac{R_1}{S} J_1(SR_1) \frac{1}{\sqrt{\frac{p}{a_2} + S^2}} \exp\left(z \sqrt{\frac{p}{a_2} + S^2}\right). \quad (18)$$

Таким образом мы получили решения краевой задачи для полуограниченного и ограниченного тел в области преобразований Лапласа и Ханкеля. Решения имеют общий вид, что позволит нам использовать одни и те же расчетные зависимости для определения комплекса ТФС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Чуриков А. А. и др. Методы и устройства неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов массивных тел. Власов В. В., Шаталов Ю. С. // Измерительная техника. 1980., № 6. С. 42 - 45.
- 2 Деч Г. Руководство к практическому применению преобразования Лапласа. 2-е изд. / Пер. с нем. Г. А. Вольперта. М.: Наука, 1965. 228 с.
- 3 Беляев Н. В., Рядно А. А. Методы нестационарной теплопроводности: Учеб. пособие для вузов. М.: Высш. школа, 1978. 328 с.
- 4 Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Пер. с англ. И. Г. Арамановича / под ред. И. Г. Арамановича. М.: Наука, 1968. 720 с.

КАФЕДРА "АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ И ПРИБОРЫ"

УДК 678.029.983:536.2.08

*А. А. Балашов, С. С. Никулин,
А. В. Чех, Н. Ф. Майникова*

МЕТОД КОНТРОЛЯ СТРУКТУРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В ПОЛИМЕРАХ. ЭТАП ИМИТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Рассматривается метод контроля структурных превращений (на примере твердофазных полиморфных переходов) в полимерах. Метод реализован с помощью измерительно-вычислительной системы, конструкция и принцип работы которой детально описаны в работе [1].

Тепловое воздействие на исследуемое тело, с равномерным начальным температурным распределением, осуществляется с помощью круглого плоского нагревателя постоянной мощности радиусом R , м. В эксперименте фиксируется температура поверхности исследуемого тела в центре нагревателя. Нагреватель с удельной поверхностной мощностью q , Вт/м² имеет теплоемкость c_n , Дж/(м³К).

На термограмме вне зоны структурного перехода первому участку соответствует одномерное температурное поле. Тепловой поток, поступающий в исследуемое тело, изменяется во времени, так как нагреватель обладает инерционностью и присутствует термическое сопротивление между нагревателем и исследуемым телом. Последующему участку термограммы ("рабочему") отвечает одномерное температурное поле в теле, но процесс проходит стадию регуляризации. Тепловые потоки, поступающие в исследуемое тело и зонд, практически становятся постоянными. Третьему участку термограммы соответствует двухмерное температурное поле, поскольку нельзя пренебречь распространением тепла в радиальном направлении. Тепловой поток q , поступающий в исследуемое тело, снова становится переменным.

Расчетные выражения, описывающие термограмму на рабочем участке до момента возможного твердофазного превращения (T_1) и после его завершения (T_2) для поверхностного слоя, имеют вид [1]:

$$\begin{aligned} T_1 &= \frac{2q\sqrt{\tau}}{\varepsilon_1\sqrt{\pi}} - \frac{qc_n}{\varepsilon_1^2} + \frac{qc_n}{\varepsilon_1^2} \exp\left[\frac{\varepsilon_1^2}{c_n^2}\tau\right] \operatorname{erfc}\left[\frac{\varepsilon_1}{c_n}\sqrt{\tau}\right], \\ T_2 &= \frac{2q\sqrt{\tau}}{\varepsilon_2\sqrt{\pi}} - \frac{qc_n}{\varepsilon_2^2} + \frac{qc_n}{\varepsilon_2^2} \exp\left[\frac{\varepsilon_2^2}{c_n^2}\tau\right] \operatorname{erfc}\left[\frac{\varepsilon_2}{c_n}\sqrt{\tau}\right]. \end{aligned} \quad (1)$$

В области больших значений $\frac{\varepsilon_{1,2}}{c_n}\sqrt{\tau}$, с учетом теплоотдачи в материал подложки зонда, изменения температуры образца $T_{1,2}$ преобразуются к виду

$$T_{1,2} = \frac{2qz_1}{(\varepsilon_1 + \varepsilon')\sqrt{\pi}} - \frac{qc_n}{(\varepsilon_1 + \varepsilon')^2}, \quad (2)$$

где $z_1 = \sqrt{\tau}$, τ - время, с; $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon'$ - тепловые активности исследуемого материала (до и после структурного перехода) и материала подложки зонда, Вт · с^{0,5}/(м² · К).

Выражение (2) можно записать в виде

$$T(z_1) = d_1 z_1 + d_0, \quad (3)$$

где значения d_1, d_0 определяют из термограммы.

Так как модель (3) соответствует рабочему участку термограммы, то погрешности определения коэффициентов d_1 и d_0 на этом участке будут постоянными. Вне рабочего участка, при условии отсутствия структурного перехода, функции монотонные. Разработана методика определения границ рабочего участка [2]. При структурном переходе (твердофазное превращение из одной кристаллографической модификации в другую сопровождается тепловым эффектом) погрешности определения коэффициентов d_1 и d_0 будут резко возрастать в узком температурном интервале ($T_n \pm \Delta T$). Построив зависимость между одним из параметров $S_{d_1}^2$ и $S_{d_0}^2$ (дисперсии коэффициентов d_1 и d_0) и температурой (T_s - средняя температура изделия, например, из $k = 5$ измерений) в точке контроля, по характерным пикам определяют интервалы превращений.

Параметры $S_{d_1}^2$ и $S_{d_0}^2$ рассчитывают по формулам:

$$S_{d_1}^2 = \frac{S_{T_i}^2}{\sum_{j=i-\frac{(k-1)}{2}}^{i+\frac{(k-1)}{2}} (\sqrt{j\Delta\tau} - \bar{z}_i)^2}, \quad S_{d_0}^2 = S_{T_i}^2 \left[\frac{1}{k} + \frac{\bar{z}_i^2}{\sum_{j=i-\frac{(k-1)}{2}}^{i+\frac{(k-1)}{2}} (\sqrt{j\Delta\tau} - \bar{z}_i)^2} \right],$$

$$S_{T_i}^2 = \frac{1}{k-2} \left\{ \sum_{j=i-\frac{(k-1)}{2}}^{i+\frac{(k-1)}{2}} (T_j - \bar{T}_i)^2 - \frac{\left[\sum_{j=i-\frac{(k-1)}{2}}^{i+\frac{(k-1)}{2}} T_j (\sqrt{j\Delta\tau} - \bar{z}_i) \right]^2}{\sum_{j=i-\frac{(k-1)}{2}}^{i+\frac{(k-1)}{2}} (\sqrt{j\Delta\tau} - \bar{z}_i)^2} \right\},$$

где $\bar{z}_i = \frac{1}{k} \sum_{j=i-\frac{(k-1)}{2}}^{i+\frac{(k-1)}{2}} \sqrt{j\Delta\tau}$, $\bar{T}_i = \frac{1}{k} \sum_{j=i-\frac{(k-1)}{2}}^{i+\frac{(k-1)}{2}} T_j$, T_j - температура на j шаге измерения, $\Delta\tau$ - промежуток времени, через который

производятся измерения, k - целое положительное нечетное число большее 3, $i - k \dots n$, целое.

С целью получения предварительного подтверждения основных идей, заложенных в предлагаемый метод, выполнено имитационное исследование. С учетом теплофизических свойств (ТФС) материалов и конструктивных характеристик зонда исследованы диапазоны: коэффициента тепловой активности $400 \leq \varepsilon \leq 1400$; теплового потока $1,0 \cdot 10^4 \leq q \leq 3,0 \cdot 10^4$; теплоемкости нагревателя $400 \leq c_n \leq 600$.

Вне зоны структурного перехода формулы (1) принимают вид

$$T(0, \tau) = a_1 \sqrt{\tau} - a_0 (1 - \exp[a_2^2 \tau] \operatorname{erfc}[a_2 \sqrt{\tau}]), \quad (3)$$

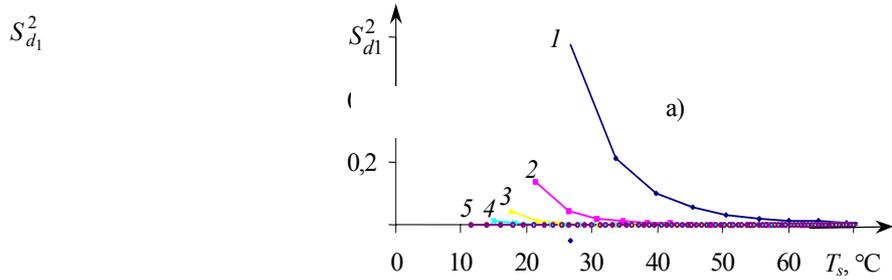
Полученные данные (рис. 1, 2) позволяют определять диапазон температур, где возможна регистрация структурного перехода по параметрам $S_{d_1}^2$ и $S_{d_0}^2$, в зависимости от ТФС материала при различных величинах q и c_n .

Для построения имитационных зависимостей $S_{d_1}^2 = f(T_s)$ и $S_{d_0}^2 = f(T_s)$ при наличии структурного превращения используем термограмму, рассчитанную по формуле (3) при $\varepsilon = 460$ для зонда с нагревателем, радиус которого $R = 4 \cdot 10^{-3}$, при $c_n = 420$ из нихрома и $q = 15\,600$, соответствующей мощности нагревателя равной 0,6 Вт. Тогда: $a_0 = 31$; $a_1 = 38$; $a_2 = 1,1$.

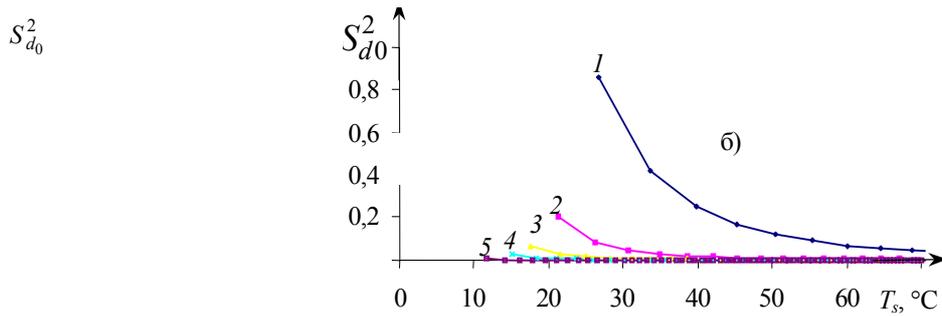
Предполагаем, что ошибка измерения температуры ΔT является случайной величиной, описываемой нормальным законом распределения. Дисперсия ошибки измерения температуры $\sigma_{\Delta T}^2 = 0,1$ °С. При структурном переходе дисперсия ошибки измерения температуры, вследствие несоответствия теоретической модели реальному протеканию процесса, будет увеличиваться. В области структурного перехода $T_n \pm 2$ °С добавляется случайная ошибка с большей дисперсией

$$\sigma_{\Delta T_{\text{п}}}^2 = 2,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

На рис. 3 представлены зависимости $S_{d_1}^2 = f(T_s)$ и $S_{d_0}^2 = f(T_s)$, построенные при имитационном исследовании ($T_{\text{п}} = 30 \pm 2^\circ\text{C}$, T_s - среднее значение температуры из k измеренных значений, где $k = 5$).



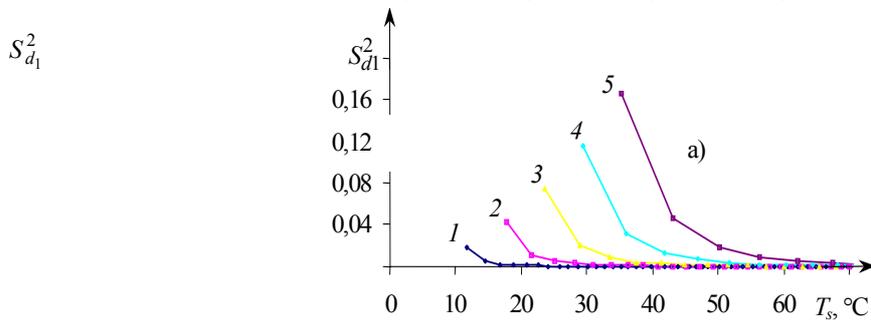
a)



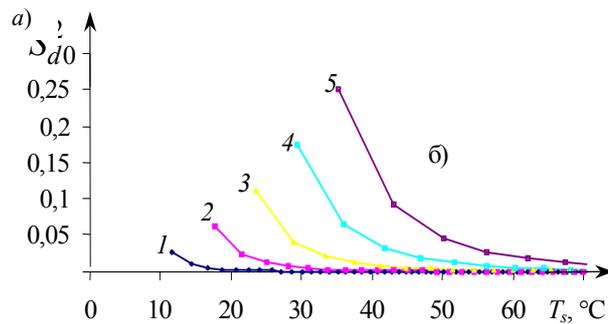
б)

Рис. 1 Зависимости:

а) $S_{d_1}^2 = f(T_s)$ и б) $S_{d_0}^2 = f(T_s)$ при $q = 15\ 000$ и различных ε :
 1 - $\varepsilon = 400$; 2 - $\varepsilon = 600$; 3 - $\varepsilon = 800$; 4 - $\varepsilon = 1000$; 5 - $\varepsilon = 1400$



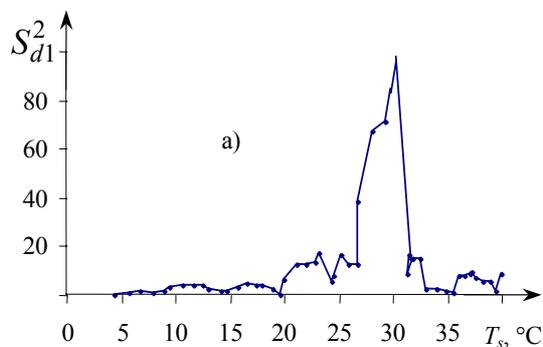
$S_{d_0}^2$



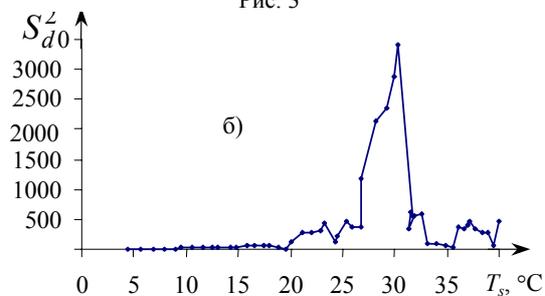
б)

Рис. 2 Зависимости:

а) $S_{d_1}^2 = f(T_s)$ и б) $S_{d_0}^2 = f(T_s)$ при $\varepsilon = 800$ и различных $q \cdot 10^4$:
 1 - 1,0; 2 - 1,5; 3 - 2,0; 4 - 2,5; 5 - 3,0

S_{d1}^2 

а)

 S_{d0}^2 

б)

Рис. 3

Продолжение рис. 3 Зависимости:

а) $S_{d1}^2 = f(T_s)$ и б) $S_{d0}^2 = f(T_s)$ при $q = 15\ 000$, $\varepsilon = 420$, $\lambda = 0,25$, $T_n = 30 \pm 2\ ^\circ\text{C}$

На основании результатов имитационного исследования можно сделать следующие выводы: режимные параметры процесса измерения и геометрические размеры зонда должны назначаться в зависимости от ТФС исследуемых материалов и требуемого температурного диапазона исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 МАЙНИКОВА Н. Ф., МУРОМЦЕВ Ю. Л., РОГОВ И. В. И ДР. // ПЛАСТИЧЕСКИЕ МАССЫ. 2001, № 2. С. 30 - 33.
- 2 РОГОВ И. В., БАЛАШОВ А. А., МАЙНИКОВА Н. Ф. // ТРУДЫ ТГТУ. 2000, № 5. С. 79 - 80.

Кафедра "Гидравлика и теплотехника"

УДК 621.43:629.114.2:62

С. В. КОЧЕРГИН*

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЕ САМОРЕГУЛИРУЕМОЕ УСТРОЙСТВО ЭЛЕКТРОПОДОГРЕВА МОТОРНОГО МАСЛА ДЛЯ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

В зимний период температура окружающей среды на 96,2 % территории России достигает $-20\ ^\circ\text{C}$, на 42,6 % территории $-25\ ^\circ\text{C}$ и на 10 % территории $-40\ ^\circ\text{C}$ или $45\ ^\circ\text{C}$ [1].

При низкой температуре окружающего воздуха изменяются свойства эксплуатационных материалов (масел, топлива, охлаждающих жидкостей), находящихся в автомобиле, в результате чего создаются неблагоприятные условия для работы его основных механизмов, особенно двигателя [1].

Условия эксплуатации двигателей внутреннего сгорания (ДВС) начинают ухудшаться, когда температура окружающего воздуха становится меньше $-5\ ^\circ\text{C}$ [1].

При работе тракторов и автомобилей на холоде повышается вязкость (вплоть до застывания) масла в картерах, фильтрах, а также на поверхности ряда деталей.

Понижение температуры моторного масла от 50 до $-30\ ^\circ\text{C}$ увеличивает его вязкость более чем в 900 раз, а сопротивление проворачиванию коленчатого вала в 3 - 5 раз [2].

В условиях низких температур окружающего воздуха скорость износа деталей двигателя при пуске значительно превышает скорость их износа при работе на номинальном режиме. Одна из причин повышения износа при пуске - несоответствие режима работы условиям смазывания. Процесс пуска, как неустановившийся режим работы, сопровождается повышенными показателями рабочего процесса с одновременной задержкой поступления смазки к трущимся деталям [2].

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора

В. Ф. Калинина и д-ра техн. наук А. М. Шувалова.

Пуск двигателей без подогрева при особо низких температурах может привести к повреждению вкладышей подшипников и шеек коленчатого вала, а также к быстрому износу деталей цилиндропоршневой группы [2].

Из вышеизложенного следует, что работоспособность машины в зимний период может быть обеспечена только при выполнении определенных требований по подготовке их к работе. Наиболее необходимым является прогрев блока цилиндров и масла перед запуском машины.

Для предпускового подогрева используются различные теплоносители: горячая вода, пар, горячий воздух, электроэнергия.

В предлагаемой исследовательской работе планируется исследование работы саморегулируемого устройства электроподогрева моторного масла, определение его оптимальных параметров, а также исследование тепломассообменных процессов и неравномерности подогрева при низких температурах окружающей среды.

Целью работы является повышение эффективности тепловой предпусковой подготовки ДВС и снижение энергозатрат в результате применения саморегулируемого устройства электроподогрева моторного масла.

Недостатком традиционной системы предпускового электроподогрева с применением ТЭНов и других нагревателей является использование дорогостоящей и сложной системы автоматического регулирования, которая, как правило, не вписывается в энергобаланс автомобиля.

Для устранения этого недостатка разработано саморегулируемое устройство электроподогрева моторного масла (рис. 1).

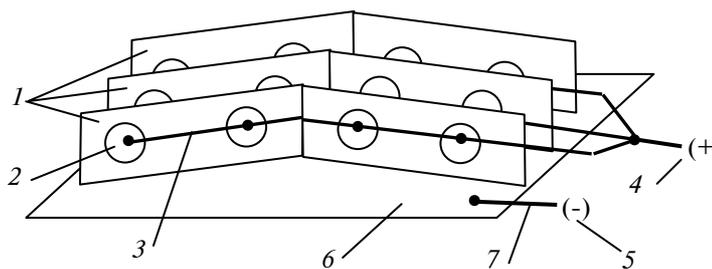


РИС. 1 КОНСТРУКЦИЯ САМОРЕГУЛИРУЕМОГО УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОПОДОГРЕВА МОТОРНОГО МАСЛА

Устройство устанавливается в поддон картера ДВС близко к маслозаборнику. Благодаря свойствам саморегулирования и низкого энергопотребления, предпусковой подогрев моторного масла осуществляется от аккумуляторной батареи в течение 10 - 15 минут перед пуском двигателя, не снижая ресурс аккумулятора.

Устройство выполнено в виде радиатора с вертикальными пластинами 1, на которых закреплены позисторы 2, напряжение к позисторам подводится через токоведущий провод 3, подключенный к плюсовой (+) клемме 4 аккумулятора. Минусовая (-) клемма источника питания 5 подводится к горизонтальной пластине 6 через провод 7.

Разработанное саморегулируемое устройство электроподогрева построено на самостабилизирующихся нагревательных элементах (позисторах), отличающихся от традиционных нагревателей тем, что выполнены на основе полупроводниковой керамики, обладающей положительным температурным коэффициентом сопротивления, т.е. при подаче тока на нагревательные элементы они нагреваются до расчетной температуры (точка переключения), после которой резко растет сопротивление структуры и позисторы "запираются". При этом мощность устройства подогрева падает до величины зависящей от следующих параметров: температуры, вязкости моторного масла, способа крепления позисторов к корпусу устройства, площади теплоотдающей поверхности устройства. Дальнейшее изменение мощности устройства зависит от температуры позисторов и моторного масла, т.е. по мере разогрева мощность уменьшается пропорционально увеличению температуры моторного масла. Таким образом обеспечивается режим саморегулирования.

В результате проведенных исследований выявлен характер изменения сопротивления позистора от его температуры в моторном масле (рис. 2). Аналитическое выражение функции $R_n = f(t_n)$ на участке (1-2) [3]

$$\lg R_n = B_1/t_n + B_2, \quad (1)$$

где R_n - сопротивление позистора, Ом; t_n - температура позистора, °C; B_1, B_2 - постоянные коэффициенты.

На участке (2-3) выражение для функции $R_n = f(t_n)$ имеет вид [5, 6]

$$\lg R_n = \alpha t_n + B, \quad (2)$$

где α - температурный коэффициент сопротивления, % / °C; B - постоянный коэффициент.

Заданная в структуре полупроводникового нагревательного элемента расчетная для каждого вида подогревателя точка переключения (на рис. 2 точка (2)), предотвращает нагрев моторного масла выше температуры при которой возможно его воспламенение или пригорание, поэтому исключается возможность пригорания моторного масла на поверхности нагревательного элемента.

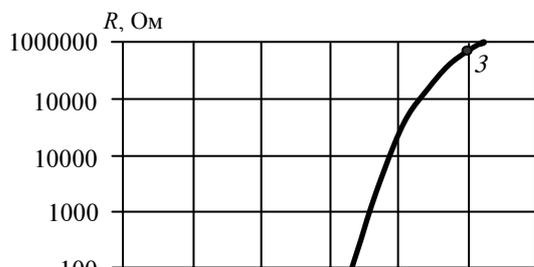


Рис. 2 Изменение сопротивления позистора от его температуры

Достоинства применения саморегулируемого устройства, построенного на полупроводниковых нагревательных элементах:

- 1 Нет необходимости использования сложной и дорогостоящей системы автоматического регулирования.
- 2 Отсутствие опасности перегрева. Пожаробезопасность.
- 3 Кпд близкий к 99 %, обеспечивает малое энергопотребление от аккумуляторных батарей во время предпускового подогрева.
- 4 Изменение потребляемой мощности в зависимости от условий отбора тепла.
- 5 Долгий срок службы.
- 6 Большое выделение тепла на единицу площади.
- 7 Быстрое нарастание температуры.

Как показывают испытания автомобиля согласно Правил 83 ЕЭК ООН, применение подогревателей моторного масла позволяет сократить выбросы вредных веществ на режимах пуска и прогрева примерно в два раза и делает возможным достижения показателей двигателя соответствующих нормам Евро-3.

Указанные преимущества саморегулируемого устройства электроподогрева моторного масла в ДВС подтверждают актуальность вышеизложенной работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Цуцоев В. И. Зимняя эксплуатация тракторов. М.: Высшая школа, 1983. 120 с.
- 2 Семенов В. М., Власенко В. Н. Трактор. М.: Агропромиздат, 1989. 352 с.
- 3 Мэклин Э. Д. Терморезисторы: Пер. с англ. / Под общ. ред. К. И. Мартюшова // М.: Радио и связь. 1983. 208 с.

КАФЕДРА "ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ"

УДК 697.243.34:664.788.3

А. В. Самодуров

К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ УСТРОЙСТВА, ИСПОЛЗУЮЩЕГО В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ РАСТИТЕЛЬНЫЕ ОТХОДЫ

Все процессы, связанные с хозяйственной деятельностью человека, сопровождаются потреблением энергии различных видов. В нашей стране огромное значение имеет рациональное использование топливно-энергетических ресурсов в сельском хозяйстве. В настоящее время доля энергозатрат в себестоимости сельскохозяйственной продукции составляет до 30 % для продукции животноводства и до 40 % для продукции, выращиваемой в тепличных хозяйствах [1]. В нашей стране энергоемкость продукции сельского хозяйства в 2 - 5 раз выше по сравнению с развитыми европейскими странами, США и Канадой [2]. Отсутствие газификации во многих районах нашей страны также оказывает негативное влияние на производительность сельскохозяйственного производства. В связи с этим возникает необходимость в поиске более дешевых

и доступных для потребителей источников энергии, которые позволили бы частично или полностью покрыть потребности сельского хозяйства в энергии.

Одним из таких источников энергии может стать растительное топливо. Энергию, получаемую от его сжигания, можно использовать для сушки сельскохозяйственной продукции и отопления производственных помещений. К его несомненным достоинствам можно отнести доступность для сельскохозяйственных потребителей, дешевизну, а также, что немаловажно, экологичность.

В настоящее время мировое использование растительной массы на энергетические цели достигает 1 млрд. т условного топлива, что эквивалентно 25 % мировой добычи нефти. В то же время потенциальные ресурсы растительной массы для энергетического использования достигают в пересчете на нефтяной эквивалент 70 ... 80 млрд. т.

В связи с этим в ряде стран мира (Россия, США, Канада и др.) принимаются специальные программы по использованию растительной массы в энергетических целях.

Так, например, в Российской Федерации ресурсы растительной массы составляют около 1 млрд. тонн условного топлива в год и поэтому в качестве одного из приоритетных направлений в энергетической политике страны считается использование энергетического потенциала растительной массы [6].

На мировой рынок поступают различные теплогенераторы, работающие на растительных отходах. Но при этом возникают задачи изыскания наиболее эффективных методов использования этих отходов и разработки соответствующих топочных устройств [3].

Для небольших котельных и сельскохозяйственных теплогенераторов растительным топливом могут быть отходы уборки, обработки и переработки культурных растений, материалы очистки лесов, остатки переработки древесины. В сельскохозяйственном производстве ежегодно накапливаются значительные количества отходов. Так, например, среднее количество растительных отходов по отношению к массе собранного урожая составляет следующую величину: пшеница - 175 %; кукуруза - 120 %; рис - 180 %; соевые бобы - 260 %; хлопок - 300 % [6].

Существующие на сегодняшний день топочные устройства на растительных отходах используют в основном солому, лузгу и стебли подсолнечника, стержни початков и стебли кукурузы, а также древесные отходы. Актуальной задачей на сегодняшний день является использование в качестве топлива мелкозернистых растительных отходов - гречневой лузги.

Выход гречневой лузги при переработке составляет примерно 19 - 27 %. По предварительным экспериментальным данным 4,4 кг гречневой лузги эквивалентны 1 кг жидкого топлива. На сегодняшний день для производства пара, а также для сушки гречневой крупы используются топки на газе, жидком топливе или электрокалориферы. Применение гречневой лузги в качестве топлива позволит сократить затраты жидкого топлива и электроэнергии, а возможно и полностью исключить эти виды топлива на отдельных этапах технологического процесса производства гречневой крупы. Сжигание гречневой лузги решает также проблему ее утилизации на линиях производства гречневой крупы. Кроме того зола получаемая при сжигании гречневой лузги является ценным удобрением.

ВИИТиНом разрабатывается топочное устройство для сжигания таких мелкозернистых растительных отходов, как лузга гречихи. Растительные отходы загружают в бункер 1 (см. рис. 1), из которого они посредством пневмозабрасывателя 2 подаются в камеру сгорания 3, где происходит их горение на колосниковой решетке 4. Конструкцией колосниковой решетки предусмотрена возможность изменения сечения проходных отверстий подачи воздуха с целью выравнивания его расхода по площади колосниковой решетки. Подача воздуха на процесс горения и для работы пневматического забрасывателя осуществляется от одного вентилятора 5 и регулируется клапанами 6 и 7. Подача топлива регулируется задвижкой 8.

Очевидно, что использование мелкозернистых растительных отходов в качестве топлива позволило бы получить значительный экономический и экологический эффект. В литературе отсутствуют сведения по применению технических средств для сжигания таких отходов как гречневая лузга [4, 5].

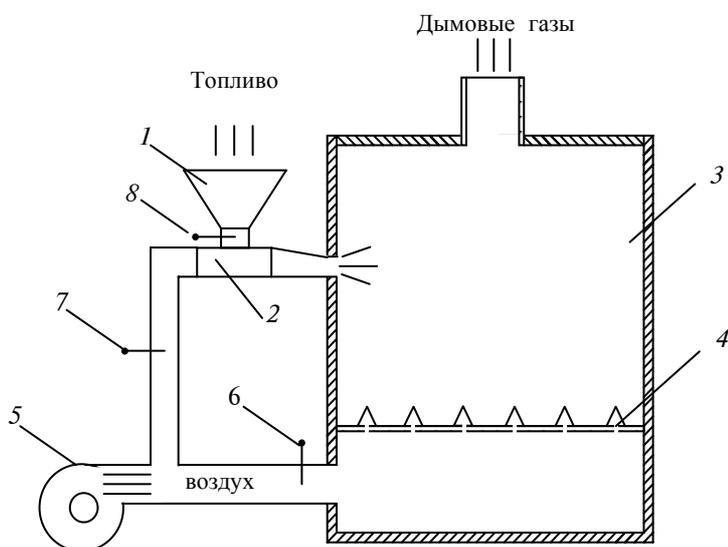


Рис. 1 Конструктивная схема

Поэтому разработка устройства, использующего в качестве топлива мелкозернистые растительные отходы, является целесообразной и экономически выгодной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кормановский Л. П. Энергоресурсосбережение - стратегическая задача инженерной науки и практики // Тезисы докладов международной научно-технической конференции. М.: РАСХН. 1998. С. 3 - 5.
- 2 Стребков Д. С. Энергетическое обеспечение и энергосбережение в АПК // Тезисы докладов международной научно-технической конференции. М.: РАСХН. 1998. С. 5 - 7.
- 3 Анискин В. И., Голубкович А. В. Свойства растительных отходов как возобновляемого топлива для теплогенераторов сельскохозяйственного назначения // Тезисы докладов международной научно-технической конференции. М.: РАСХН. 1998. С. 205 - 207.
- 4 Анискин В. И., Голубкович А. В., Петров Е. В., Сотников В. И. Топочные устройства на растительных отходах // ВИМ. Техника в сельском хозяйстве. № 2. 1999. С. 27 - 30.
- 5 Зысин Л. В., Кошкин Н. Л. Некоторые итоги применения растительной биомассы в энергетике развитых стран // Теплоэнергетика, № 4. 1997.
- 6 Пермяков Б. А., Журавский Г. И., Аристархов Д. В., Сергеев С. М. Разработка и исследование энерго- и ресурсосберегающих технологий получения топлива из растительной массы // Всероссийский НИИ электрификации сельского хозяйства. Труды 2-й Международной конференции "Энергосбережение в сельском хозяйстве", 13 - 15 октября 2000 г. Ч. 2. М.: ВИЭСХ, 2000. С. 527.

КАФЕДРА "ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ"

УДК 621:681.3.06

*А. А. Кабанов**

проектирование ГИБРИДНЫХ оптимальных регуляторов В среде ТРЕЙС МОУД

Технические возможности современных микропроцессорных управляющих устройств позволяют реализовывать оптимальные регуляторы (ОР) с широкими функциональными возможностями. Используемые в настоящее время оптимальные регуляторы обычно минимизируют квадратичный функционал [1]. Достоинством регуляторов с таким функционалом является быстрое уменьшение ошибки рассогласования. Однако, с точки зрения затрат энергии реализуемая при этом динамика энергоемкого объекта не является оптимальной. Поэтому проблемы получения и отладки программ для контроллеров, которые могут синтезировать в реальном времени управляющие воздействия, минимизирующие энергозатраты с учетом реальных ограничений являются актуальными.

На сегодняшний день существует множество SCADA систем разработки АСУТП, одним из отечественных наиболее популярных в этой области является инструментальная программа ТРЕЙС МОУД [2]. Недостаточное освещение вопросов конструирования энергосберегающих регуляторов делает актуальным построение гибридных оптимальных регуляторов (ГОР) в среде ТРЕЙС МОУД. Их задачами является выход на заданный режим за ограниченное время с минимумом энергозатрат и последующей стабилизацией состояния.

Пакет программ ТРЕЙС МОУД позволяет оперативно создавать электронные макеты систем оптимального управления и отлаживать их в режиме реального времени. Его база данных содержит необходимые компоненты для построения АСУТП, однако, блоков оптимальных регуляторов стандартный набор не имеет. Основу инструментальной среды ТРЕЙС МОУД составляют редакторы базы каналов и представления данных. В редакторе базы каналов создается математическая основа системы управления, а в редакторе представления данных разрабатывается графическая часть проекта.

В общем случае задачу, решаемую гибридным оптимальным регулятором, можно представить в виде:

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора Ю. Л. Муромцева.

$$\dot{z} = Az(t) + Bu(t), \quad \forall t \in [t_0, t_k]: \quad u(t) \in [u_n, u_b], \quad (1)$$

$$z(t_0) = z_0 \rightarrow z(t_k) = z_k, \quad (2)$$

$$u(t) = \begin{cases} u^*(t), & t < t_{\text{пер}} - \delta t; \\ u_p(t), & t \geq t_{\text{пер}} - \delta t. \end{cases} \quad (3)$$

где A, B - матрицы параметров модели; $z(t)$ - текущее значение фазовой координаты, z_0, z_k - начальное и конечное значение фазовой координаты; t_0, t_k - начальное и конечное значение времени; $u(t)$ - управление, u_n, u_b - границы управления; $u^*(t), u_p(t)$ - оптимальное управление в режимах выхода на требуемое значение и стабилизации соответственно, δt - шаг дискретизации; $t_{\text{пер}}$ - время действия оптимизирующей части ГОР.

Для решения задачи (1) - (3) задается массив исходных данных

$$R = (a, b, t_0, t_k, t_{\text{пер}}, z_0, z_k, u_n, u_b), \quad (4)$$

где a, b - параметры модели.

Структура ГОР выполнена из двух последовательных частей: первая представляет собой ОР, который обеспечивает выход на заданный режим за ограниченное время с минимумом энергозатрат; вторая используется для стабилизации требуемой величины при стационарном режиме.

Например, для объекта первого порядка, модель которого в дискретной форме имеет вид:

$$z(t_{n+1}) = \alpha z(t_n) + \beta u(t_n), \quad t_{n+1} = t_n + \delta t, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (5)$$

$$\alpha = e^{a\delta t}, \quad \beta = -\frac{b}{a}(1 - e^{a\delta t}), \quad (6)$$

где $z(t_n), u(t_n)$ - текущие значения фазовой координаты и управления на n -ом шаге оптимальное управление для выхода на заданный режим за ограниченное время с минимумом энергозатрат рассчитывается по формуле

$$u^*(t_n) = \frac{2a z_k e^{-a(t_{\text{пер}} - t_n)} - z(t_n)}{b(1 - e^{-2a(t_{\text{пер}} - t_n)})}, \quad (7)$$

а для стабилизации режима применяется ПИ регулирование

$$u_p(t_n) = K_p \Delta z(t_n) + \frac{K_p}{T_i} \sum_{t_i=t_0}^{t_i=t_n} \Delta z(t_i), \quad (8)$$

где K_p - коэффициент усиления регулятора; T_i - время изодрома; $\Delta z(t_n)$ - текущие рассогласование выходной величины объекта и заданного значения на n -ом шаге.

Энергозатраты будут определяться функционалом

$$I_3 = \int_{t_0}^{t_k} u^2(t) dt \rightarrow \min_u \quad \text{или} \quad I_3 = \sum_{t_i=t_0}^{t_i=t_k} u_i^2(t_i) \delta t, \quad (9)$$

где первое выражение - функционал в непрерывной форме, а второе выражение - в дискретной.

Преимуществом ГОР перед обычными регуляторами, является его универсальность и устойчивая работа при изменяющихся состояниях функционирования. Настройка оптимизирующей части включает в себя лишь установку параметров модели объекта и других исходных данных.

В редакторе базы каналов ТРЕЙС МОУД при помощи языка Техно FBD создана диаграмма из блоков, реализующая алгоритм ГОР (рис. 1). Блоки объекта и регулятора запрограммированы на языке инструкций Техно IL.

Верхняя линейка блоков (рис. 1) представляет собой оптимальный регулятор, выполняющий выход на заданный режим за ограниченное время. Нижняя линейка блоков реализует стабилизирующий ПИ-регулятор.

Схема рис. 1 содержит блоки: расчета функционала (**I(t)**), оптимального регулятора (**OptReg**), объекта (**Objekt**), отображения (**Sfload**), сравнения (-), ПИ регулятора (**PID**), согласования (**soglas**).

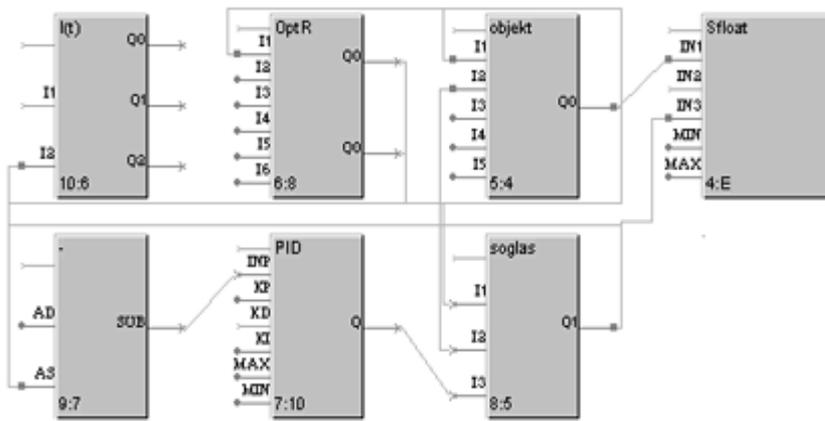


Рис. 1 Диаграмма блоков ГОР

В режиме эмуляции можно контролировать и изменять все переменные и визуально наблюдать переходные процессы. ТРЕЙС МОУД также дает возможность архивации данных в текстовый файл, что удобно для анализа.

Выходные величины ПИ-регулятора и ГОР поступают на входы блока расчета функционала $I(t)$, подсчитывающего суммарные энергозатраты. Это позволяет наглядно сравнить работу традиционного ПИ и гибридного оптимального регуляторов. При регулировании выходной величины с 80 до 100 ед. затраты энергии ПИ-регулятора составили $I_1 = 94826$ ед., а ГОР $I_2 = 85343$ ед., экономия при этом 10 %.

Системы энергосберегающего управления, алгоритмическое обеспечение для которых разрабатывается с помощью экспертной системы "Энергосберегающее управление динамическими объектами" и программное обеспечение с помощью среды ТРЕЙС МОУД, используются в лабораторных установках по управлению сушильными камерами, тепловыми аппаратами и электродвигателями.

Применение гибридного оптимального регулятора является более эффективным, по сравнению с традиционным регулятором. Энергозатраты при переходном процессе сокращаются примерно на 5 - 15 %. Использование инструментальной среды ТРЕЙС МОУД не только облегчает настройку и отладку систем регулирования, но и позволяет оперативно сопоставлять различные стратегии управления и выбирать лучшую. Использование ГОР для управления электроприводами, сушильными камерами, тепловыми установками, транспортными средствами и другими массовыми объектами обеспечит не только экономию энергозатрат в динамических режимах, но и повысит их долговечность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Красовский А. А. Обобщение задачи аналитического конструирования регуляторов при заданной работе управлений и управляющих сигналов // АиТ. 1969. № 7. С. 7 - 17.
- 2 Руководство пользователя Trace Mode/AdAastra Research Group, Ltd.
- 3 Муромцев Ю. Л., Орлова Л. П. Информационные технологии в проектировании энергосберегающих систем управления динамическими режимами: Учеб. пособ. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2000. 84 с.

Кафедра "Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем"

УДК 621.922.02.004.12

А. В. Чурилин, С. В. Балашов, Н. П. Жуков

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ТЕПЛОЕМКОСТИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ АБРАЗИВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Абразивное резание используется в металлообработке как процесс, позволяющий значительно экономичнее, чем лезвийная обработка, получать детали с заданными свойствами [1, 2]. Однако интенсивные режимы абразивной обработки зачастую недостижимы вследствие резкого возрастания тепловыделения в момент резания.

Тепловые "удары" поражают контактную поверхность материала заготовки, необратимо ухудшая ее свойства (вредные структурные изменения, нарушение сплошности кристаллической структуры, усиление диффузионных процессов, образование пограничных слоев с резко отличающимися от основного материала физико-механическими свойствами). Так как абразивная обработка, как правило, завершает многостадийный процесс изготовления деталей, то ликвидировать дефекты в большинстве случаев не представляется возможным.

Экономически целесообразно выполнять обработку на максимально возможных скоростях, что существенно повышает производительность операции. Однако, при достижении определенной скорости резания, тепловой поток превосходит свое критическое значение, за которым вероятность дефекта приближается к единице. Превентивные меры - организация

жидкостного охлаждения различными составами, лишь частично снижает теплонапряженность процесса, воздействуя на внеконтактную зону [3].

Наиболее эффективными мерами по снижению доли теплового потока в обрабатываемую заготовку являются: изыскание новых видов инструмента (прерывистые шлифовальные круги) и модифицирование широко применяемых в настоящее время кругов импрегнированием.

Известно, что при трении металлов в присутствии абразивов и полимеров последние существенно ускоряют износ, что используется для интенсификации процессов шлифования, полирования, приработки трущихся поверхностей. Износ металлов в присутствии полимеров изменяется в зависимости от энергии активации термодеструкции полимеров [4-5]. Чем эта величина меньше, тем больше при прочих равных условиях генерируется свободных радикалов, тем эффективнее разрушение металлов. Так, степень измельчения железа падает в зависимости от энергии активации термической деструкции присутствующих при этом полимеров в ряду: полиметилметакрилат, полистирол, полихлорвинил, полиизобутилен, полиэтилен, политетрафторэтилен. Таким образом, стирольные и акрилатные полимерные системы являются наиболее перспективными и предпочтительными для интенсификации процессов шлифования, полирования, приработки и др.

В качестве импрегнаторов часто применяют твердые смазки типа дисульфида молибдена, графита, гексагонального нитрида бора, а также - органические материалы типа политетрафторэтилена [6].

Предлагается способ модифицирования абразивного инструмента, согласно которому инструмент сушат, пропитывают импрегнатором, термообрабатывают. Импрегнирование осуществляют погружением инструмента в пропиточный состав, в качестве которого используют полимерную дисперсию (водную), содержащую 40 % масс сополимера этилакрилата и стирола (Эмукрил С) и мелкодисперсный графит. Содержание графита в составе дисперсии варьировали в пределах 1 - 3 % масс. Пропитку осуществляли погружением образцов, выточенных из абразивного круга марки 25A25ПСМ16К20, в ванну с комплексным импрегнатором. Во избежание нежелательного осаждения частиц графита в процессе пропитки применяли перемешивание импрегнирующего состава с помощью мешалки. Пропитку осуществляли один раз. Время пропитки - четыре часа. Затем образцы сушили в течение 24 часов при комнатной температуре и два часа в термощкафу при 110 °С.

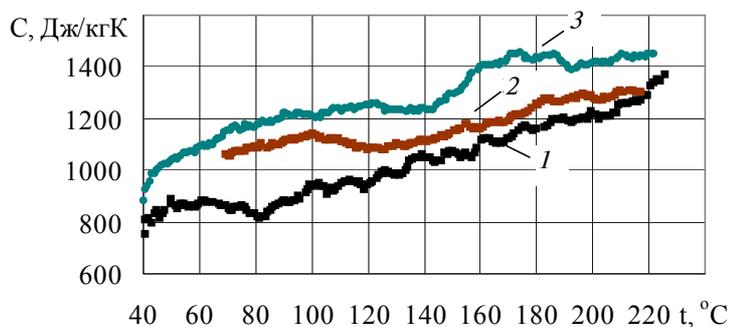


Рис. 1 Температурные зависимости теплоемкости (С, Дж/кгК) для импрегнированного абразивного круга марки 25A25ПСМ16К20. Импрегнаторы: Эмукрил С + 1 % масс. графита (1); Эмукрил С + 1,5 % масс. графита (2); Эмукрил С + 3 % масс. графита (3)

Температурные зависимости теплоемкости (С, Дж/кгК) для образцов из импрегнированного абразивного инструмента снимали с помощью измерительно-вычислительной системы [7, 8] в режиме монотонного разогрева со средней скоростью 0,1 К/с и при адиабатических условиях в зоне измерений (рис. 1).

Пропитанный комплексным импрегнатором абразивный инструмент имеет теплоемкость, возрастающую в интервале температур 40 - 220 °С с 800 до 1450 Дж/кгК. При этом, с увеличением содержания графита в составе дисперсии рост теплоемкости существеннее во всем диапазоне исследованных температур. Например, при 80 °С теплоемкость увеличивается с 800 до 1200 Дж/кгК, а при 200 °С теплоемкость увеличивается с 1200 до 1400 Дж/кгК при увеличении содержания графита с 1 % до 3 % масс..

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Сипайлов В. А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности. М.: Машиностроение, 1978. 167 с.
- 2 Якимов А. В. Оптимизация процесса шлифования. М.: Машиностроение, 1975. 176 с.
- 3 Резников А. Н. Теплофизика процессов механической обработки металлов. М.: Машиностроение, 1981. 279 с.
- 4 Гороховский Г. А. Полимеры в технологии обработки металлов. Киев.: Наукова думка, 1975. 224 с.
- 5 Барамбойм Н. К. Механохимия высокомолекулярных соединений. М.: Химия, 1974. 384 с.
- 6 Островский В. И. Импрегнированный абразивный инструмент: Обзор. М.: НИИМаш, 1983. 72 с.
- 7 Балашов С. В., Жуков Н. П., Ляшков В. И. и др. Измерительно-вычислительная система для исследования температурных зависимостей теплопроводности и теплоемкости материалов // Вестник ТГТУ. 2001. Т. 7. № 1. С. 35 - 44.

УДК 621.396.23; 681.3.06

А. И. КОЗЛОВ, Д. Ю. МУРОМЦЕВ

ОБНОВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОВ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ МНОГИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОВОДЯТ РЕИНЖИНИРИНГ (ПЕРЕПРОЕКТИРОВАНИЕ) БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ. ОСНОВНЫМИ ЭТАПАМИ ОБНОВЛЕНИЯ ЯВЛЯЮТСЯ: 1) ИЗЛОЖЕНИЕ ДОВОДОВ АКЦИИ (ОБОСНОВАНИЕ ПОТРЕБНОСТИ В ДЕЙСТВИЯХ И ФОРМУЛИРОВКА НЕОБХОДИМОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ); 2) ВЫЯВЛЕНИЕ ПРОЦЕССА, ПОДЛЕЖАЩЕГО ОБНОВЛЕНИЮ; 3) ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОБНОВЛЕНИЯ; 4) АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ПРОЦЕССА; 5) РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА НОВОГО ПРОЕКТА; 6) ВНЕДРЕНИЕ ОБНОВЛЕННОГО ПРОЦЕССА [1]. ОПЫТ РАЗВИТЫХ СТРАН ПОКАЗЫВАЕТ, ЧТО ЛИДЕРАМИ ИЗ ЧИСЛА МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ ОБНОВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ЯВЛЯЮТСЯ ИНВЕСТИРОВАНИЕ В АВТОМАТИЗАЦИЮ ОБОРУДОВАНИЯ (76 %) И СУЩЕСТВЕННОЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОТОКА НА ЗАВОДЕ (87 %) [2].

ЗАДАЧИ РЕИНЖИНИРИНГА РЕШАЮТСЯ В ТЕСНОЙ ВЗАИМОСВЯЗИ С УЛУЧШЕНИЕМ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ [3]. ВМЕСТЕ С ТЕМ ВОПРОСЫ РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПОКА НЕ ПОЛУЧИЛИ ДОСТАТОЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ В ЛИТЕРАТУРЕ ПО ОБНОВЛЕНИЮ ПРОЦЕССОВ И ВСЕОБЩЕМУ УПРАВЛЕНИЮ КАЧЕСТВОМ [1, 4]. ЭТО ОБЪЯСНЯЕТСЯ СЛЕДУЮЩИМ. ВО-ПЕРВЫХ, ТЕМ, ЧТО ПРОБЛЕМА ЭКОНОМИИ РЕСУРСОВ ВОЗНИКЛА ЗНАЧИТЕЛЬНО ПОЗДНЕЕ TOTAL QUALITY MANAGEMENT (TQM) – ВСЕОБЩЕЕ УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ (1950 – 1980 ГГ.) И С НЕКОТОРЫМ ЗАПОЗДАНИЕМ ПО ОТНОШЕНИЮ К РЕИНЖИНИРИНГУ (1980 – 1990 ГГ.). ВО-ВТОРЫХ, РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В БОЛЬШИНСТВЕ СЛУЧАЕВ ТРЕБУЕТ НАУКОЕМКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ, ЧТО СВЯЗАНО С СУЩЕСТВЕННЫМИ МАТЕРИАЛЬНЫМИ И ВРЕМЕННЫМИ ЗАТРАТАМИ.

ПРАКТИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ПЕРВЫХ ЭТАПОВ РЕИНЖИНИРИНГА БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ, ИСПОЛЮЮЩИХ ТЕПЛОВЫЕ АППАРАТЫ, ПОКАЗАЛА ВОЗМОЖНОСТЬ СУЩЕСТВЕННОГО СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ, А СЛЕДОВАТЕЛЬНО И СЕБЕСТОИМОСТИ ПРОДУКЦИИ, ПРИ СОВМЕСТНОМ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ. К ТЕПЛОВЫМ АППАРАТАМ ОТНОСЯТСЯ ПЕЧИ, СУШИЛКИ, ТЕПЛООБМЕННИКИ, РЕАКТОРЫ И ДР.

ПРЕДПОЛАГАЕМАЯ МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ ВКЛЮЧАЕТ СЛЕДУЮЩИЕ ЭТАПЫ.

1 ОБСЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, В ХОДЕ КОТОРОГО ВЫЯВЛЯЮТСЯ РЕЖИМНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И ДРУГИЕ ВХОДНЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ, КОТОРЫЕ МОГУТ ИМЕТЬ ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ И ЗАТРАТЫ ЭНЕРГИИ.

2 ПЛАНИРОВАНИЕ И ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВХОДНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ (ФАКТОРОВ), КОТОРЫЕ ОКАЗЫВАЮТ СУЩЕСТВЕННОЕ ВЛИЯНИЕ НА ВЫХОДНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ.

3 АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ. ВАЖНОЙ ЦЕЛЬЮ АНАЛИЗА ЯВЛЯЮТСЯ ФАКТОРЫ, КОТОРЫЕ ПРЕНЕБРЕЖИМО МАЛО ВЛИЯЮТ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ, НО СВЯЗАНЫ С БОЛЬШИМИ ЗАТРАТАМИ ЭНЕРГИИ И ДРУГИХ РЕСУРСОВ. ТАКИЕ ФАКТОРЫ НАЗОВЕМ Э-ФАКТОРАМИ.

4 РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ Э-ФАКТОРАМИ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ.

5 ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ.

ПРИ ВЫДЕЛЕНИИ Э-ФАКТОРОВ УЧИТЫВАЮТСЯ СЛЕДУЮЩИЕ ВОЗМОЖНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ ЭКОНОМИИ ЗАТРАТ. ВО-ПЕРВЫХ, ИЗМЕНЕНИЕ ЗАДАННЫХ ЗНАЧЕНИЙ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ, ОТНОСЯЩИХСЯ К КАТЕГОРИИ Э-ФАКТОРОВ, В НАПРАВЛЕНИИ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ. НАПРИМЕР, ТЕМПЕРАТУРА СУШКИ ПОЛУПРОДУКТА ДОЛЖНА НАХОДИТЬСЯ В ПРЕДЕЛАХ ОТ 230 ДО 260 °С И ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АНАЛИЗА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ОНА НЕ ОКАЗЫВАЕТ СУЩЕСТВЕННОГО ВЛИЯНИЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ. В ЭТОМ СЛУЧАЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНО В КАЧЕСТВЕ ЗАДАННОГО ЗНАЧЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ СУШКИ УСТАНОВИТЬ 230 °С. В ОСНОВЕ ЭТОГО ЧАСТО ЛЕЖИТ ТО ОБСТОЯТЕЛЬСТВО, ЧТО ТЕМПЕРАТУРНЫЙ ИНТЕРВАЛ 230 – 260 °С СООТВЕТСТВУЕТ ОБЛАСТИ ОПТИМУМА (ПОЧТИ СТАЦИОНАРНОЙ ОБЛАСТИ), ГДЕ ИЗМЕНЕНИЕ ФАКТОРА ПРАКТИЧЕСКИ НЕ СКАЗЫВАЕТСЯ НА ЗНАЧЕНИИ ВЫХОДНОЙ ПЕРЕМЕННОЙ.

ВО-ВТОРЫХ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗУМНОГО КОМПРОМИССА МЕЖДУ ПОКАЗАТЕЛЕМ КАЧЕСТВА, ХАРАКТЕРИЗУЕМОГО ПЕРЕМЕННОЙ y , И ЗАТРАТАМИ ЭНЕРГИИ НА ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗНАЧЕНИЯ РЕЖИМНОГО ПАРАМЕТРА x , КОТОРЫЙ ОКАЗЫВАЕТ ВЛИЯНИЕ НА y В СООТВЕТСТВИИ С МОДЕЛЬЮ $y = f(x)$. ДАННАЯ ЗАДАЧА РЕШАЕТСЯ КАК ОПТИМИЗАЦИОННАЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРИТЕРИЯ

$$Q = c_y (y_{\text{доп}} - f(x))^2 + c_x (x_3 - x)^2 \rightarrow \min_x,$$

ГДЕ $y_{\text{доп}}$, x_3 – СООТВЕТСТВЕННО ДОПУСТИМОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА И ЗАДАВАЕМОЕ (ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЗАТРАТ ЭНЕРГИИ) ЗНАЧЕНИЕ РЕЖИМНОГО ПАРАМЕТРА; c_y , c_x – ВЕСОВЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ.

В-ТРЕТЬИХ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭФФЕКТА УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ, ЧТО ИМЕЕТ БОЛЬШОЕ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ.

В качестве примера рассмотрим разогрев теплового аппарата, модель динамики которого имеет следующий вид

$$\dot{x} = -0,4x(t) + 0,09u(t),$$

где x – регулируемая величина (температуры), u – управляющее воздействие (напряжение, подаваемое на электрообогреватели).

Для решения задачи разогрева аппарата с минимальными затратами энергии необходимо задать следующие исходные данные: начальное и конечное значения регулируемой величины, т.е. $x(t_0)$ и $x(t_k)$, временной интервал разогрева $[t_0, t_k]$, допустимые границы изменения управления $[u_n, u_b]$.

В каждом случае $x(t_0) = 25$ °С, по регламенту $x(t_k) \in [70, 80]$, $u_n = 0$, $u_b = 380$, $t_0 = 0$, $t_k = 7$.

Пусть значение $x(t_k)$ не оказывает существенного влияния на качество получаемой продукции. Оценим эффект энергосбережения при разогреве до конечной температуры 80 °С и 70 °С.

Таким образом требуется решить задачу энергосберегающего управления при исходных данных

	a	b	u_n	u_b	$x(t_0)$	$x(t_k)$	t_0	t_k
R_1	(-0,4;	0,09;	0;	380;	25;	70;	0;	7),
R_2	(-0,4;	0,09;	0;	380;	25;	80;	0;	7).

Для решения задач использовался модуль <А, Э, Пр, О> экспертной системы "Энергосберегающее управление динамическими объектами".

В результате решения получены значения функционалов, соответствующих затратам энергии, $J_3(R_1) = 570333$ и $J_3(R_2) = 868763$. Эффект энергосбережения в % составляет

$$\frac{J_3(R_2) - J_3(R_1)}{J_3(R_2)} \cdot 100 \% = 34,3 \%$$

Таким образом, за счет выявления и использования э-факторов можно достичь существенной экономии энергозатрат.

Выводы. Предложена методика энергосбережения за счет режимных параметров технологического процесса. Которые связаны со значительными энергозатратами и слабо влияют на качественные показатели продукции. Применение энергосберегающего управления для таких параметров тепловых аппаратов позволяет экономить до 30 % энергозатрат в динамических режимах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Чейз Р., Эквилайн Н. Дж., Якобе Р. Ф. Производственный и операционный менеджмент: Пер. с англ. М.: Изд. Дом "Вильямс", 2001. 704 с.
- 2 Grant Thornton Survey of American Manufacturers Annual Report. Grant Thornton, 1993, p. 23.
- 3 Thomas H. Davenport Need Radical Innovation and Continuons Improvement Integrate Process Reengineering and TQM. Planning Review, May-June 1993. P. 6 - 12.
- 4 Глудкин О. П., Горбунов Н. М., Гуров А. И., Зорин Ю. В. Всеобщее управление качеством: Учебник для вузов / Под ред. О. П. Глудкина. М.: Радио и связь, 1999. 600 с.

Кафедра "Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем"

УДК 658.562:675.92

В. А. Самородов, А. В. Трофимов

ПРОЦЕССНЫЙ ПОДХОД В УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ИСКУССТВЕННОЙ КОЖИ

В новой версии стандартов ИСО серии 9000 версии 2000 года процессный подход вошел в число основополагающих принципов построения системы менеджмента качества (СМК) [1]. Производственно-хозяйственная деятельность изготовления искусственной кожи представим как процесс, на входе и выходе которого существуют материальные, интеллектуальные и информационные потоки, причем имеется возможность измерения основных характеристик как потоков, так и самого процесса.

Описание процесса производственно-хозяйственной деятельности изготовления искусственной кожи необходимо начать с составления карты последовательности и взаимодействия процессов, для чего необходимо сделать следующее:

- идентифицировать процессы, необходимые для системы менеджмента качества;
- установить последовательность и взаимодействие процессов;
- определить критерии и методы обеспечения эффективной работы и управления процессами;
- обеспечивать готовность информации, необходимой для поддержки работы и контролирования процессов;
- измерять, контролировать, анализировать процессы и выполнять мероприятия для достижения запланированных результатов и постоянного улучшения.

При оценивании процесса производственно-хозяйственной деятельности изготовления искусственной кожи необходимо ответить на следующие вопросы:

- Выявлен и определен ли соответствующим образом процесс производственно-хозяйственной деятельности изготовления искусственной кожи?
- Распределена ли ответственность за ведение процесса?
- Внедрены и поддерживаются ли в рабочем состоянии процедуры?
- Эффективен ли процесс для достижения требуемых результатов?

Для ответа на эти вопросы рассмотрим подробнее реализацию принципа процессного подхода. Представим схему последовательности и взаимодействия процессов производственно-хозяйственной деятельности изготовления искусственной кожи на рис. 1.

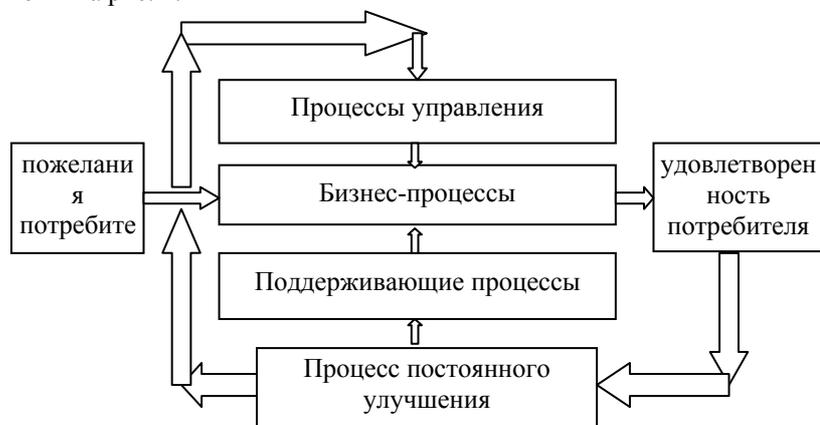


Рис. 1 Схема последовательности и взаимодействия процессов производственно-хозяйственной деятельности изготовления искусственной кожи

В соответствии с описанной выше идеологией, проведем анализ процесса производственно-хозяйственной деятельности изготовления искусственной кожи в три этапа.

Первый этап - описание процесса, каким он является в настоящее время. Для этого результаты анализа применительно к производству искусственной кожи представим следующим образом:

- название процесса - производственно-хозяйственная деятельности изготовления искусственной кожи;
- цель процесса - получение прибыли, стабильность работы предприятия;
- собственник процесса - генеральный директор предприятия;
- входные данные - требования потребителей:
 - а) вид продукции (тентовые материалы, винилскожа, нитроискожа, облицовочные материи);
 - б) цвет продукции (красный, желтый, зеленый, синий, голубой, оранжевый, черный);
 - в) масса продукции (облегченная, утяжеленная);
 - г) экологичность (степень вредного воздействия материала на окружающую среду);
 - д) безопасность (качественное и количественное содержание вредных веществ в материале);
 - е) рисунок на продукции (елочка, волна, треугольник, прямоугольник, круг);
- выходные данные - удовлетворенность потребителей:
 - а) отзывы потребителей (претензии, рекламации, благодарственные письма);
 - б) пожелания потребителей;
 - в) сравнительная характеристика о количестве потребителей за расчетный период времени;
- поставщик - сторонняя организация - поставщик сырья:
 - а) тканевая основа (полиэфирная ткань, саржа, капрон, бязь);
 - б) сырье (пигменты, наполнители, пластификаторы, стабилизаторы, антипирины, антисептики);
- потребитель - сторонняя организация - потребитель готовой продукции (организации занимающиеся изготовлением шатров, павильонов, навесов, тентов, спортивного оборудования и т.д.);

- ресурсы - финансовые, материальные, интеллектуальные;
- критерии оценки - степень удовлетворенности, рост заказов.

Такое описание позволит представить сам процесс в полном объеме, а также прояснить для всех участников и заинтересованных сторон его сущность.

Второй этап - определение требований к процессу производственно-хозяйственной деятельности изготовления искусственной кожи в соответствии с требованиями стандартов ИСО серии 9000 версии 2000 года. На этом этапе определяется, все ли реализовано на предприятии из того, что требует международный стандарт ИСО 9001 : 2000.

Третий этап - необходимо взглянуть на процесс производственно-хозяйственной деятельности изготовления искусственной кожи с точки зрения возможных улучшений: каким он мог бы быть при условии выполнения требований в соответствии с ИСО 9001:2000. Анализ процесса на этом этапе опирается на результаты первого и второго этапов. В данном случае описание процесса используется как основа для его анализа в целях улучшения. При этом следует обратить внимание на то, что процессы планируют и осуществляют с учетом добавления ценности. Поиск путей улучшения производственно-хозяйственной деятельности изготовления искусственной кожи должен быть направлен, прежде всего на повышение ценности процесса для потребителя. Выполнение третьего этапа - это постоянно повторяющееся взаимодействие между выявленными процессами. Распишем эту взаимосвязь: пожелания потребителя влияют на бизнес-процессы, по результатам которых осуществляется анализ удовлетворенности потребителя и принимается решение по улучшению или разработки корректирующих действий к процессам управления, бизнес-процессам, поддерживающим процессам. Такое взаимодействие между процессами - постоянно повторяющееся действие, сопровождается неоднократным прохождением цикла: планирования - выполнения - измерения - улучшения или внесения корректирующих действий.

Для внедрения управления процессом производственно-хозяйственной деятельности в полной мере, как этого требует процессный подход, необходимо время, постоянные усилия и немалые ресурсы. Таким образом, сделан первый шаг на этом, не имеющем конца пути совершенствования системы менеджмента качества и, в конечном итоге, всеобщего управления качеством на пользу предприятию, его работникам, потребителям и обществу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Пичугин К. В. Процессный подход в ИСО 9000 версии 2000 года // Сертификация. 2000. № 4. С. 13-14.
- 2 Иванова Г. Н., Полоцкий Ю. И. Использование процессного подхода в системе менеджмента качества // Методы менеджмента качества. 2001. № 9. С. 14 - 17.

КАФЕДРА "АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ И ПРИБОРЫ"

УДК 681.5.08

С. А. ТРОФИМОВ, М. Р. АХМЕТОВ

ИМПУЛЬСНЫЙ АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ*

Исследование взаимодействия струи газа с поверхностью жидкости, не сопровождаемого химическими превращениями и интенсивным теплообменом, позволило разработать ряд методов совокупного измерения физико-механических свойств жидкости, основанных на параметрах периодических изменений в двухфазной системе струя газа – жидкость [1]. Для жидкостей, вязкость которых лежит в пределах 4 ... 70 Па · с, в методах контроля целесообразно использовать сдвиговый режим. Это объясняется тем, что жидкость с такой вязкостью не вводится в колебательный режим.

Разработан оригинальный импульсный бесконтактный аэродинамический метод измерения вязкости жидкости, основанный на сдвиговом режиме [2], согласно которому вязкость определяется путем импульсного воздействия газовой струей на жидкость с образованием углубления на ее поверхности. Фиксируют временной интервал с момента подачи газовой струи до момента достижения углублением заданного объема. По величине этого временного интервала судят о вязкости жидкости. Разработано устройство (рис.1), реализующее метод.

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

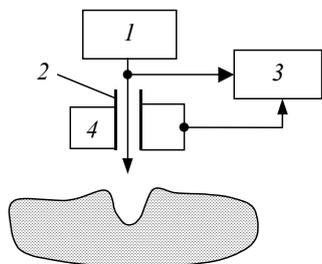


Рис. 1 Устройство контроля вязкости жидкости

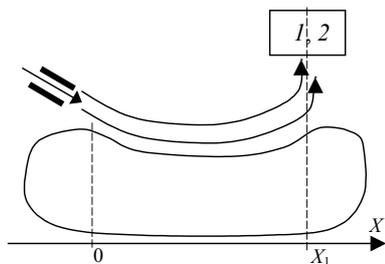


Рис. 2 Схема расположения датчика положения

Генератор пневматических импульсов 1 подает в сопло истечения 2 расход газа и одновременно запускает таймер 3. Газовая струя из сопла 2 образует в жидкости углубление, объем которого измеряет блок 4. При достижении объема углубления заданной величины блок 4 подает сигнал на второй вход таймера 3, который останавливает 2 отсчет интервала времени. По величине этого интервала вычисляют искомую вязкость исследуемой жидкости. С целью упрощения вычислительной процедуры, используя данные экспериментов над рядом жидкостей, имеющих известную вязкость, строят зависимость вязкость-временной интервал, которую далее используют для определения величины вязкости исследуемой жидкости.

Величину объема углубления возможно измерять односторонним емкостным преобразователем, обкладки которого расположены одна относительно другой с зазором, уменьшающимся к центру. Вследствие этого электрическое поле концентрируется в области углубления, что повышает точность измерения.

Одним из вариантов реализации метода является метод, в котором угол наклона сопла истечения выбирается таким, чтобы с течением времени углубление росло в направлении оси X (рис. 2). Момент достижения углублением заданного объема определяется как момент достижения углублением заданного положения X_1 , отсчитанного по оси X.

При взаимодействии газовой струи и поверхности жидкости с образованием углубления основная часть отраженной газовой струи, выходящей из углубления, лежит в плоскости сопла истечения и перпендикулярна невозмущенной поверхности жидкости. Этот факт подтвержден телевизионной съемкой взаимодействия задымленной газовой струи и жидкости. Поэтому о положении гребня перемещающегося слоя жидкости можно судить по положению отраженной газовой струи.

Разработаны три варианта конструкции датчика 1 фиксации положения газовой струи (рис. 2), ось которого расположена на расстоянии X_1 , отсчитанного по оси X.

На заданном расстоянии X_1 расположен струйный элемент (первый вариант датчика), содержащий два соосно расположенных сопла: питающее сопло 1 - приемное сопло 2 (рис. 3, а).

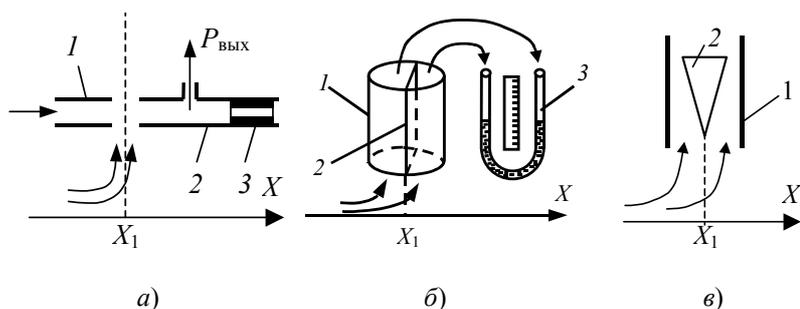


Рис. 3 Конструкции датчика фиксации положения газовой струи

Выход приемного сопла 2 через дроссель 3 соединен с атмосферой. Выходной сигнал $P_{\text{вых}}$ датчика отбирается в точке, находящейся между дросселем 3 и приемным соплом 2. Величина константы датчика зависит от расхода газа, диаметра сопла истечения и расстояния от него до поверхности жидкости, угла наклона газовой струи.

Приемная трубка 1 (второй вариант датчика) расположена перпендикулярно невозмущенной поверхности жидкости (рис. 3, б). Ось трубки 1 располагается в плоскости сопла истечения. Перегородка 2 располагается по оси трубки 1 перпендикулярно плоскости сопла истечения и делит трубку на две равные части, каждая из которых соединена с соответствующим выходом дифманометра 3.

Согласно третьему варианту датчик выполняется в виде трубки 1 на оси которой находится перегородка 2, имеющая форму клина (рис. 3, в). Трубка 1 с помощью перегородки 2 делит выходящий из углубления газовый поток на две

части, которые создают на клиновидной перегородке акустические колебания. Экспериментально выявлено, что именно в тот момент времени, когда части газового потока равны между собой, амплитуда акустических колебаний максимальна.

В зависимости от особенностей процесса измерения выбирается конкретный вариант датчика. Устройство позволяет проводить измерения непосредственно в условиях потенциально опасного производства и обеспечивает измерение вязкости жидких сред с погрешностью не более 11 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Мордасов М. М., Мищенко С. В., Мордасов Д. М. Физические основы измерения плотности и поверхностного натяжения пневматическими методами: Учеб. пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 1999. 76 с.

2 Пат. 2170417 РФ. МПК⁷ G 01 N 11/00. Способ определения вязкости жидкости / Мордасов М. М., Трофимов С. А. Оpubл. 10.07.2001. Бюл. № 19.

Кафедра "Автоматизированные системы и приборы"

УДК 389:621.317.332.6

К. Н. ФИЛИППОВ, Е. И. ГЛИНКИН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СТЕПЕНИ ПОЛИНОМА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФУНКЦИИ

ДЛЯ АДАПТАЦИИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОД ДИАПАЗОН, НЕОБХОДИМО ПРОВЕСТИ СТРУКТУРНУЮ ОПТИМИЗАЦИЮ, ТО ЕСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ПОЛИНОМА ГРАДУИРОВОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРЕДСТАВЛЕННОЙ СТЕПЕННОЙ ФУНКЦИЕЙ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СТЕПЕНИ ПОЛИНОМА ДАННОЙ ФУНКЦИИ ПОЗВОЛЯЕТ ИСКЛЮЧИТЬ СЛУЧАЙНУЮ ПОГРЕШНОСТЬ.

Представленные в работе методы определения оптимальной степени полинома (структурного анализа), предназначены для определения оптимальной степени полинома или количества точек-эталонов.

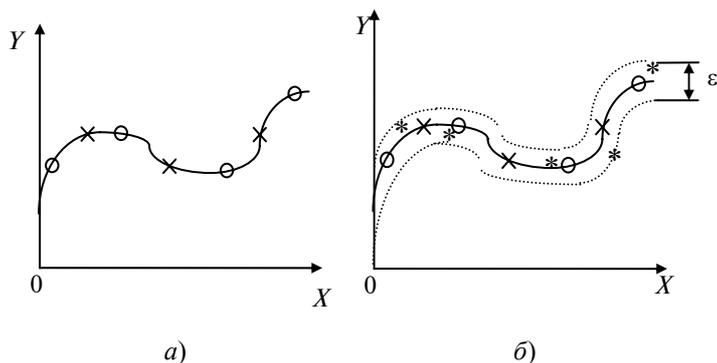


Рис. 1 Эталонная функция:

a - идеальная; *б* - реальная.

o – точки-эталоны без погрешности; **x** – дополнительные точки для расчета дисперсий; ***** – точки-эталоны взятые с погрешностью ϵ

Существующая методика структурной оптимизации позволяющая определять истинную степень идеальной экспериментальной функции (рис. 1, *a*), основана на определении оптимальной степени полинома за счет соответствующего ей минимального значения дисперсии D , рассчитываемой по формуле:

$$D_i = \sum_{j=1}^k (Y_j - R_j(i))^2 / k, \quad i = 2, \dots, N,$$

где i - степень вычисляемого полинома; Y_j - значения ординат экспериментальной функции; $R_j(i)$ - значения вычисленных функций при степени полинома i , например, при $i = 2$ $R_j(2) = a_0 + a_1 x_j$; k - константа, определяющая количество точек, взятых из графиков. Выбирается произвольно экспериментатором; N - степень полинома экспериментальной функции, либо максимально возможная степень полинома.

График дисперсий представляет собой функцию с двумя максимумами при минимальной и максимальной степени полинома и единственным минимумом (рис. 2, *a*).

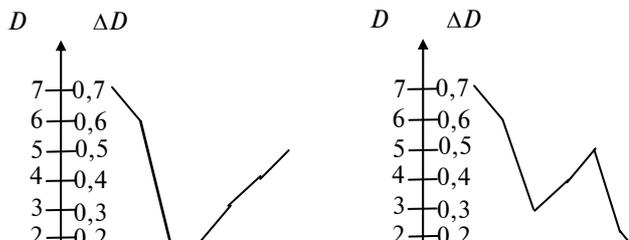


Рис. 2 График дисперсий (разности дисперсий):
a – кривая указывает на оптимальную степень; *b* – не указывает

Минимум функции соответствует оптимальной степени полинома. Проведенные эксперименты позволяют сделать вывод, что данная методика позволяет определить оптимальную степень полинома эталонной функции, все точки которой заданы без погрешности. При задании экспериментальной реальной функции (рис. 1, *b*), все или ряд точек которой заданы с погрешностью ε , выявлено, что данная методика не позволяет определять оптимальную степень полинома. График дисперсии при этом представляет собой резко убывающую функцию, минимум которой соответствует максимально вычисляемой степени полинома.

Предложенная методика структурной оптимизации позволяет определить оптимальное количество точек-эталонов за счет разности дисперсий ΔD .

Расчет разности дисперсий по формуле:

$$\Delta D_{i-1} = |D_i - D_{i-1}|, \quad i = 3, \dots, N,$$

где D_i - значение дисперсии при соответствующей степени полинома i вычисляемого полинома.

График разности дисперсий представляет собой как вышеописанную функцию (рис. 2, *a*), так и ломаную кривую (рис. 2, *b*) без единственного минимума. Если минимум функции графика дисперсии совпадает с минимумом функции графика разности дисперсий, то данный минимум соответствует оптимальной степени полинома. Графики дисперсий и разности дисперсий в этом случае одинаковы (рис. 2, *a*)

В случае несовпадения минимумов, оптимальная степень полинома соответствует минимуму графика разности дисперсий. Графики дисперсий и разности дисперсий в этом случае схожи (рис. 2, *a*), но имеют разные минимумы.

Если не было найдено ни одного графика с единственным минимумом (рис. 2, *b*), то на оптимальную степень полинома указывает математическое ожидание минимумов графиков дисперсий и разности дисперсий. Данная структурная оптимизация в ходе экспериментов с эталонными и реальными функциями, заданными через точки, позволяет определить оптимальную степень полинома, как правило известную заранее.

Таким образом, предлагаемая методика, позволяет исключить случайную погрешность за счет структурной оптимизации экспериментальной функции, включающей выбор количества точек-эталонов при минимизации разности дисперсий степенного полинома функции.

КАФЕДРА "ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ"

УДК 681.2:536.6

Е. В. Морозова, П. С. Альбицкий, З. М. Селиванова

АЛГОРИТМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АДАПТИВНОЙ
МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ

НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

Разработана адаптивная микропроцессорная система (АМС) неразрушающего контроля (НК) теплофизических свойств материалов (ТФСМ) [1 - 4] с параметрической адаптацией по режимно-энергетическим параметрам к классу и диапазону исследуемых материалов и автоматической коррекцией результатов измерения при воздействии дестабилизирующих факторов (ДФ).

АМС включает следующие основные блоки: термозонд (Т), служащий для реализации применяемого метода определения ТФСМ и микропроцессор (МП), выполняющий функции управления теплофизическим экспериментом и расчета ТФСМ.

Блок-схема алгоритма функционирования АМС приведена на рис. 1, где введены следующие обозначения: ΔT - перепад температур в подложке термозонда; ε - наперед заданное значение ΔT ; $T_{о.с.}$ - температура окружающей среды; W - влажность; ψ - шероховатость; R_T - контактное сопротивление.

Перед началом проведения теплофизического измерения осуществляется идентификация параметров объекта.

Идентификация параметров объекта при воздействии на него основных ДФ (изменение температуры окружающей среды, влажности, контактного термосопротивления, шероховатости поверхности) позволяет установить отклонение параметров объекта исследования и АМС от параметров при нормальных условиях эксплуатации, а также осуществить адаптацию АМС, т.е. коррекцию алгоритма и результатов определения ТФСМ при теплофизическом измерении.

Как известно, вследствие шероховатости и волнистости реальных поверхностей исследуемых материалов и изделий контакт между твердыми телами всегда имеет дискретный характер, т.е. соприкосновение происходит в отдельных точках поверхности, что в итоге влияет на достоверность получаемой измерительной информации. Поэтому в АМС необходимо введение коррекции результатов измерения как на наличие контактного сопротивления, так и шероховатости исследуемых объектов. При контроле шероховатости поверхности производится интегральная оценка поверхностных дефектов. Для определения шероховатостей материалов в АМС применен интерференционный прибор. Значение полученной величины шероховатости заносится оператором в оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) микропроцессора.

Далее на поверхность исследуемого объекта помещается термозонд для проведения теплофизического измерения. Термодатчики, расположенные в термозонде, фиксируют температуру в области контакта термозонда и объекта, которая заносится в ОЗУ МП.

Воздействие температуры окружающей среды на АМС НК ТФСМ, исследование математических моделей теплофизических измерений в широком диапазоне температур и рекомендации по выбору тепловой модели для определения ТФСМ изложены в работах [3, 4].

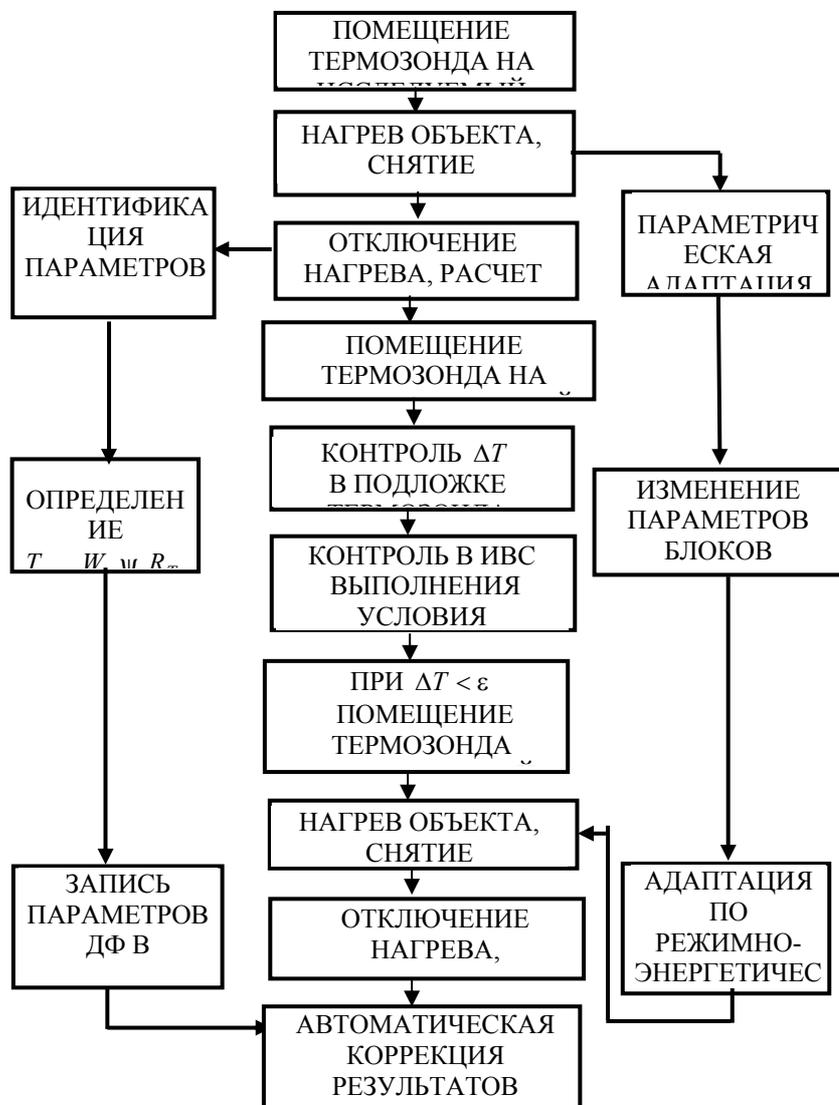


Рис. 1 Блок-схема алгоритма определения ТФСМ адаптивной ИВС

При проведении теплофизического измерения осуществляется тепловое воздействие на исследуемый объект импульсами заданной частоты и мощности, при этом проводится параметрическая адаптация по мощности и частоте теплового воздействия на исследуемый объект в соответствии с классами и диапазонами исследуемых материалов. В результате измерения определяется теплопроводность исследуемых материалов, на основе которой по экспериментально полученным зависимостям и аппроксимирующим их функциям, определяют контактное термосопротивление, влажность и температуру в тепловой системе "термозонд – исследуемый объект".

При определении ТФСМ часто используют экспериментальные термограммы, полученные для поверхности исследуемого материала при допущении отсутствия контактного термосопротивления. В действительности же в плоскости контакта термозонда и исследуемого материала всегда присутствуют прослойки воздуха, влаги, следы смазок и т.д., которые обладают определенным термосопротивлением, создающим дополнительный перепад температур в контактирующих телах. Оценка погрешности определения ТФСМ, обусловленной контактным термосопротивлением, и метод расчета контактного термосопротивления изложены подробно в работе [2].

Изменение влажности окружающей среды, исследуемых материалов и изделий приводит также к искажению истинных данных о их ТФС, следовательно, необходимо осуществлять контроль влажности исследуемых материалов и вводить коррекцию результатов определения ТФСМ. Контроль влажности изложен в работе [2].

Полученная таким образом измерительная информация о шероховатости, влажности, температуре, контактном термосопротивлении заносится в процессе экспериментов в ОЗУ микропроцессора и далее используется для адаптивной коррекции результатов теплофизического измерения с помощью системы допускового контроля МП, куда заносятся допустимые значения вышеперечисленных контролируемых параметров, установленные соответствующими ГОСТами для конкретных материалов и изделий из них, и данные теплофизических экспериментов.

Работоспособность АМС проверена при проведении измерений на теплоизоляционных материалах: рипоре, минвате, войлоке, различных пенопластах. Относительная погрешность измерения ТФСМ при этом составляет от 2 до 8 %. Кроме того, исследовались ТФС ряда строительных материалов: бетона, газосиликата, цемента и других, относительная погрешность измерений ТФСМ которых составляет от 3 до 6 %.

Таким образом, АМС НК ТФСМ характеризуется большими преимуществами, по сравнению с известными АМС НК ТФСМ, а именно универсальностью, возможностью получения достоверной информации о ТФСМ в результате применения адаптации по режимно-энергетическим параметрам, а также автоматической коррекции результатов измерения при воздействии ДФ, что повышает метрологический уровень результатов НК ТФСМ в среднем на 3 – 7 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Селиванова З. М. Анализ дестабилизирующих факторов, воздействующих на адаптивную измерительно-вычислительную систему неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов и готовых изделий // Информационные технологии в проектировании микропроцессорных систем: Тез. докл. Междунар. конф. Тамбов: Изд-во ТГТУ. 2000. С. 94 - 96.

2 Селиванова З. М., Чернышов В. Н. Метод и адаптивная измерительно-вычислительная система неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов и изделий при воздействии дестабилизирующих факторов // Контроль, диагностика. 2001. № 1 (31). С. 12 - 15.

3 Селиванова З. М. Метод уменьшения погрешности измерения теплофизических свойств твердых материалов при воздействии низких и высоких температур. // Методы и средства измерения физических величин: Тез. докл. 4 Всероссийской науч.-техн. конф. Нижний Новгород, 1999. С. 5.

4 Селиванова З. М. Измерительно-вычислительная система с веером моделей для определения теплофизических свойств твердых материалов // Математическое моделирование и оптимизация систем переменной структуры: Межвузовский сб. науч. трудов. Тамбов: Изд-во ТГТУ. 1989. С. 163 - 165.

Кафедра "Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем"

УДК 681.5.001.26

Н. А. Кольтюков, С. В. Артемова, А. Н. Грибков*

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГНОЗИРУЮЩЕЙ МОДЕЛИ В СИСТЕМЕ ОПТИМАЛЬНОГО ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ РЕЗИНОСМЕСИТЕЛЕМ

Большинство промышленных предприятий применяют технологические установки с электроприводами. На электроприводы расходуется до 60 % потребляемой промышленностью энергии. Так, широкое распространение на предприятиях, выпускающих резинотехнические изделия, шины, строительные и другие материалы, находят различного рода смесительные установки с электроприводами. Многие такие установки периодического действия и для них характерны частые и значительные изменения нагрузки на приводную часть. Например, на рис. 1 показана кривая изменения потребляемой мощности резиносмесителем РСТП-270 во время рабочего цикла.

Кривую потребления мощности рис. 1 можно условно разделить на два участка. Первый - разгон двигателя при моменте нагрузки на валу - $M_n \approx 100\%$, второй - работа электродвигателя в условиях непрерывно изменяющейся нагрузки. На первой стадии, несмотря на ее малую длительность, применение оптимального энергосберегающего управления позволяет получать существенную экономию электроэнергии, а также способствует повышению надежности оборудования за счет снижения пиковых нагрузок в момент пуска. Эта стадия достаточно хорошо изучена. Для оптимизации процесса смешения на второй стадии, необходимо применение алгоритма оптимального управления с прогнозирующей моделью [1].

Система оптимального управления прогнозирует значение потребляемой мощности в любой точке кривой. Для этого могут использоваться следующие модели [2]. Для построения модели использовалась выборка $N \geq 50$ x_i - членов временного ряда. Рассчитывались дисперсия временного ряда σ , среднее значение временного ряда \bar{x} , коэффициенты корреляции

$$\rho_k = \frac{1}{N-k} \sum_{i=1}^{N-k} (x_i - \bar{x})(x_{i+k} - \bar{x}), \text{ где } k = 1, 2. \quad (1)$$

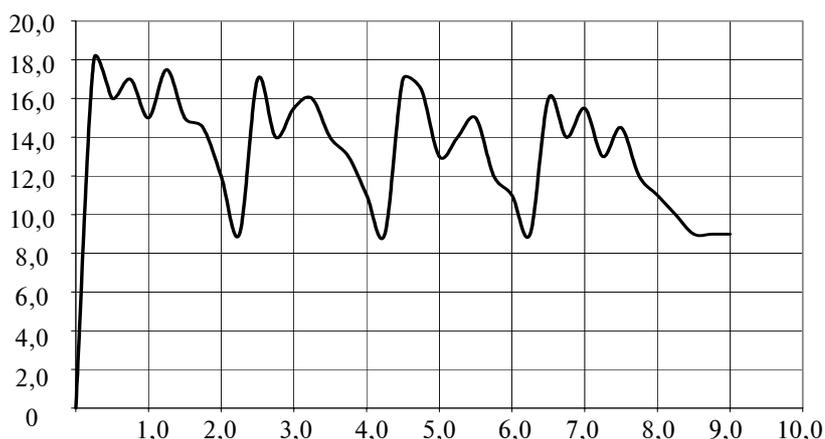


Рис. 1 Кривая потребления мощности резиносмесителя РСТП-270

Модель авторегрессии первого порядка АР (1)

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора

Ю. Л. Муромцева.

$$x_t^{np} = \bar{x} + \phi_1(x_{t-1} - \bar{x}), \quad (2)$$

где $\phi_1 = \rho_1$ - параметр модели авторегрессии первого порядка;

x_t^{np} - прогнозируемое значение члена временного ряда.

Модель авторегрессии второго порядка AP(2)

$$x_t^{np} = \bar{x} + \phi_1(x_{t-1} - \bar{x}) + \phi_2(x_{t-2} - \bar{x}), \quad (3)$$

где $\phi_1 = \frac{\rho_1(1-\rho_2)}{1-\rho_1^2}$, $\phi_2 = \frac{\rho_2 - \rho_1^2}{1-\rho_1^2}$; ϕ_2 - параметр модели авторегрессии второго порядка, $\phi_1 + \phi_2 < 1$, $\phi_2 - \phi_1 < 1$, $|\phi_2| < 1$ - условия стационарности.

Модель проинтегрированного скользящего среднего ПСС (0, 1, 1)

$$x_t^{np} = x_{t-1} - Q(x_{t-1} - x_{t-1}^{np}), \quad (4)$$

где Q - параметр скользящего среднего определяется из таблицы функции $\Gamma_1(\omega)$; $\omega_t = x_t - x_{t-1}$;

$$\Gamma_k(\omega) = \frac{1}{(N-2)\sigma_\omega^2} \sum_{i=1}^{N-2} (\omega_i - \bar{\omega})(\omega_{i+k} - \bar{\omega}) - \text{нормированный коэффициент корреляции.}$$

Авторегрессия проинтегрированного скользящего среднего АРПСС (1, 1, 1):

$$x_t^{np} = (1 + \phi)x_{t-1} - \phi x_{t-2} - Q(x_{t-1} - x_{t-1}^{np}), \quad (5)$$

где Q определяется из таблицы функции $\Gamma_1(\omega)$; $\omega_t = x_t - x_{t-1}$;

$$\phi = \frac{\Gamma_2(\omega)}{\Gamma_1(\omega)}. \quad (6)$$

Результаты прогнозирования с использованием вышеуказанных моделей представлены на рис. 2 и рис. 3.

1 Погрешности прогнозирования

Метод	AP (1)	AP (2)	ПСС (0, 1, 1)	АРПСС (1, 1, 1)
Максимальная абсолютная погрешность	3,3349	2,3072	3,1	3,3238
Среднеквадратичная ошибка	1,2093	0,9017	1,0762	1,0219

Прогноз по модели авторегрессии второго порядка дает наиболее близкие к экспериментальным данным потребления мощности резиносмесителем РСТП-270 результаты, как видно из выше приведенных рисунков и таблицы.

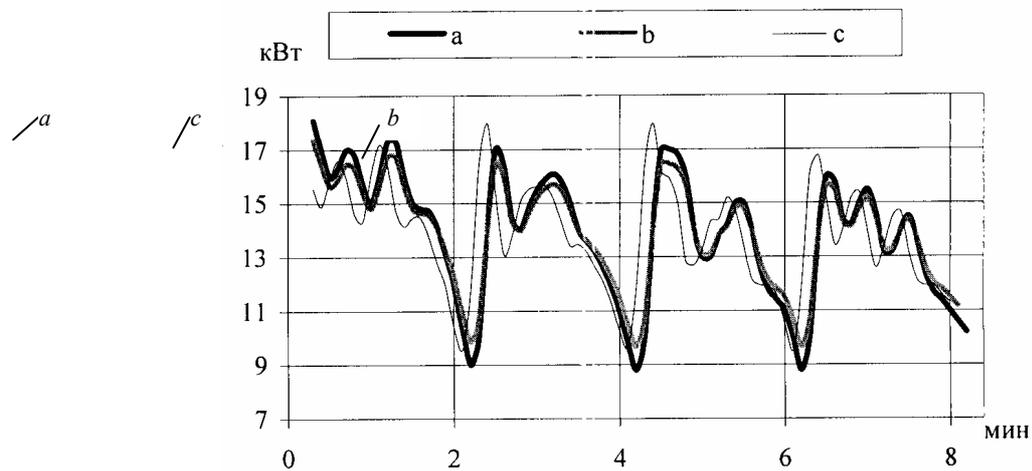


Рис. 2 Прогнозирование потребления мощности резиномесителем РСТП-270, где *a* – экспериментальная кривая; *b* – прогноз по модели АР(1), *c* – прогнозом по модели АР(2)

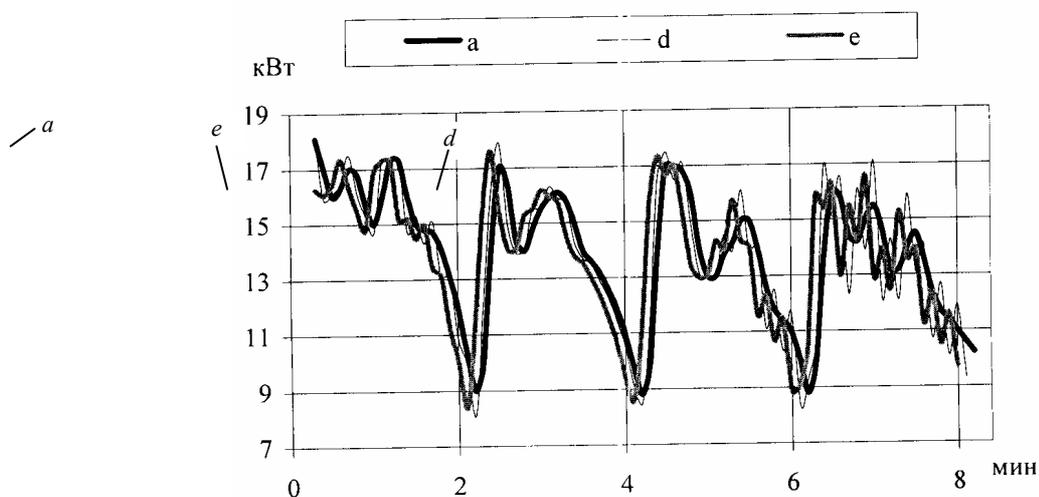


Рис. 3 Прогнозирование потребления мощности резиномесителем РСТП-270, где *a* – экспериментальная кривая, *d* – прогноз по модели ПСС (0, 1, 1), *e* – прогноз по модели АРПСС (1, 1, 1)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Красовский А. А. Универсальные алгоритмы оптимального управления непрерывными процессами. М.: Наука, 1977. 271 с.
- 2 Отнес Р. Прикладной анализ временных рядов. Основные методы. М.: Высшая школа, 1982. 562 с.

Кафедра "Конструирование радиоэлектронных и

микропроцессорных систем"

УДК 681.2:536.6

А. В. Чернышов

*МЕТОД И ПРОЦЕССОРНОЕ СРЕДСТВО
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОСЛОЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ*

В статье описывается метод и реализующая его микропроцессорная система оперативного неразрушающего контроля теплофизических характеристик многослойных изделий, например, стеновых панелей, актуальность определения которых в настоящее время трудно переоценить. Сущность предлагаемого метода заключается в следующем.

На каждую из наружных поверхностей полубесконечной в тепловом отношении многослойной конструкции устанавливаются по одному зонду, в плоскости контакта первого из которых расположены дисковый нагреватель ДН и два линейных нагревателя ЛН1 и ЛН2, закрепленные на небольшом (1-2 мм) заданном расстоянии от дискового нагревателя, а также термopара Тп₁, помещенная в центр контактной плоскости дискового нагревателя и две термобатарей Тб₁ и Тб₂, расположенные по линии на заданном расстоянии x_1 соответственно от линейных источников ЛН1 и ЛН2 (см. рис. 1). В плоскости контакта второго термозонда расположены датчик теплового потока Тq и на небольшом расстоянии от него два линейных нагревателя ЛН3 и ЛН4. Кроме того, на заданном расстоянии x_1 от линии действия которых помещены термобатарей Тб₃ и Тб₄ соответственно, а в центре круга датчика теплового потока вмонтирована вторая термopара Тп₂. На рис. 1 обозначены 1 - 4 - порядковые номера поверхностей слоев, R1 - R3 - толщины слоев.

Определение ТФХ наружных слоев конструкций осуществляют в соответствии с алгоритмом измерения, сущность которого заключается в следующем [1].

Вначале осуществляют тепловое воздействие одиночным тепловым импульсом заданной мощностью q_n , которая составляет не более 10 - 15 % от мощности $Q_{терм}$, при которой температура на линии действия источника тепла достигнет значения температуры термодеструкции материала покрытия.

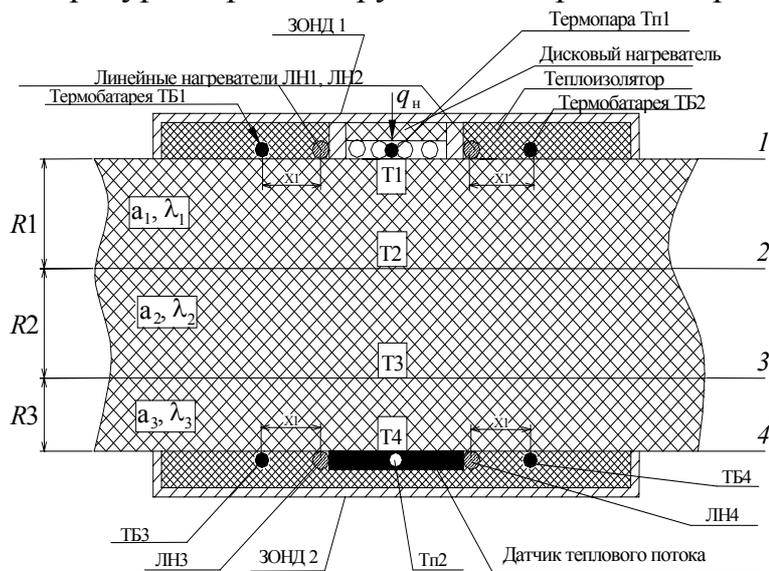


Рис. 1 Физическая модель метода неразрушающего контроля теплофизических характеристик многослойных изделий

Осуществляют тепловое воздействие от линейного источника тепла, увеличивая частоту тепловых импульсов в соответствии с заданным законом.

Увеличение частоты следования тепловых импульсов в соответствии с заданным законом осуществляют до тех пор, пока установившееся квазистационарное значение температуры в точке контроля достигнет наперед заданного значения $T_{зад1}$, т.е. $\Delta T_i = T_{зад1} - T(\tau_i) = 0$. Определяют частоту тепловых импульсов F_{x1} , после чего начинают увеличение частоты тепловых импульсов до тех пор, пока значение избыточной контролируемой температуры в той же точке x_1 не достигнет второго, наперед заданного значения $T_{зад2}$. Определяют при этом частоту тепловых импульсов F_{x2} , а искомые ТФХ рассчитывают по формулам:

$$a = \frac{x_1^2}{4} \frac{T_{\text{зад } 1} F_{x2}^2 \sum_{i=1}^{n_2} \frac{1}{i^2} - T_{\text{зад } 2} F_{x1}^2 \sum_{i=1}^{n_1} \frac{1}{i^2}}{T_{\text{зад } 1} F_{x2} \sum_{i=1}^{n_2} \frac{1}{i} - T_{\text{зад } 2} F_{x1} \sum_{i=1}^{n_1} \frac{1}{i}}, \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{Q F_{x1}}{2\pi T_{\text{зад } 1}} \sum_{i=1}^{n_2} \frac{1}{i} \exp\left(-\frac{x_1^2 F_{x1}}{4ai}\right). \quad (2)$$

Для определения ТФХ материалов внутреннего слоя конструкции включают дисковый нагреватель ДН и осуществляют подвод к поверхности конструкции удельного теплового потока через круг до тех пор, пока на противоположной поверхности конструкции появится тепловой поток. Измеряют при этом величину установившегося теплового потока q_w , а также температуру в плоскостях 1 и 4 с помощью термопар Тп1 и Тп2, а искомую теплопроводность определяют по формуле

$$\lambda_2 = \frac{q_w R_2}{(T_2 - T_3)}. \quad (3)$$

На рис. 2 представлена функциональная схема микропроцессорной информационно-измерительной системы (ИИС).

В схеме тактовый генератор G предназначен для формирования двух тактовых последовательностей $F1$ и $F2$ для тактирования процессора CPU (Central Processor Unit), формирования сигнала сброса системы RESET и сигнала стробирования STSTB для системного контроллера SC (System Controller).

Дешифратор адреса ADDRES DS предназначен для формирования сигналов ROM SEL, RAM SEL, IOP1 SEL, IOP2 SEL выбора соответствующего устройства.

Системный контроллер SC буферизирует шину данных системы и формирует сигналы MEMR (чтение памяти), MEMW (запись в память), IOR (чтение устройств ввода-вывода), IOW (запись в устройства ввода-вывода).

системы при включении и содержит в себе тест ОЗУ, тест ПЗУ (проверку контрольной суммы), тест устройств ввода-вывода и тест процессора.

Система функционирует следующим образом.

При включении питания процессор устанавливается в исходное состояние, и производится тестирование системы, после чего инициализируются периферийные устройства и устанавливаются в исходное состояние. CPU вырабатывает сигнал, по которому на четырехразрядном индикаторе DD высвечивается приглашение к работе. После установки зонда на исследуемое изделие или образец оператор нажимает кнопку "ПУСК", после чего начинает автоматически выполняться измерение ТФХ по заданному алгоритму, хранящемуся в ROM, в соответствии с разработанным и изложенным выше методом.

Для проверки работоспособности предложенного метода и процессорной системы неразрушающего контроля ТФХ были проведены эксперименты на трехслойном изделии, наружные слои которого выполнены из полиметилметакрилата, а внутренний - из рипора.

Экспериментальная проверка показала корректность основных теоретических выводов, положенных в основу предложенного метода неразрушающего контроля ТФХ материалов, и позволяет сделать вывод о том, что рассмотренный в статье метод и система найдет широкое применение при определении теплозащитных свойств многослойных изделий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 А.с. № 1402892 СССР, МКИ G 01 N 25/18. Способ неразрушающего контроля теплофизических характеристик материалов и устройство для его осуществления / В. Н. Чернышов. № 4129719/31-25; Заявл. 26.06.86; Оpubл. 15.06.88, Бюл. № 22. 12 с.

**Кафедра "Криминалистика и
информатизация правовой деятельности"**

УДК 621.396.23; 681.3.06

С. А. Степанов, И. В. Тюрин

МЕТОДИКА ГИБРИДНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА НА НАЧАЛЬНЫХ ЭТАПАХ ОБНОВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

На современном этапе развития промышленности одним из главных требований, предъявляемых к выпускаемой продукции с целью повышения конкурентоспособности и спроса, является высокий уровень ее качества. Поэтому необходимо своевременное обновление (Reengineering) процессов для достижения существенного улучшения их основных показателей эффективности, таких как стоимость, качество, обслуживание и скорость [1].

На начальном этапе реинжиниринга любого процесса необходимо представлять основную цель обновления, выявить процесс подлежащий обновлению, оценить возможность обновления и провести анализ существующего процесса [2]. При этом приходится решать целый комплекс задач: 1) составление полного перечня входных и выходных переменных процесса, выделение из числа входных переменных группы факторов для активного эксперимента; 2) выбор метода экспериментального исследования и составление плана эксперимента; 3) проведение эксперимента; 4) определение входных переменных существенно влияющих на качество продукции.

На основании рассмотренной схемы процесса проводится формирование множества входных x_i , $i = \overline{1, n}$ и выходных y_j , $j = \overline{1, m}$ переменных процесса. Часть входных переменных (факторов) может относиться к режимам отдельных операций, а часть - ко всему процессу (параметры окружающей среды, характеристики персонала и т.п.).

В реальных условиях производства нельзя провести активный эксперимент, так как часть входных переменных имеет характер возмущающих воздействий, значения которых не могут быть установлены на определенном уровне в заданное время, таких как атмосферное давление. Поэтому вектор входных переменных делится на две части: активную (X_a) и пассивную (X_n). Компоненты X_a могут устанавливаться и поддерживаться оператором на заданном уровне, для них составляется план активного эксперимента.

$$X_a = (x_i, i = \overline{1, n_1}).$$

Для компонентов X_{Π} может быть использована только методика пассивного эксперимента.

$$X_{\Pi} = (x_i, i = \overline{n_1, n}).$$

Эксперимент, в опытах которого часть входных переменных X_a устанавливаются на заданных уровнях, а часть переменных X_{Π} изменяются независимо их значения лишь фиксируются оператором, будем называть гибридным или смешанным.

Для составления плана активного эксперимента целесообразно использовать методику случайного баланса [3, 4]. В соответствии с ней при изменении переменных на двух уровнях матрица планирования строится следующим образом:

- множество "активных" компонентов-факторов делится на группы. Включение факторов в группы осуществляется на основании опыта технологов предприятия;

- в первую группу включаются наиболее важные факторы;

- для факторов первой группы выбирается полный или дробный факторный эксперимент;

- очередность проведения опытов рандомизируется;

- опыты для остальных групп выбираются случайным образом из плана факторного эксперимента первой группы (с использованием случайных чисел);

- все n_1 столбцов матрицы планирования попарно проверяются на отсутствие совпадения значений в N опытах; если какие-либо столбцы совпадают, то этап 5 повторяется, т.е. определяется новая выборка случайных чисел. В окончательном плане не должно быть повторяющихся столбцов.

Главной задачей эксперимента является максимально точное поддержание значений режимных параметров в соответствии с составленной матрицей планирования. При этом последовательность проведения опытов не играет решающей роли. Следует заметить, что в производственных условиях можно начинать обработку результатов не дожидаясь 100-процентной реализации эксперимента. В случае получения достоверных количественных оценок степени влияния факторов на показатели качества и моделей связи между переменными можно будет сэкономить время и раньше приступить к следующим этапам исследований по реинжинирингу процессов.

Наиболее трудоемким этапом обработки экспериментальных данных является построение диаграмм рассеяния.

Диаграмма рассеяния (ДР) представляет собой особое графическое изображение значений экспериментальных данных $x_i, i = 1, 2, \dots, n$ и выходной переменной y , которое компактно характеризует связь между ними. В общем случае выделение существенных связей между переменными исследуемой системы методом ДР производится в следующей последовательности.

Определяются примерные погрешности Δx_i в регистрации пассивных факторов. Для каждой непрерывно изменяющейся входной переменной x_i рассчитывается оценка математического ожидания \bar{x}_i (медианное значение Me_i) и определяются "центральные" зоны

$$[\bar{x}_i - k\Delta x_i; \bar{x}_i + k\Delta x_i], \quad i = 1, \dots, n,$$

содержащие значения x_{ij} вблизи оценок \bar{x}_i . Коэффициент $k = 1 \dots 3$ берется таким, чтобы в центральную зону попадало не более $N/3$ наблюдений. Проверяются столбцы "пассивных" факторов планирования на несовпадемость со столбцами "активных" переменных. Выполняется построение диаграмм рассеяния для всех входных переменных. На ДР выделяются медианные значения $Me_{i(-)}, Me_{i(+)}, i = \overline{1, n}$, определяются величины вкладов входных переменных B_i и числа выделившихся точек W_i , а также значения обобщенного показателя Q_i .

$$Me = \begin{cases} y_{(M+1)/2}, & \text{если } M - \text{нечет} \\ \frac{1}{2}(y_{M/2} + y_{M/2+1}), & \text{если } M - \text{чет} \end{cases}$$

$$B_i = Me_{i(+)} - Me_{i(-)},$$

$$W_i = W_{i(-)} + W_{i(+)},$$

$$Q_i = c \delta B_i + (1-c) \delta W_i,$$

$$\delta B_i = \frac{|B_i|}{y_{\max} - y_{\min}}, \quad \delta W_i = \frac{W_i}{N}.$$

Весовой коэффициент c может иметь значения $[0; 1]$, рекомендуется брать $c \in [0,4; 0,6]$.

На основании полученных значений B_i, W_i, Q_i делаются выводы:

- какие переменные x_i оказывают наиболее сильное влияние на y , т.е. на выходной показатель;

- каково направление этого влияния;

- какие переменные следует оставить для более детального исследования их связей и построения модели;

- согласуются ли полученные результаты с априорными представлениями.

Данный подход использовался при выделении факторов в ходе работ по совершенствованию технологии производства цеолита.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Michael Hammer and James Champy. Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution. New York: Harper Business, 1993, p. 32.
- 2 Чейз Р., Эквилайн Н. Дж., Якобе Р. Ф. Производственный и операционный менеджмент: Пер. с англ. М.: Изд. Дом "Вильямс", 2001. 704 с.
- 3 Налимов В. В., Чернова Н. А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. М.: Наука, 1965. 360 с.
- 4 Муромцев Ю. Л., Орлова Л. П. и др. Информатика (корреляционный анализ и метод диаграмм рассеяния): Метод. указ. Тамбов, Изд-во ТГТУ, 2001. 36 с.

*Кафедра "Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем"
ФГУП "ТамбовНИИХИ"*

УДК 681.335(07)

Н. Е. ГЛИНКИН, Е. И. ГЛИНКИН

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ МИКРОСХЕМОТЕХНИКИ

Автоматизация аналитического контроля и технологических процессов, электрооборудования и энергопотребления ограничена развитием информационных технологий на базе интеллектуальных микропроцессорных систем и компьютерных анализаторов [1] - [6]. Совершенствование программно управляемых систем, приборов и средств невозможно комбинаторными методами итерационного анализа, регламентирующего конструирование неуправляемых структур с фиксированными связями, реализующих жесткий алгоритм тривиальной функции. Комбинаторные методы усугубляют недостатки технологической концепции формирования аппаратных средств на уровне полупроводниковых приборов (ПП), малых (ИС) и средних (СИС) интегральных схем, основанной на количественной оценке базисных элементов без учета качественных характеристик. Технологическая концепция [1], [2] тормозит интеграцию микроэлектроники и измерительной техники, развитие аппаратных средств СИС в архитектуру БИС и ее совершенствование в информационное обеспечение [3] - [6] на базе физики и математики, информатики и метрологии.

Компьютеризация автоматизированных средств и систем инициирует создание интеллектуальных интерфейсов ввода-вывода для амплитудно-дискретных представлений информации на основе аналого-импульсных преобразователей, включающих технические решения аналоговой, цифровой и импульсной техники. Реализация этих решений комбинаторными методами [1] неэффективна в базисах интегральных схем и для расчета аналого-импульсных схем (АИС), аналого-цифровых (АЦП) и цифроаналоговых (ЦАП) преобразователей автоматических интерфейсов ввода-вывода (АИВВ) требует информационной технологии проектирования [3] - [6].

Эпоха компьютерных технологий выявила интерфейсный парадокс: неограниченный и все возрастающий спрос на автоматический ввод и вывод информации микропроцессорными средствами, с одной стороны, и инертность производства к сокращению дефицита и повышению эффективности амплитудно-дискретных преобразователей, с другой стороны [6]. Парадоксальная ситуация - результат технических и научных противоречий, обусловленных несогласованностью комбинаторной структуры АИС с упорядоченной архитектурой компьютеров, высокотехнологичность которых конфликтует с регламентированной тривиальностью жестких алгоритмов неуправляемых аппаратных средств. Технологическая несовместимость и функциональная рассогласованность обусловлены несовершенством импульсной техники и отставанием аналоговой интеграции от цифровой технологии.

Приоритет развития цифровой техники [1] - [3] объясняется простотой и наглядностью операторов исчисления алгебры логики, инициирующей гибкие алгоритмы с микропрограммным управлением однотипными структурами элементарных функций, упорядоченных в адресное пространство матричной архитектуры БИС. Сложность аналоговой техники [4] определяется многообразием физических явлений обмена энергии комбинаторных структур на пассивных и активных элементах с активным или реактивным сопротивлением с линейными и нелинейными функциями, отражающими статику, кинетику или динамику процесса. Уровень сложности функций отражают статические, квазистатические и динамические характеристики с возрастающими по иерархии математическими операторами: арифметики и алгебры, дифференциального и интегрального исчисления.

Несовершенство методов импульсной техники [5] зависит от различных процессов преобразования (амплитуда - время - код) параметров сигналов и измерения (последовательное, параллельное, смешанное) информации, интегрированных с функциями обмена и управления, хранения и обработки последовательности импульсов (частоты и широты, фазы и числа). Усугубляет интерфейсный парадокс отсутствие единой меры и общего критерия эффективности, объединяющих методы различного ранга цифровой, аналоговой и импульсной техники в универсальную технологию проектирования амплитудно-дискретных преобразователей. Развитие интеллектуальных технологий, систем и средств определяется уровнем схемотехники АИС, архитектурой АИВВ и информационным обеспечением на уровне аппаратных и метрологических средств, программного и математического обеспечения.

Информационная концепция, в отличие от количественной технологической, критериями оценки использует интегральные меры качества функций, упорядочивающие информационные процессы для организации коммуникабельного информационного обеспечения по объективным закономерностям науки и техники, сформированными в виде принципов микросхемотехники: аналогии и эквивалентности, дуальности и симметрии. В монографии [6] проведен информационный анализ принципов микросхемотехники для систематизации синтеза и анализа АИС, АЦП и ЦАП, АИВВ микропроцессорных систем в информационную технологию проектирования гибкой архитектуры с информативным математическим обеспечением и эффективными метрологическими средствами.

С позиций гносеологии информационных процессов дифференцирована архитектура АИВВ по способам преобразования сигнала и измерения информации. Способы преобразования сигнала синтезированы линейными характеристиками и семейством временных диаграмм в амплитудно-, время- и дискретноимпульсной форме с промежуточным и непосредственным представлением в код. Показан вектор развития аппаратных средств АИС с широтно-, частотно- и фазоимпульсным преобразованием в архитектуру АЦП и ЦАП с число- и кодоимпульсным формированием параметров сигнала. Способы измерения информации совершенствуют неуправляемую структуру АИС с фиксированными связями и жестким алгоритмом последовательного действия в гибкую архитектуру АЦП и ЦАП параллельного и смешанного представления амплитуды в нормированный эквивалент.

Проведен сопоставительный анализ методов проектирования АИС для разработки информационной технологии. По информативности оператора методы классифицированы на дифференциальные, интегральные и информационные. Показано, что дифференциальные и интегральные методы синтезируют математические модели, характеристики и алгоритмы при анализе временных диаграмм и схем, а информационные методы интегрируют закономерности анализа и синтеза научных и технических решений в информационную технологию проектирования импульсных процессов преобразования по принципам микросхемотехники. На примере методов физико-химического контроля (графических, аналитических, статистических) доказана эффективность информационных методов аналитического контроля динамических процессов с нелинейными амплитудно-временными характеристиками, основанными на способах определения информативных параметров мер в линейном пространственно-временном континууме.

Элементным базисом АИС служат компараторы и интеграторы в аналоговом, импульсном и цифровом представлении, проектирование которых показано информационными методами. На примере аналогового компаратора развит метод активного делителя напряжения с выявлением условия разбаланса. АИС развивают от аппаратных средств компараторов и интеграторов в архитектуру генераторов СИС и таймеров БИС за счет интеграции информационных процессов в программно управляемое преобразование. Показана эффективность минимизированных таблиц состояния, развивающих комбинаторную структуру АИС в упорядоченную архитектуру АЦП и ЦАП с линейным представлением информации в нормируемые эквиваленты мер.

С позиций дидактики от простого к сложному проанализированы в основных формах науки и техники АЦП и ЦАП последовательного, параллельного и смешанного измерения. В последовательных АЦП отмечено совершенствование аппаратных средств от структур на интеграторе и мультивибраторе к следящему каналу на основе ЦАП. Параллельные АЦП и ЦАП упорядочивают матричную архитектуру при их интеграции в комбинированные преобразователи, проектирование которых развивается до методов эквивалентных преобразований. Смешанные АЦП иллюстрируют повышение эффективности архитектуры по вектору развития математического обеспечения и адаптации метрологических средств от преобразователей следящего действия и двойного интегрирования к БИС с поразрядным уравниванием, ПЛМ которой проектируют методом эквивалентных программ. АЦП и ЦАП организуют линейные преобразования сигнала с представлением информации в нормируемый эквивалент с аналогичными нормированными статическими характеристиками для различного интеграла информационных процессов, что позволяет синтезировать и анализировать их функции в основных формах схемотехники, математики и физики, информатики и метрологии методами аналогии информационной технологии проектирования АИВВ с адаптивным диапазоном и регулируемой точностью, регламентированных погрешностью нормируемых мер.

Работа [6] развивает информационные концепцию и технологию в область аналоговоимпульсной техники и является логическим продолжением монографий [1] - [3] по цифровой и микропроцессорной техники, учебных пособий по аналоговой [4] и импульсной [5] техники преобразователей сигнала и энергии. Теоретические материалы систематизируют исследования по аналоговой, импульсной и цифровой микропроцессорной технике для автоматизации аналитического контроля и технологических процессов, электрооборудования и энергоснабжения, конструирования радиоэлектронных и микропроцессорных средств. Монография предназначена для инженерного синтеза и анализа АЦП и ЦАП автоматических интерфейсов ввода-вывода в базисах ИС, СИС и БИС на практике в учебном процессе и научных исследованиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Герасимов Б. И., Глинкин Е. И. Микропроцессорные аналитические приборы. М.: Машиностроение, 1989. 248 с.
- 2 Герасимов Б. И., Глинкин Е. И. Микропроцессоры в приборостроении. М.: Машиностроение, 1997. 246 с.
- 3 Глинкин Е. И. Схемотехника микропроцессорных систем. Тамбов: Изд-во ТГТУ, 1998. 158 с.
- 4 Глинкин Е. И. Схемотехника аналоговых интегральных схем. Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2000. 120 с.
- 5 Глинкин Е. И., Глинкин М. Е. Схемотехника БИС. Выпрямители и инверторы. Тамбов: Изд-во ТГТУ, 1999. 72 с.
- 6 Глинкин Е. И. Схемотехника аналого-цифровых преобразователей. Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2001. 160 с.

Кафедра "Электрооборудование и автоматизация"

УДК 681.5:536

А. С. ГРИГОРЬЕВ, А. Н. БАННИКОВ

УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПЕЧЬЮ

В настоящее время в связи с тем, что современные производства используют в больших количествах энергоемкие устройства огромный интерес представляют устройства, которые при своей работе позволяют так организовать цикл работы, чтобы при этом использовалось минимальное количество энергии. Это достигается использованием современных устройств дозируемой подачи энергии к объектам, управляемых электронно-вычислительным оборудованием. В связи с этим в статье рассмотрен один из возможных вариантов такого устройства применительно к промышленной печи.

Данное устройство осуществляет регулирование средней мощности нагревателей путем пропуска некоторого целого числа периодов сети за заданный период времени. Оно предназначено для задания и поддержания различных температурных режимов, а также для нагрева и охлаждения по различным тепловым кривым (изменяющимся во времени) промышленной печи. Прибор позволяет управлять объектом в трех режимах. В первом информация о температуре объекта поступает в компьютер, обрабатывается им, а затем компьютер рассчитывает оптимальный сигнал управления и подает его на устройство. Во втором режиме сигнал управления подается вручную оператором. В третьем режиме температура объекта задается вручную, а устройство затем следит за поддержанием заданной температуры. Особенность данного устройства в том, что оно не создает помех в сети и нагружает используемую сеть симметрично. Для этой цели в устройстве применены оптосимисторы, которые срабатывают только при проходе сетевого напряжения через нуль, и схема работает синхронно с периодами сети, а не полупериодами. Для визуального контроля в устройстве применены индикация температуры объекта и уровня мощности подводимого к объекту. Устройство разработано по модульному принципу и может быть легко подвергнуто модернизации. Блок-схема устройства изображена на рис. 1. Установка состоит из следующих блоков: питания, силового, индикации уровня мощности, управления, сопряжения, канал измерения температуры, индикации температуры. Блок питания осуществляет питание всех устройств, а также вырабатывает импульсы синхронизации. Силовой блок осуществляет подключение нагревателей к сети в различной комбинации. Блок индикации уровня мощности отображает уровень мощности, подводимый к теплообъекту в данный момент времени. Блок управления осуществляет управление силовой частью в зависимости от данных пришедших от ЭВМ, заданных вручную, или приходящих из канала измерения температуры. Блок индикации температуры служит для отображения температуры объекта в цифровом виде. Рассмотрим более подробно назначение и функционирование каждого блока.

Блок управления предназначен для выработки последовательности импульсов с разной скважностью, которая зависит от уровня мощности. Синхроимпульсы с частотой 50 Гц приходят на синхровход сдвигающего регистра, организованного на микросхеме 561ИР2. Регистр имеет 7 разрядов. При приходе первого синхроимпульса логическая 1 записывается в первый разряд регистра, при приходе второго синхроимпульса логическая 1 из первого разряда сдвигается во второй, а в первый записывается новая логическая 1. Так продолжается пока не заполнится 6 разрядов, после чего высокий уровень седьмого разряда обнулит регистр и процесс начнется заново. Таким образом имеем 6 разных скважностей (на первом разряде 7/8, на втором 6/8, на третьем 5/8 и т.д.). Остается лишь скоммутировать разряды с управляющим элементом. Эту функцию выполняет мультиплексор 561КП2. На его адресные входы подается комбинация выбора разряда регистра. Код на мультиплексор приходит с устройства сопряжения. Основой блока является счетчик. Данный счетчик имеет функции прямого, обратного счета, а так же параллельной загрузки и обнуления. При управлении от ЭВМ на вход параллельной загрузки выставляется код и при синхроимпульсе происходит запись. При ручном управлении формирование кода происходит посредством подачи сигналов на декрементирующий

или инкрементирующий вход счетчика. Для устранения дребезга контактов применена стандартная схема антидребезга. Индикация уровня мощности выполнена на семисегментном индикаторе и дешифраторе [1].

Силовой блок состоит из ключевого транзистора, оптосимисторов МОС 3043, мощных симисторов, и индикатора. При приходе на базу транзистора логической 1 он открывается и включает оптосимисторы. Оптосимисторы имеют встроенное слежение за нулем сети, то есть их зажигание строго синхронизировано с сетью, что избавляет от нежелательных помех. Оптосимисторы в открытом состоянии замыкают цепь включения мощных симисторов, которые управляют нагрузкой.

Устройство измерения температуры выполнено следующим образом. Контроль температуры происходит посредством двух термопар и термодатчика. Термопары включены таким образом, что их сигналы вычитаются. После чего сигнал попадает на дифференциальный усилитель, где он усиливается. Коэффициент усиления усилителя регулируется с помощью подстроечного элемента в процессе калибровки канала измерения температуры. Описанная схема позволяет измерять разность между температурой рабочей зоны и температурой окружающей среды. Для того чтобы измерить абсолютную температуру, а не относительную был применен следующий способ. Температуру окружающей среды измеряют с помощью термодатчика LM315, напряжение на выходе которого пропорционально температуре в градусах Кельвина. Это напряжение подается на преобразователь, который переводит его в сигнал пропорциональный температуре в градусах Цельсия. Этот сигнал подмешивают в дифференциальный усилитель, усиливающий сигнал с термопар. В результате, напряжение на выходе усилителя сигнала термопар пропорционально температуре рабочей зоны. Для того чтобы обеспечить компьютер данными о температуре объекта, необходимо перевести сигнал пропорциональный температуре из аналогового в цифровой вид. Для этой цели был применен аналого-цифровой преобразователь. Его выходы соединяются с портом компьютера непосредственно, или через специальную интерфейсную карту. Для оперативного визуального контроля температуры выходной сигнал АЦП подается также на трех разрядный цифровой индикатор. С выхода дифференциального усилителя напряжение пропорциональное температуре приходит также на схему автоматической стабилизации температуры, которая сравнивает это напряжение с установочным значением, задаваемым оператором, и осуществляет позиционное управление нагревателем [2].

Блок питания имеет следующие особенности: он вырабатывает два напряжения +5 В и +9 В, а также синхронимпульсы отсчитывающие целое число периодов сети.

Упрощенная модель данного устройства испытывалась совместно с ЭВМ и показало работоспособность разработанной схемы. Применение оптосимисторов специально разработанных для аппаратуры не создающей помех в сети привело к упрощению схемы по сравнению с аналогами и как следствие к снижению себестоимости, повышению надежности. В работе прибор не создавал помех и нагружал полностью симметрично используемую сеть. Модульная структура схемы позволяет легко наладивать и модернизировать устройство при решении широкого круга задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Дахнович А. А., Казаков В. Н., Качкин В. В. Цифровая микросхемотехника: Учебное пособие. Тамбов: Тамб. гос. техн. ун-т, 1997. 141 с.
- 2 Опадчий Ю. Ф., Глудкин О. П., Гуров А. И. Аналоговая и цифровая электроника: Учебник для вузов / Под ред. О. П. Глудкина. М.: Радио и связь, 1996. 768 с.

Кафедра "Конструирование радиоэлектронных и

микропроцессорных систем"

УДК 658.52.011.56

*С. В. Лазутин, Т. В. Овсянкин**

ПОСТРОЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РЕГЛАМЕНТА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА НА ОСНОВЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПОКОМПОНЕНТНЫХ БАЛАНСОВ

Основной целью деятельности любого предприятия является получение максимальной прибыли. Специфика современного рынка и условия жесткой конкуренции, характерные для сегодняшнего дня, заставляют непрерывно искать пути повышения рентабельности производства, совершенствования процесса управления и планирования.

Каким образом можно увеличить прибыль? Основные способы увеличения прибыли - это оптимизация и модернизация производства, увеличение достоверности и скорости распределения информации, снижение потерь рабочего времени, материалов и энергоносителей по ходу технологического процесса. Одним из наиболее эффективных из перечисленных способов, не требующим больших капитальных затрат, является определение причин и источников потерь и их устранение.

Традиционно, потери в ходе производства распределялись на себестоимость конечного продукта практически без дополнительного анализа причин их возникновения и разработки адекватных мер устранения этих причин, поскольку не имелось возможности оперативного сбора адекватной информации о ходе производственного процесса.

Данная ситуация вполне разрешима при использовании современных технических и программных средств, путем установки контрольно-измерительных приборов на оборудование. В этом случае необходимы значительные капитальные вложения в техническое построение системы, а также хорошее программное обеспечение, обеспечивающее согласование данных.

В связи с этим приобретает актуальность поиск других решений данной проблемы. Как представляется авторам, одним из наиболее перспективных вариантов является анализ производственного процесса путем построения покомпонентных балансов, поскольку этот подход реализует концепцию извлечения прибыли с использованием существующих мощностей.

Материальный баланс предприятия, т.е. взаимное сопоставление фактического расхода ресурсов и расхода, рассчитанного по величине произведенной продукции, - это основа для определения потерь. Но сам по себе балансовый контроль материальных потоков является лишь средством приблизительного подсчета потерь, но не выявления причин, места и времени их возникновения. Поэтому требуется дополнительная оперативная информация о ходе производственного процесса. Эта информация может быть получена путем ввода дополнительной отчетности в цехах. Периодичность получения информации - посменно.

Как правило, контроль хода производства, выпуска продукции, расхода ресурсов и организация выполнения оперативных планов ведется на внутрицеховом уровне планово-диспетчерским бюро и планово-управленческим персоналом участков (мастер, диспетчер, распределитель работ). В качестве инструмента диспетчеризации при стабильной номенклатуре используется график загрузки оборудования (в котором указываются номер партии деталей и число деталей, которые будут обработаны за смену на рабочем месте и на участке в целом). В условиях меняющейся номенклатуры используются сменно-суточные задания для рабочих мест и участков. Сменно-суточное задание - директивный учетно-денежный документ, помогающий мастеру распределить работу, организовать ее выполнение и вести контроль за ходом производства.

* Под руководством Б. С. Дмитриевского.

Другая необходимая информация поступает из различных подразделений производственного из различных подразделений предприятия. Она, как правило, уже формализована и принимает участие в функционировании других автоматизированных систем (система производственного планирования).

Принципиальная схема работы информационной системы контроля выполнения регламента производственного процесса на основе формирования покомпонентных балансов представлена на рис. 1.

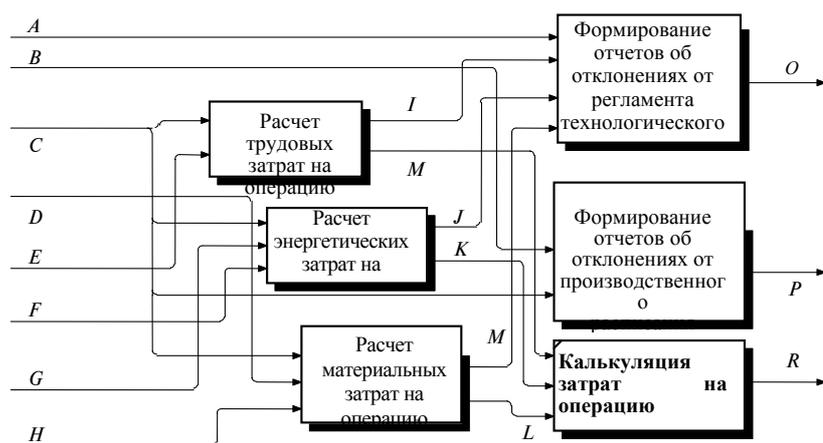


Рис. 1 Формирование покомпонентных балансов

На рис. 1: *A* - технологический процесс; *B* - производственное расписание; *C* - информация о выполнении сменного задания; *D* - информация о затраченных материальных ресурсах; *E* - информация об оплате труда работников; *F* - информация об оборудовании; *G* - информация о тарифах на энергию; *H* - информация о стоимости сырья и материалов; *I* - количественное выражение трудовых затрат на операцию (время); *J* - количественное выражение энергетических затрат на операцию; *K* - стоимостное выражение энергетических затрат на операцию; *L* - стоимостное выражение материальных затрат на операцию; *M* - количественное выражение материальных затрат на операцию; *N* - стоимостное выражение трудовых затрат на операцию; *O* - информация об отклонениях от регламента; *P* - информация об отклонениях от производственного расписания; *R* - информация о затратах на производство.

В конечном счете, целью диспетчеризации является выполнение оперативных планов, снижение потерь рабочего времени, материалов и энергоносителей по ходу технологического процесса, определение причин и источников потерь и их устранение. В связи с этим, при внедрении описываемой системы появляется три направления оптимизации работы предприятия в целом.

Первое - оперативная корректировка производственного плана.

Второе - оперативное выявление объемов и источников потерь рабочего времени, материалов и энергоносителей в ходе технологического процесса, а также определение ответственных лиц.

Эта задача, может быть решена при помощи вычислительной техники и оператора в значительно более короткие сроки, чем при полностью ручном способе, поскольку машинная обработка данных предоставляет необходимый уровень достоверности и скорости распределения информации.

Третье направление оптимизации работы - возможность визуализации и более глубокого анализа структуры себестоимости продукции, который позволит выбрать наиболее выгодные для предприятия номенклатурные единицы. На этапе анализа возможно выявление скрытых резервов или лишних вложений предприятия.

Актуальность задачи очевидна не только потому, что оптимизация производства, увеличение достоверности и скорости распределения информации, снижение потерь рабочего времени, материалов и энергоносителей по ходу технологического процесса являются основными способами увеличения прибыли, но и потому, что информационный контроль производства дает значительное повышение эффективности управления объектом.

На сегодняшний день разработано большое количество автоматизированных систем, в той или иной степени реализующих рассматриваемую задачу. Среди вариантов реализации наиболее совершенными, с точки зрения эффекта от практического использования, являются системы функционально являющиеся подсистемами той или иной интегрированной автоматизированной информационной системы управления предприятием. Подобные большие системы требуют значительных капиталовложений при покупке и внедрении, поэтому большинство предприятий нашей страны просто не может себе их позволить. В проекте данной системы применен подход, реализующий концепцию извлечения прибыли с использованием существующих мощностей. Это анализ производства путем построения покомпонентных балансов, который позволит решить не только задачу количественной оценки потерь по ходу технологического процесса, но и задачу определения причин и источников потерь и их устранение.

УДК 681.5.08:536:2

А. В. Кокин, Д. В. Горелкин, О. А. Белоусов*

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ РАБОЧЕЕ МЕСТО ПРОЕКТИРОВЩИКА МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Одним из перспективных направлений в энергосбережении является создание микропроцессорных систем оптимального управления (СОУ) динамическими объектами. В то же время 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. Показательно, что использование автоматических систем, реализующих функцию оптимального управления электродвигателями (ЭД), позволяет снизить затраты энергии в динамических режимах на 15 - 30 %.

Основными этапами проектирования СОУ являются анализ объекта управления, постановка задачи проектирования, снятие экспериментальных данных, идентификация модели объекта, разработка математического и программного обеспечения контроллера, их имитационное моделирование и тестирование, выбор аппаратного обеспечения, разработка технической документации.

Предлагаемая вниманию работа посвящена созданию автоматизированного рабочего места (АРМ) по проектированию микропроцессорных систем оптимального управления, который необходим как для проведения исследований при решении задач оптимального управления и автоматизации электроприводов, так и для учебных целей. АРМ позволяет проводить сквозной цикл работ по проектированию автоматических систем контроля и управления электродвигателями (ЭД) постоянного тока с учетом изменения нагрузок, моделирования помех и внештатных ситуаций, что накладывает ряд повышенных требований к устойчивости и управляемости системы электропривода, а также к безопасности работы.

Особенностью АРМ является наличие виртуальной лабораторной установки для моделирования СОУ электроприводом постоянного тока на базе автономного устройства СМ5400 и персонального компьютера.

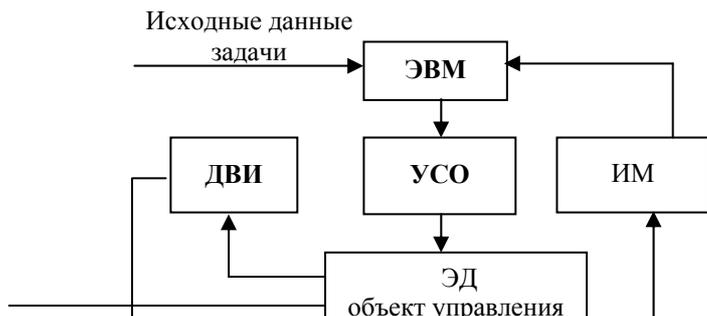
В состав лабораторной установки входят:

- двигатель постоянного тока;
- система контроля за состоянием динамических характеристик двигателя;
- комплект съемных дисков, которые служат для изменения нагрузки на валу двигателя.

Для реализации управляющих воздействий разработана система управления, основанная на цифровом регуляторе мощности с использованием широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Также потребовалась разработка нового измерительного модуля (ИМ) с увеличенной разрядностью и помехозащищенностью. Обмен информацией с персональным компьютером осуществляется через параллельный порт.

Разрабатываемые системы оптимального управления ЭД должны выполнять четыре основные функции: регистрировать информацию о состоянии объекта; преобразовывать и обрабатывать информацию; вырабатывать управляющее воздействие; поддерживать диалог с человеком-оператором. В соответствии с этим структура АРМ (см. рис. 1) состоит из следующих функциональных блоков:

- ЭД - объект управления;
- ДВИ (датчик входной информации) осуществляет преобразование сигналов в виде электрических напряжений, соответствующих уг-лам поворота вала электродвигателя, в нормированные электрические сигналы;
- ИМ (измерительный модуль) осуществляет предварительную фильтрацию сигналов, поступающих от датчиков входной информации и преобразование информации к стандартному для вычислительного устройства формату;
- УСО (устройство сопряжения с объектом) формирует управляющие воздействия на исполнительные механизмы ЭД;
- ЭВМ позволяет выполнять, как функции устройства управления ЭД в режиме натурального моделирования, так и работы по проектированию микропроцессорных систем оптимального управления.



* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук доцента Л. П. Орловой.

Рис. 1 Структура АРМ

В состав программного обеспечения АРМ, кроме известного комплекса программ [1], позволяющих выполнять основные этапы по проектированию (идентификация модели ЭД, анализ и синтез оптимального управления), также входит монитор оператора. Данная программа интегрирует функции, необходимые как для контроля за состоянием ЭД, так и для обеспечения управления по заданной оптимальной программе.

В основу УСО положен импульсный цифровой регулятор мощности (ЦРМ), который изменяет напряжение на ЭД, в соответствии с цифровым кодом, получаемым от ЭВМ. В ЦРМ можно выделить две основные части - силовая и управляющая.

Силовая часть служит для управления энергией, поступающей от источников питания двигателя. Силовые элементы работают, как правило, в ключевом (импульсном) режиме. Этим обеспечивается высокий Кпд. Применение тиристора в качестве ключевого элемента позволило существенно повысить мощность управляющего воздействия, так как максимальные значения токов и напряжений для этого элемента существенно больше, чем для мощных транзисторов.

Управляющая часть ЦРМ сконструирована на основе широтно-импульсной модуляции (ШИМ) [2].

Необходимость уменьшения ресурсов ЭВМ, затрачиваемых на измерение, повышение помехозащищенности, увеличение точности измерений, потребовала разработки специализированного ИМ. Он представляет собой восьмиразрядный двоичный счетчик, программно управляемый с ЭВМ.

Программное обеспечение для лабораторной установки функционирует в среде WINDOWS. Для пользователя оно представляет виртуальный экран с интегрированным набором функций по управлению электроприводом, имитационным и натурным моделированием, контролем за состоянием его параметров, сбором и обработкой информации, полученной с УСО.

Для реализации алгоритмов оптимального управления, полученных при помощи АРМ, было разработано микропроцессорное устройство (лабораторный контроллер - ЛК), основанное на однокристальной микроЭВМ семейства AT89 фирмы Atmel [3]. ЛК позволяет отказаться от использования ЭВМ в процессе реализации оптимального управления.

Лабораторная установка существенно расширяет возможности АРМ для образовательного процесса по целому ряду дисциплин, связанных с измерением, проектированием, испытанием, так как 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 (программная, с обратной связью, комбинированные)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Муромцев Ю. Л., Орлова Л. П., Капитонов И. Е. Экспертная система "Энергосберегающее управление динамическими объектами". Общие сведения / Вестник ТГТУ. Т. 1. № 3-4, 1995. С. 221 - 226.
- 2 Алексиян А. А., Галахов В. А., Комаров В. М. Ключевые усилители низкой частоты с использованием ШИМ // Зарубежная радиоэлектроника. 1986. № 5.
- 3 Гребнев В. В. Однокристальные микроЭВМ семейства AT89 фирмы Atmel. Санкт-Петербург, 1998.

Кафедра "Конструирование радиоэлектронных
микропроцессорных систем"

УДК 621.187.3

А. С. Максимов

К ВОПРОСУ БОРЬБЫ С НАКИПЕОБРАЗОВАНИЕМ

В настоящее время большое внимание уделяется разработке новых, наиболее совершенных технологических энерго- и ресурсосберегающих методов и приемов, созданию более эффективных машин и агрегатов в ряде производств, а также интенсификации процессов в промышленности и сельском хозяйстве [1].

На предприятиях и в организациях агропромышленного комплекса России эксплуатируется более 700 тыс. котлов и теплогенераторов, в которых из-за неудовлетворительной водоподготовки и низкого уровня эксплуатации образуется

накипь, приводящая к снижению КПД котлов до 25 - 60 %, перерасходу топлива на 10 % и более, пережогу котлов и сокращению срока их службы до 1 - 3 лет [2].

Все это подчеркивает актуальность проблемы борьбы с накипеобразованием для обеспечения безаварийной и экономичной работы теплотехнического оборудования (ТТО).

Для снижения накипеобразования применяют следующие методы:

1) реагентные (введение в подогреваемую среду как химически активных (подкисление, подщелачивание, содоизвесткование, ионообменная обработка и др.), так и химически нейтральных веществ - затравок (гипс, мел, алебастр, песок, антинакипины или парафины и др.);

2) безреагентные (различные механические приспособления такие, как вибраторы, турбулизаторы, применяют также магнитную и ультразвуковую обработки, увеличивают скорость или количество пульсаций подогреваемого потока и др.);

3) газожидкостные (вдув газообразного реагента в нагреваемую среду) и др. [1, 2, 3, 4].

Но приведенные методы противонакипной обработки воды не обеспечивают 100-процентного безнакипного режима работы ТТО. Вследствие этого факта ТТО подвергают очистке от накипи. Известно множество способов очистки, которые разделяются на реагентные и безреагентные и др.

К безреагентным относят:

- механическую чистку (проводится вручную с помощью шомполов, шарошек, щеток, бойков, долотов и др. и с помощью специальных приспособлений с электро- и пневмоприводами);

- электромагнитную (для повышения эффективности физических полей при очистке поверхности от накипи в пульсирующий поток добавляют ферромагнитные частицы), электрогидравлическую, электроконтактную чистки и др.;

- гидравлическую чистку поверхностей теплообмена основанную на использовании кинетической энергии потока воды, гидropневматическую чистку (используется водо-воздушная смесь); гидромеханическую чистку (удаление отложений с помощью резиновых шариков и посредством абразивной присадки);

- термическую чистку накипи с поверхности нагрева основанную на различии коэффициентов теплового расширения накипи и металла, а также частичном разложении при нагревании органических веществ, входящих в состав накипи;

- ультразвуковую чистку и другие [1, 2, 3, 4].

К реагентным относят:

- очистку щелочами (едкий натр и тринатрийфосфат);

- очистку органическими кислотами (лимонная, адилиновая, муравьиная и др.);

- очистку комплексообразующими реагентами (этилендиаминтетрауксусная кислота (ЭДТА) и ее натриевые соли, в частности двунариевая соль (трилон-Б), нитрилуксусная кислота (НТК, трилон-А) и др.);

- очистку минеральными кислотами (фосфорная, хромовая, серная, соляная и др.) [2].

Следует заметить, что применяемые методы могут вызвать некоторые отрицательные явления, в результате которых дальнейшая эксплуатация ТТО может быть связана с более высоким темпом накипеобразования или с повышенным износом оборудования. Например, в результате механической чистки повышается шероховатость поверхности и нарушается окисный защитный слой, при химической очистке может произойти частичное растворение окисной пленки и металла, при гидромеханическом способе - повышенный износ поверхности и т.д. Эффективная очистка оборудования от накипи и проблема повышения износостойкости оборудования тесно связаны [4].

Применение реагентных способов очистки часто связано с невозможностью применения других способов, например, для очистки оборудования со сложной конфигурацией и разветвлениями невозможно применить механическую чистку [2]. При недостаточной термоэластичности конструкции затруднено применение термического способа и т.д. [2].

Реагентные очистки проводят различными методами: принудительной циркуляцией раствора по разомкнутому контуру; естественной циркуляцией раствора; "травления"; принудительной циркуляции промывочного раствора по замкнутому контуру [5].

Известны установки для проведения реагентных очисток: а) мобильные котлоочистительные установки МКУ-12, МКУ-6, МКУ-3 смонтированные на шасси автомобиля КамАЗ-5320 и прицепа ГКБ-8350, КамАЗ-5320, ГАЗ-53А соответственно; б) прицепная котлоочистительная установка ПКУ-1,5 на шасси одноосного тракторного прицепа 1-ПТС-4; в) стационарная котлоочистительная установка СКУ-3 [5], г) установка ВХП-1 [2], д) установка для химической очистки теплотехнического оборудования от накипи (УХОТОН) на базе автомобильного прицепа типа ТАПЗ-755 [2].

Разработанная УХОТОН предназначена для очистки оборудования методом принудительной циркуляции промывочного раствора по замкнутому контуру. Установка смонтирована на базе одноосного прицепа. На раме прицепа смонтированы баки для кислоты и расширительный, выполненные из углеродистой стали, покрытой с внутренней стороны кислотоустойчивым защитным материалом (Полян - 2М) толщиной 3 - 4 мм, смеситель из нержавеющей стали, насосная группа состоящая из двух насосов с кислотоустойчивой проточной частью. Для соединения с ТТО предусмотрены шланги с набором насадок.

Принцип работы установки основан на взаимодействии водного раствора органической или неорганической кислот с накипными, коррозионными и другими отложениями, последние под действием циркулирующего раствора кислоты и повышенной температуры подвергаются размягчению, разрыхлению, частичному растворению и отделению от внутренних поверхностей нагрева ТТО [6].

УХОТОН выгодно отличается своими технико-экономическими характеристиками от других подобных установок. Она мобильна, компактна, не требует дорогостоящего технического обслуживания.

Установка используется в энергетической службе предприятий, занятых техническим обслуживанием и ремонтом котлоагрегатов типа "Универсал", КВ-300, Е-1/9, ДКВР, паро- и водо-водяных теплообменников и другого ТТО [6].

Из всего сказанного можно сделать следующие выводы:

- Периодическая очистка ТГО от накипи является практически единственным средством, обеспечивающим экономичную, безаварийную и долговечную работу оборудования.
- Из известных способов очистки ТГО от накипи реагентные способы являются наиболее эффективными и доступными.
- Выпускавшиеся установки для очистки в целом обеспечивали необходимые технологические параметры процесса очистки, но дальнейшую работу по усовершенствованию этих установок необходимо проводить для еще лучшего обеспечения технологии процесса очистки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Богорош А. Т. Вопросы накипеобразования К.: Выща шк., 1990. 179 с.
- 2 Отчет о НИР "Разработка установки для химической очистки теплотехнического оборудования от накипи" / Тамбов. ВИИТиН, 1988. 156 с.
- 3 Богорош А. Т., Федоткин И. М., Гулый И. С. Накипеобразование и пути его снижения в сахарной промышленности. М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1983. 192 с.
- 4 Сагань И. И., Разладин Ю. С. Борьба с накипеобразованием в теплообменниках. К.: Техніка, 1986. 134 с.
- 5 Рекомендации по очистке котлоагрегатов от накипи и нагара на предприятиях и в организациях агропромышленного комплекса. М.; ВНИИТИМЖ, 1988. 92 с.
- 6 Установка для химической очистки теплотехнического оборудования от накипи (УХОТОН). Паспорт и инструкция по эксплуатации 370. 00.00.000 ПС. Тамбов, 1990.

Кафедра "Электрооборудование и автоматизация"

УДК 373

А. Д. Нахман, Е. А. Петрова

МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ НЕРАВЕНСТВ ДЛЯ ЗНАКОПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ

Большое количество ошибок абитуриентов связано с решением стандартных неравенств, обычно не требующих каких-либо искусственных приемов, а лишь умения свести его к простейшему, не допуская при этом ни потери, ни приобретения решения. Для этого следует знать свойства элементарных функций и владеть основными понятиями, связанными с равносильностью неравенств.

Логическая связка "эквивалентность" (\leftrightarrow), чаще всего не до конца понятна поступающим, на чем и основаны многие ошибки. Другой тип ошибок связан с незнанием (или неправильным применением) свойств функции.

Нами проводилось пробное тестирование на случайной выборке слушателей курсов довузовской подготовки при ТГТУ. В эксперименте участвовало 104 человека. Предлагались неравенства, основанные на свойствах знакоположительных функций, обычно вызывающие значительные затруднения у абитуриентов. Один из вариантов задания:

$$1 \quad \sqrt[4]{9-x^2} + \sqrt{x+3} > 0;$$

$$2 \quad \left| 1 - \sqrt[4]{x-2} \right| \leq 0;$$

$$3 \quad \sqrt{2x-1} < -\sqrt{x+7};$$

$$4 \quad (x^2 + 3x + 2)^2 + (x^2 - 4)^2 > 0.$$

Получены результаты тестирования:

- 1) число абитуриентов, выполнивших все задания - 3;
- 2) число абитуриентов, выполнивших 3 задания из 4 - 12;
- 3) число абитуриентов, выполнивших 2 задания из 4 - 20;
- 4) число абитуриентов, выполнивших 1 задание из 4 - 40;
- 5) число абитуриентов, не выполнивших ни одного задания - 29.

Типичные ошибки: 1) формально понимаемая аналогия между уравнениями и неравенствами; 2) рассмотрение ОДЗ часто опускается;

3) не отслеживается равносильность вновь получаемых и исходных неравенств; 4) неправильное понимание определения модуля; 5) неправильное решение простейших неравенств (алгебраические неравенства решаются рассмотрением различных случаев, без применения метода интервалов).

Указанные выше причины ошибок полностью подтверждаются результатами эксперимента, в связи с чем необходимо совершенствовать методику изучения неравенств для знакоположительных функций.

Нами предлагается прием, основанный на "шаблонных" неравенствах для знакоположительных функций. Рассмотрим

$$P(t) = \begin{cases} \sqrt[2n]{t} \\ t^{2n} \\ |t| \end{cases}; \quad D(P) = \begin{cases} R_+, P(t) = \sqrt[2n]{t} \\ R, P(t) \neq \sqrt[2n]{t} \end{cases}.$$

Функции $P(t)$ сравниваем с числом "а" (во всех возможных случаях), путем использования следующих шаблонов.

	$P(t) = a$	$P(t) > a$	$P(t) \geq a$	$P(t) < a$	$P(t) \leq a$
$a = 0$	$t = 0$	$t \neq 0$	$t \in D(P)$	\emptyset	$t = 0$
$a < 0$	\emptyset	$t \in D(P)$	$t \in D(P)$	\emptyset	\emptyset
$a > 0,$ $P(t) = t $	$t = \pm a$	$\begin{cases} t > a \\ t < -a \end{cases}$	$\begin{cases} t \geq a \\ t \leq -a \end{cases}$	$\begin{cases} t < a \\ t > -a \end{cases}$	$\begin{cases} t \leq a \\ t \geq -a \end{cases}$
$a > 0,$ $P(t) = t^{2n}$	$t = \pm \sqrt[2n]{a}$	$\begin{cases} t > \sqrt[2n]{a} \\ t < -\sqrt[2n]{a} \end{cases}$	$\begin{cases} t \geq \sqrt[2n]{a} \\ t \leq -\sqrt[2n]{a} \end{cases}$	$\begin{cases} t < \sqrt[2n]{a} \\ t > -\sqrt[2n]{a} \end{cases}$	$\begin{cases} t \leq \sqrt[2n]{a} \\ t \geq -\sqrt[2n]{a} \end{cases}$
$a > 0,$ $P(t) = \sqrt[2n]{t}$	$t = a^{2n}$	$t > a^{2n}$	$t \geq a^{2n}$	$t < a^{2n}$	$t \leq a^{2n}$

Приведем примеры использования "шаблонов".

1 $\sqrt{x^2 - 4x + 3} > -1.$

Шаблон $P(t) > a, a < 0$ означает, что $t \in D(P)$. В данном случае область определения функции $P(t)$ равносильна условию $x^2 - 4x + 3 \geq 0$. Ответ: $(-\infty; 1] \cup [3; \infty)$.

2 $(x^2 + 5x - 6)^2 \leq 0.$

Шаблон $P(t) \leq a, a = 0$ означает, что $t = 0$. Следовательно, решение неравенства равносильно решению уравнения $x^2 + 5x - 6 = 0$.

Ответ: $x_1 = -6; x_2 = 1.$

3 $|2x + 5| \geq 7$

Шаблон $P(t) \geq a, a > 0, P(t) = |t|$ означает, что решением является

$$\begin{cases} t \geq a \\ t \leq -a \end{cases}. \text{ Для данного случая } \begin{cases} 2x + 5 \geq 7 \\ 2x + 5 \leq -7 \end{cases}. \text{ Ответ: } (-\infty; -6] \cup [1; \infty).$$

Приведем методические рекомендации по усвоению "шаблонных" приемов, как наиболее рационального способа работы, который состоит из отдельных действий. Состав его выражен в виде алгоритма.

В педагогической психологии [1] выделены основные этапы обучения приемам: а) введение или нахождение приема; б) обучение его применению; в) обобщение приема; г) обучение нахождению новых приемов.

На первом этапе уместна диагностика: проведение самостоятельной работы и ее анализ (см. вариант задания, приведенного выше). Затем ставится учебная задача: осознать и усвоить "шаблонный" метод решения неравенств для знакоположительных функций. На этапе применения "шаблона" для решения неравенств, следует использовать обобщающую таблицу (приведенную выше). Умение представить решение задачи в виде некоторой схемы дисциплинирует мышление и воспитывает алгоритмическую культуру. Практическими упражнениями могут служить задания из тестов для абитуриентов [2].

В приведенной ниже таблице, показано как организуется деятельность абитуриентов на примере неравенства:

$$(x-1)^4 + (x^2 - 6x + 5)^2 > 0.$$

Мы следуем системе, приведенной в [1] в связи с другими типами задач.

Вид деятельности абитуриента	Деятельность абитуриента
1 Определить вид "шаблона".	Устанавливает "шаблон": $P(t) > a, a = 0.$
2 Написать результат примененного "шаблона".	Результат: $t \neq 0.$
3 Решить соответствующую равносильную задачу.	Решаем равносильную задачу: $(x-1)^4 + (x^2 - 6x + 5)^2 \neq 0,$ $x \neq 1$
4. Записать ответ.	Ответ: $x \in (-\infty; 1) \cup (1; \infty)$

Для контроля и коррекции знаний уместна традиционная самостоятельная работа с дополнительно включаемыми диагностическими вопросами. На следующем этапе следует обратить внимание учащихся на то, что аналогичные компактные "шаблоны" можно привести для сравнения каждой $P(t)$ с произвольной функцией и вместе с учащимися составить "шаблон" для решения нестрогих неравенств различных типов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Елишева О. Б., Крунич В. И. Учить школьников учиться математике: Формирование приемов учебной деятельности: Кн. для учителя. М.: Просвещение, 1990. 128 с.
- 2 Нахман А. Д. Математика. Тесты для абитуриентов: Учеб. пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2000. 88 с.

Кафедра "Прикладная математика и механика"

УДК 621.311

В. Н. Грошев, Д. Ю. Муромцев

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Важнейшими задачами предприятий электронного профиля на современном этапе являются повышение качества продукции и снижение ее себестоимости. Решение этих задач невозможно без обновления процессов и внедрения энергосберегающих технологий.

Наиболее энергоемким оборудованием при производстве радиоэлектронных средств (РЭС) являются: электрические печи, сушилки, гальванические ванны, установки с электроприводами, ванны для разогрева флюса, припой при автоматизированной пайке печатных плат и другие установки.

Для экономии энергозатрат, как показывает практика, возможно применение следующих направлений: 1) оптимальное энергосберегающее управление динамическими режимами; 2) использование для управления аппаратами и машинами дешевых бортовых компьютеров; 3) выбор оптимального варианта системы автоматического управления; 4) внедрение компьютерных систем повышения качества и энергосбережения; 5) выявление и реализация режимов работы аппаратов с минимумом затрат энергии.

Вопросы энергосберегающего управления динамическими режимами аппаратов и машин достаточно подробно рассматривались в работах [1] - [3].

Возможности современной микропроцессорной техники позволяют создавать недорогие интеллектуальные контроллеры, которые осуществляют совмещенный синтез управления, т.е. синтез алгоритма управления, настройку закона управления по режимам функционирования объектов и осуществление полученных законов [4].

В качестве примера задачи, решаемой интеллектуальным контроллером, рассмотрим задачу аналитического конструирования оптимального регулятора (АКОР) при скалярном управлении, в котором вместо классического квадратичного функционала

$$J_{KB} = x^T(t_K)Nx(t_K) + \int_{t_0}^{t_K} (x^T(t)Gx(t) + qu^2(t))dt \quad (1)$$

минимизируется энергетический функционал J_3 вида

$$J_{\text{Э}} = \int_{t_0}^{t_K} u^2(t) dt, \quad (2)$$

где x - n -вектор фазовых координат; u - скалярное управляющее воздействие; t_0, t_K - начало и конец временного интервала управления; N, G, q - $(n \times n)$ - матрицы и весовой коэффициент, учитывающие важность составляющих квадратичного функционала.

В ряде случаев для тепловых объектов следует минимизировать функционал вида "расход топлива", т.е.

$$J_{\text{T}} = \int_{t_0}^{t_K} |u(t)| dt.$$

Оптимальный регулятор с функционалом (2) будем называть энергосберегающим оптимальным регулятором (ЭОР). Этот регулятор должен обеспечивать решение в реальном времени задачи оптимального управления (ЗОУ) с ограничением на управление, закрепленными концами траектории изменения x и фиксированным временным интервалом, например,

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax(t) + Bu(t), \quad t \in [t_0, t_K], \\ \forall t \in [t_0, t_K] : u(t) &\in [u_{\text{H}}, u_{\text{B}}], x(t_0) = x^0, x(t_K) = x^K; \end{aligned} \quad (3)$$

где A, B - матрицы параметров модели объекта соответствующих размерностей; $u_{\text{H}}, u_{\text{B}}$ - нижняя и верхняя границы изменения управления; x^0, x^K - начальное и конечное значения вектора x .

Исходные данные ЗОУ (3) в начальный момент времени образуют массив

$$R_0 = (A, B, u_{\text{H}}, u_{\text{B}}, x^0, x^K, t_0, t_K). \quad (4)$$

В задаче (3) вместо фиксированного конечного времени t_K для него может задаваться граничное время $t_{\text{ГР}}$. В этом случае при решении ЗОУ дополнительно определяется значение $t_K \leq t_{\text{ГР}}$, при котором функционал $J_{\text{Э}}$ минимален. В отличие от задачи (3) задачу с $t_{\text{ГР}}$ будем обозначать ЗОУ ($t_{\text{ГР}}$).

Задача АКОР заключается в определении синтезирующей функции S , обеспечивающей расчет в каждый момент времени t оптимальных по критерию J , управляющих воздействий u^* в зависимости от текущего значения $x(t)$, остаточного времени $\tau = t_K - t$ при исходных данных R_0 , т.е.

$$u^*(t) = S(x(t), \tau; R_0). \quad (5)$$

Заметим, что при функционале $J_{\text{КВ}}$ обычно $u^*(t)$ ищется в виде

$$u^*(t) = K(t) x(t), \quad (6)$$

где $K(t)$ - $(n \times 1)$ - матрица, определяемая решением уравнения Риккати и зависящая от A, B, G, q [4].

На первый взгляд функционал (2) можно рассматривать как частный случай функционала (1) и поэтому определение синтезирующей функции является простой задачей. Однако это не так, задача (2), (3) осложняется тем, что функция (5) может иметь несколько видов. Для оперативного определения $S(x, \tau; R_0)$ требуется предварительно получить все возможные виды функции (5) для исследуемого объекта, найти границы областей существования видов функций и решить другие задачи анализа. Неправильное определение вида синтезирующей функции может приводить к срыву процесса регулирования при выполнении задачи (3). Если компоненты $K(t)$ в (6) при выбранных G и q зависят только от параметров объекта (матрицы A, B), то вид и параметры синтезирующей функции (5) зависят еще от $u_{\text{H}}, u_{\text{B}}, x^0, x^K$ и $(t_K - t_0)$.

В случае необходимости ЭОР должен обеспечивать ограничения:

а) на максимальные значения компонентов вектора x , например, ограничение на ускорение изменения температуры при нагреве тел, т.е.

$$\forall t \in [t_0, t_K] : \left| \dot{x}_2(t) \right| \leq \gamma; \quad (7)$$

б) на скорость изменения управляющего воздействия

$$\forall t \in [t_0, t_K] : \left| \dot{u}(t) \right| \leq g; \quad (8)$$

в) на выделенный лимит энергии

$$\int_{t_0}^{t_K} u^2(t) dt \leq J_{\text{Л}}, \quad (9)$$

где $\gamma, g, J_{\text{Л}}$ - допустимые значения \dot{x}_2, \dot{u} и затрат энергии (функционала).

Ограничения на управление и $x(t_K)$ в задаче (3) будем называть основными, а ограничения (7) - (10) дополнительными. С учетом дополнительных ограничений размерность массива (4) увеличивается, т.е.

$$\tilde{R}_0 = (A, B, u_{\text{H}}, u_{\text{B}}, x^0, x^K, t_0, t_K; \gamma, g, J_{\text{Л}}). \quad (10)$$

По степени значимости для процесса регулирования ограничения в ЗОУ будем называть сильными (общего характера), если нарушить их физически невозможно или они представляют собой основную цель управления, и частными, если в исключительных случаях для достижения главной цели управления допускается их невыполнение. Выделение этих двух видов ограничений зависит от особенностей конкретного объекта и условий его реальной работы. Ограничение на величину управляющего воздействия в (3) всегда сильное. К частным ограничениям в различных условиях могут быть отнесены ограничения на ускорение или скорость движения объекта, скорость изменения управления, лимит используемой энергии и величину временного интервала управления (t_0, t_k).

Одной из трудностей использования синтезирующей функции (5) является то, что управление $u^*(t_k)$ не соответствует значению, необходимому для установившегося состояния системы. Данный недостаток может быть устранен, если ЭОР при незначительных ошибках регулирования ε переключается на работу с алгоритмом обычного регулятора. Например,

$$u(t) = \begin{cases} S((x(t), \tau; R_0); \\ K_p (\varepsilon(t) + \frac{1}{T_{И}} \int_{t_{П}}^t \varepsilon(\theta) d\theta), \end{cases} \quad \begin{cases} \varepsilon(t) > \varepsilon_{П}, \\ \varepsilon(t) \leq \varepsilon_{П}, \end{cases} \quad (11)$$

где $\varepsilon_{П}$ - пороговое значение ошибки регулирования; $t_{П}$ - время переключения, т.е. $\varepsilon(t_{П}) = \varepsilon_{П}$; $K_p, T_{И}$ - параметры настройки ПИ-регулятора.

Если в модели объекта компонента x_1 соответствует отклонению температуры от заданного значения, то $\varepsilon = x_1$. Таким образом, большие рассогласования управляющее устройство устраняет и с минимумом энергозатрат, и для выхода в установившийся режим переключается на алгоритм регулирования.

Другая трудность применения ЭОР связана с заданием t_k или $t_{ГР}$. Очевидно, что время t_k зависит от величины начальной ошибки $\varepsilon(t_0) = \varepsilon_0$. Один из способов автоматического определения t_k при больших рассогласованиях ε_0 заключается в получении на этапе анализа зависимости $(t_k - t_0) = f(\Delta t_b)$ - здесь Δt_b время максимального быстрогодействия при устранении ошибки.

Основными задачами анализа ЭОР являются следующие:

- определение всех возможных видов синтезирующих функций;
- нахождение областей существования видов синтезирующих функций и соотношений для расчета их параметров;
- определение условий устойчивости замкнутой системы оптимального управления;
- получение соотношений (для границ областей), выполнение которых обеспечивает соблюдение наложенных ограничений на x и u ;
- исследование влияния режимных параметров регулирования и, прежде всего, временного интервала квантования, на показатели эффективности системы управления.

Для оперативного решения задач анализа и синтеза ОУ может быть использована экспертная система "Энергосберегающее управление динамическими объектами".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 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.
- 2 Ляпин Л. Н., Муромцев Ю. Л., Попова О. В. Оптимальный по минимуму затрат энергии регулятор объекта двойного интегрирования // Изв. РАН. Техническая кибернетика. 1992. №2. С. 39 - 46.
- 3 Муромцев Ю.Л., Орлова Л.П. Информационные технологии в проектировании энергосберегающих систем управления динамическими режимами: Учеб. пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2000. 84 с.
- 4 Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А. А. Красовского. М.: Наука, 1987. 712 с.

Кафедра "Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем"

УДК 697.93:681.12

В. А. Тетушкин, В. Н. Чернышов

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

Влага является составной частью большинства неметаллических твердых материалов и веществ различных изделий. От влажности зависят физические, химические, механические и технологические свойства значительной части материалов. Почти во всех отраслях промышленности, в сельском хозяйстве, энергетике и строительстве применяются процессы сушки и увлажнения, предназначенные для изменения влажности материалов. Поэтому количественное определение влажности необходимо почти во всех

отраслях народного хозяйства и в научных исследованиях. В строительстве от влажности зависят основные свойства строительных материалов, теплофизические, теплозащитные и прочностные характеристики строительных сооружений, конструкций и ограждений и, следовательно, их долговечность, надежность и эксплуатационные качества.

В связи с научно-техническим прогрессом коренным образом изменились в последние десятилетия задачи измерений влажности и требования, предъявляемые к ним. Информационный обзор [1] существующих методов контроля влажности твердых материалов и готовых изделий из них показал, что они обладают рядом серьезных недостатков. Основными из которых являются: разрушение материала или изделия, длительность реализации методов из-за значительных затрат времени и средств как на отбор, так и на осуществление измерительных процедур и обработку экспериментальных данных для получения результатов контроля.

Предлагается метод оперативного неразрушающего контроля влажности твердых дисперсных материалов, физической основой которого является дипольная поляризация молекул воды в исследуемых объектах под действием переменного электрического поля высокой частоты (20 ... 30 МГц), сопровождающаяся нагревом исследуемых материалов. Исследуемый образец материала помещают между обкладками конденсатора, подают поле высокой частоты и измеряют температуру. Далее составляется график зависимости температуры от времени, а затем с помощью градуировочных графиков зависимостей температуры от электрических показателей исследуемого материала определяют косвенным методом влажность образца.

Проведя большое количество экспериментов с наиболее часто применяемыми строительными материалами, была разработана математическая модель, описывающая зависимость температуры нагрева исследуемого материала от его влагосодержания.

На основе предложенного метода необходимо разработать микропроцессорную измерительную систему, а также алгоритмическое, программное и метрологическое обеспечение.

Высокочастотный нагрев происходит за счет процессов поляризации имеющихся в диэлектрике связанных зарядов. В присутствии электрического поля заряженные частицы стремятся ориентироваться в направлении поля, при этом накапливается энергия. Если снять поле, то заряженные частицы возвращаются в свое положение и из-за наличия между частицами материала межмолекулярного трения потенциальная энергия превращается в тепловую. Дипольная поляризация, связанная с ориентацией диполей и радикалов относительно молекулы, сначала возрастает с ослаблением молекулярных сил при повышении температуры, а затем снижается из-за хаотического теплового движения молекул, препятствующего влиянию поля. Так как молекула воды является ярко выраженным диполем, поэтому наличие влаги в материале существенно влияет на дипольную проницаемость материала, а в частности на тангенс угла потерь. Следовательно, под действием переменного электрического поля высокой частоты на образцы из одного материала, нагреваться будет больше тот образец, влагосодержание которого больше. Эта особенность и положена в основу предлагаемого метода [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Берлинер М. А. Измерения влажности. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергия, 1973.
- 2 Княжевская Г. С., Фирсова М. Г., Килькеев Р. Ш. Высокочастотный нагрев диэлектрических материалов / Под ред. А. Н. Шамова. 2-е изд. Л.: Машиностроение, 1989. 64 с.

Кафедра "Криминалистика и
информатизация правовой деятельности"

УДК 338.27:389.681.2

Д. А. Шиндяпин

ПОВЫШЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ АНАЛОГОВЫХ БЛОКОВ СРЕДСТВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Метрологический ресурс (МР), оцениваемый временем выхода нормируемой метрологической характеристики (МХ) средства неразрушающего контроля (НК) за допустимые пределы, является особо значимым среди показателей, определяющих метрологическую надежность средств неразрушающего контроля. Задача определения МР является актуальной, так как ее решение позволяет определить время безотказной, в метрологическом смысле, работы как на этапе проектирования, так и на этапе эксплуатации средств НК, дать рекомендации по проведению метрологических проверок средств НК и увеличению их МР.

Определение МР осуществляется с использованием метода базирующегося на построении математических моделей изменения во времени МХ аналоговых блоков (АБ) исследуемых средств НК с применением аппарата аналитико-вероятностного прогнозирования [1]. В основу рассматриваемого метода положено построение математической модели МХ АБ средств НК в виде аналитической зависимости

$$S = F\left(x, \vec{\xi}\right), \quad (1)$$

где S - метрологическая характеристика; x - входной параметр АБ средства НК; $\vec{\xi} = \{\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n\}$ - вектор параметров комплектующих элементов аналогового блока средства НК.

Оценка состояния МХ в различные моменты времени эксплуатации исследуемых средств НК определяется по математической модели (1) с учетом данных об изменении во времени параметров комплектующих элементов с применением статистического моделирования.

Алгоритм моделирования состоит из последовательного моделирования законов распределения параметров элементной базы средств НК и моделирования реализаций МХ средств НК в различных временных сечениях. При этом закон распределения МХ в каждом временном сечении предполагается нормальным.

По полученным в результате проведенного моделирования значениям параметров закона распределения исследуемой МХ средств НК, а именно математического ожидания $m_S(t_i)$, $i = 1 \dots k$ и среднеквадратического отклонения $\sigma_S(t_i)$, $i = 1 \dots k$, строится математическая модель изменения во времени МХ, представляющая собой совокупность аналитических зависимостей, полученных для функции изменения во времени математического ожидания $m_S(t)$ и функций $\psi_{\pm\sigma}(t) = m_S(t) \pm 3\sigma_S(t)$, характеризующих с доверительной вероятностью $P = 0,997$ изменение во времени границ отклонения возможных значений МХ от ее математического ожидания (рис. 1).

Экстраполяция зависимостей $m_S(t)$ и $\psi_{\pm\sigma}(t)$ позволяет дать оценку времени наступления метрологического отказа или величины МР, определяемого временем безотказной в метрологическом плане работы аналогового блока $(0, t_{\text{отк}})$.

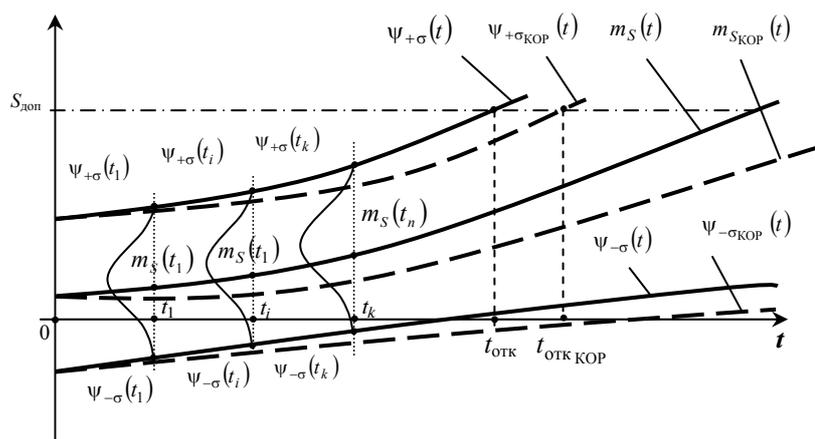


Рис. 1 *Изменение во времени метрологической характеристики аналоговых блоков средств НК*

На этапе проектирования средств НК с применением принципов математического моделирования их МХ можно дать рекомендации по повышению МР средств НК. Предлагаемый алгоритм повышения МР заключается в следующем.

Производится анализ математической модели средства НК с целью выделения в нем элементов, незначительное изменение во времени параметров которых наибольшим образом сказывается на изменении значений МХ. Степень влияния параметров элементов на рассматриваемую МХ оценивается величиной нормируемой частной производной вида

$$R(\xi_j) = \frac{\bar{R}(\xi_j)\sigma_{\xi_j}}{\sqrt{\sum_j \bar{R}^2(\xi_j)\sigma_{\xi_j}^2}}, \quad (2)$$

где $\bar{R}(\xi_j) = \left| \frac{\partial S}{\partial \xi_j} \right|$; σ_{ξ_j} - среднеквадратическое отклонение j -го параметра комплектующего элемента ИИС, $j = 1, \dots, n$.

Далее выделенную группу радиоэлементов делят на две подгруппы по направлению воздействия - в одной объединяют элементы, временное изменение основного параметра которых приводит к росту значения МХ средства НК, в другой - элементы с обратным воздействием, приводящим к убыванию значений МХ.

Осуществляется замена одного или нескольких элементов из одной подгруппы на другие, с такими свойствами функции старения их параметров, чтобы результирующая совместного изменения номиналов в обеих подгруппах частично или, если возможно, полностью взаимно компенсировалась, т.е. не отражалась на изменении во времени значений МХ, либо приводила к ее незначительным изменениям. Математическое моделирование МХ с учетом проведенной таким образом замены дает возможность получить более высокие значения МР средства НК экстраполяцией скорректированных зависимостей $m_{S_{КОР}}(t)$ и $\psi_{\pm\sigma_{КОР}}(t)$ (рис. 1).

Проверка разработанного метода проводилась в процессе проектирования блока усилителя постоянного тока (УПТ) входящего в измерительный канал системы НК теплофизических свойств строительных материалов и изделий. Принципиальная электрическая схема УПТ представлена на рис. 2.

Параметры элементной базы: резисторы $R1 = 51 \text{ кОм} \pm 10 \%$, $R2 = 200 \text{ Ом} \pm 10 \%$, $R4 = R5 = 3 \text{ кОм} \pm 10 \%$, $R6 = 270 \text{ кОм} \pm 10 \%$ (МЛТ-0,25); $R3 = 1 \text{ кОм} \pm 10 \%$ (СП-0,4); $C2 = 470 \text{ мкФ} \pm 20 \%$ (К50-6-15-20).

В качестве показателя метрологической надежности использовалась основная относительная погрешность блока, допустимое значение которой принято равным $\pm 3 \%$.

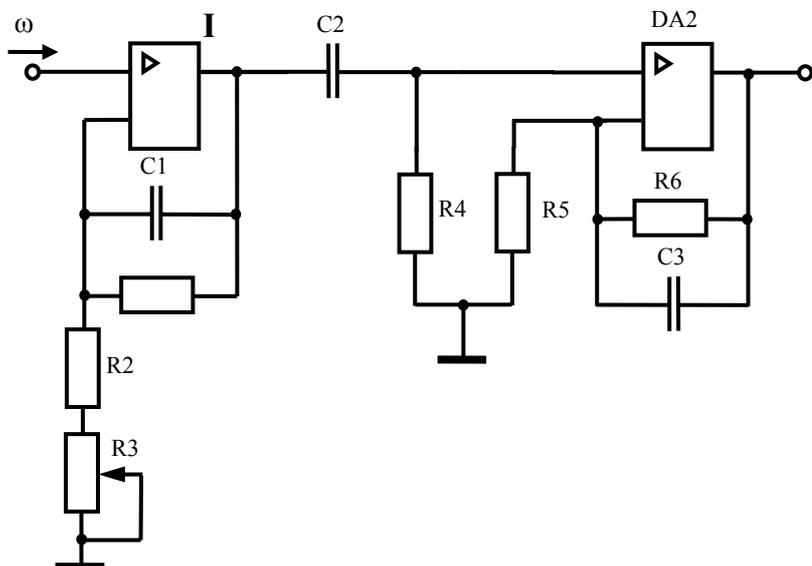


Рис. 2 Схема усилителя постоянного тока

После проведения статистического моделирования построения и анализа математической модели изменения во времени основной относительной погрешности УПТ было определено, что элементы $R5$ и $R6$ оказывают максимальное воздействие на изменение значений исследуемой метрологической характеристики. После замены их в схеме УПТ на другой тип (С2-1) было вновь проведено статистическое моделирование основной относительной погрешности и построение функций $m_S(t)$ и $\Psi_{\pm\sigma}(t)$. Экстраполяция математической модели изменения во времени основной относительной погрешности УПТ показала, что метрологический ресурс в результате проведенной в схеме замены элементов увеличился на 10 %.

Таким образом, предложенный метод позволяет повысить показатели метрологической надежности проектируемого блока модернизацией его схемного решения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Чернышова Т. И. Оценка метрологических характеристик при проектировании процессорных теплофизических средств // Проектирование и технология электронных средств. № 2. 2001. С. 8 - 12.

Кафедра "Криминалистика и

информатизация правовой деятельности"

УДК 53.082.74:536.212.2

*Ю. В. Плужников, А. В. Колмаков,
А. П. Пудовкин, В. Н. Чернышов*

**МЕТОДЫ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ
СООТНОШЕНИЯ СЛОЕВ БИМЕТАЛЛОВ**

В работе рассматриваются методы и измерительные системы непрерывного контроля соотношения слоев биметаллов в процессе их производства.

Первый метод контроля заключается в следующем. Толщину движущейся биметаллической полосы измеряют индуктивным микрометром 1 (см. рис. 1), действие которого основано на преобразовании отклонений толщины полосы, воспринимаемые двумя роликами 2, в изменение индуктивности преобразователя 6, обмотки которого образуют мостовую схему, питаемую от генератора. Сигнал с диагонали моста подается на миллиамперметр, градуированный в миллиметрах отклонения полосы от номинала, и через усилитель 21 на микропроцессор 22. Накладной вихретоковый преобразователь 7, жестко соединенный с подвижным сухарем 3 индуктивного микрометра 1, устанавливается на фиксированном расстоянии от поверхности биметаллической полосы, с генератора 11 на возбуждающую катушку 8 преобразователя 2 подают переменный ток такой частоты f_1 , чтобы глубина проникновения δ возбуждаемых вихревых токов в объекте контроля была заведомо меньше толщины первого слоя биметалла.

Величина глубины проникновения вихревых токов используемой частоты в материал первого слоя биметалла рассчитывается по известной формуле [1]

$$\delta_1 = \sqrt{2 / (\omega_1 \sigma \mu_a)},$$

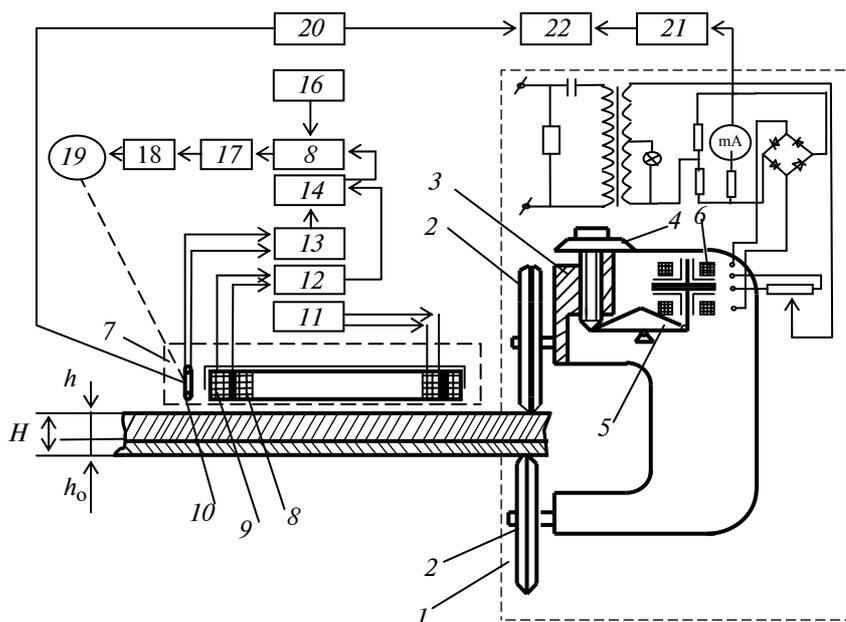


Рис. 1 Устройство контроля соотношения слоев биметаллов

где $\omega_1 = 2\pi f_1$ - круговая частота тока возбуждения, σ, μ_a - соответственно удельная электрическая проводимость и абсолютная магнитная проницаемость материала верхнего слоя биметалла и которая соответствует затуханию амплитуды вихревых токов в e раз по сравнению со значением амплитуды на поверхности объекта. Измеряют: интенсивность электромагнитного излучения измерительной катушкой 9; расстояние между измерительными катушками 9 и 10 до величины $5\delta_1$; интенсивность электромагнитного излучения катушкой 10.

Сигналы с согласующих устройств 12 и 13 поступают на делитель 14, где получают отклонение интенсивностей электромагнитного излучения измерительных катушек 9 и 10, с него - на блок вычитания 15, на второй вход которого с блока 16 задания отношения электромагнитного излучения подается напряжение уставки, моделирующее величину заданного отношения интенсивностей электромагнитных излучений. Разностный сигнал с вычитающего блока 15 через усилитель 17 и демодулятор 18 поступает на реверсивный двигатель 19, который в зависимости от знака и величины рассогласования перемещает в ту или иную сторону измерительную катушку 10 относительно катушки 9. Изменение расстояния между катушками осуществляют до тех пор, пока разностный сигнал на выходе вычитающего блока 15 будет отсутствовать. При этом местоположение катушки 10, соответствующее величине равной $5\delta_1$, преобразованное преобразователем перемещения 20 в электрический сигнал, фиксируется в микропроцессоре 22.

Известно [2], что переменный ток, действующий в возбуждающей катушке 8 преобразователя 2, создает электромагнитное поле, которое возбуждает токи в электропроводящем объекте контроля. Плотность вихревых токов максимальна на поверхности объекта в контуре, диаметр которого близок к диаметру возбуждающей катушки, и убывает до нуля на оси катушки. Плотность вихревых токов убывает также и по глубине объекта контроля, и при расстоянии $r \rightarrow \infty$, по

экспоненте. Расчеты показывают, что при определенной частоте тока возбуждения на глубине объекта контроля $h=1\delta$ электромагнитное поле затухает - до 37 %, при $h=2\delta$ - до 13,7%, при $h=3\delta$ - до 5 %, а при $h=5\delta$ - только 0,7 % силовых линий проникает через первый слой биметалла.

После этого меняют частоту тока возбуждения на f_2 и повторяют аналогичные измерения на этой частоте, сравнивают на второй частоте тока возбуждения величину, равную $5\delta_2$ с измеренным расстоянием между измерительными катушками 9 и 10. Если величины совпадают, то измерение повторяют на следующих частотах $f_i < f_{i-1}$ до тех пор, пока измеренные расстояния между измерительными катушками 9 и 10 не превысят расчетную величину $5\delta_i$. В этом случае величина

$$h = 5\sqrt{2/(\omega\sigma\mu_a)}$$

будет соответствовать толщине верхнего слоя биметалла.

Толщину второго слоя h_0 определяют как разницу между толщиной биметалла H , измеренной индуктивным микрометром, и толщиной верхнего слоя h , измеренной накладным вихревоковым преобразователем.

Сущность второго метода состоит в следующем.

Биметаллическая полоса 1 (см. рис. 2) и эталон 2 намагничиваются с помощью П-образных электромагнитов 3 и 4 на фиксированной частоте генератором 5. Электромагниты установлены со стороны ферромагнитного слоя биметалла. В электромагните магнитная цепь замыкается измеряемой полосой, в эталонном - эталоном. Первичные обмотки электромагнитов питаются переменным током от генератора такой частоты, когда эффективная глубина проникновения вихревых токов больше, чем толщина измеряемой полосы. Во вторичных обмотках электромагнитов возникают напряжения, которые пропорциональны толщине измеряемого ферромагнитного основания биметалла и эталона. Вторичные обмотки соединены так, что их напряжения в схеме сравнения направлены навстречу одно другому. Так как напряжение поступающее от вторичной обмотки эталонного электромагнита постоянно, а напряжение от вторичной обмотки измерительного электромагнита, контролирующего толщину ферромагнитного слоя прокатываемой биметаллической полосы, меняется в зависимости от изменения этой толщины, то результирующее напряжение будет пропорционально отклонению толщины от заданной эталоном.

Выпрямленный ток поступает на указатель 7 отклонения толщины ферромагнитного слоя биметаллической полосы от заданной толщины.

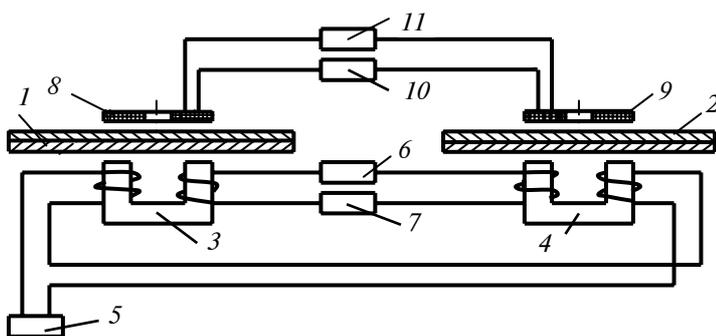


Рис. 2 Структурная схема устройства для реализации второго метода

Экранные измерительная 8 и эталонная 9 катушки расположены соответственно над измерительным электромагнитом 3 и эталонным электромагнитом 4 с противоположной стороны биметаллической полосы 1 и эталона 2. Катушки 8 и 9 соединены последовательно - встречно и напряжения в схеме сравнения направлены навстречу одно другому. Синусоидальный ток, действующий в возбуждающих (первичных) обмотках измерительного и эталонного электромагнитов, создает электромагнитное поле, которое возбуждает вихревые токи в электропроводящем верхнем слое биметаллической полосы. Эти вихревые токи затухают по мере проникновения вглубь исследуемого объекта. Электромагнитное поле вихревых токов воздействует на измерительную 8 и эталонную 9 катушки, наводя в них ЭДС, которые пропорциональны толщине измеряемого верхнего слоя биметалла и эталона. Напряжение эталонной катушки также постоянно, а напряжение измерительной катушки, контролирующая толщину верхнего слоя биметаллической полосы, меняется в зависимости от изменения этой толщины. Результирующее напряжение будет пропорционально отклонению толщины от заданной эталоном. Выпрямленный ток в выпрямителе 10 поступает на второй указатель 11 отклонения толщины верхнего слоя прокатываемого биметалла от заданной толщины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Дорофеев А. Л., Никитин А. И., Рубин А. Л. Индукционная толщинометрия. М.: Энергия, 1978. 184 с.

2 Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий / Под ред. В. В. Клюева. М.: Машиностроение, 1986.

Кафедра "Конструирование радиоэлектронных

и микропроцессорных систем"

УДК 658.562

В. А. САМОДУРОВ, С. В. ПОНОМАРЕВ, О. С. ПОНОМАРЕВА

**О ПЕРСПЕКТИВАХ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ
СТАТИСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ
КАЧЕСТВОМ НА СВЕКЛОСАХАРНЫХ ЗАВОДАХ
ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

На территории Тамбовской области находятся несколько свеклосахарных заводов средней производственной мощности, перерабатывающих около 3 тыс. т свеклы в сутки. Эти предприятия имеют почти полувековую историю. Они пережили множество стадий от развития и стабильной работы во время существования СССР, до грани банкротства в 1990-х годах. Сегодня некоторые предприятия интенсивно развиваются, благодаря умелой и заинтересованной политике руководства. Однако положение дел в области контроля и управления качеством выпускаемой продукции часто представляет собой пережитки прошлого. Многие планы выборочного (но не статистического) контроля построены [1] по принципу прецедента и используют переходящую из одного стандарта (технических условий) в другой формулировку типа: "Из партии взять столько-то (не менее/не более) провести контроль, при неудовлетворительных результатах провести повторную проверку на удвоенной выборке". Как правило, такие планы контроля позволяют успешно (с вероятностью $P = 0,7 - 0,8$) сдавать продукцию с уровнем дефектности до 20 - 50 %, что является недопустимым для современных условий конкурентной борьбы. Так, некоторые предприятия пытались выйти на зарубежного потребителя, но увы, качество нашего сахара не смогло удовлетворить установленные за рубежом требования к качеству.

Сложившееся положение поможет существенно исправить внедрение на предприятиях систем менеджмента качества, отвечающих требованиям международных стандартов ИСО серии 9000. К тому же некоторые предприятия, и в частности Кирсановский сахарный завод, сейчас проводят комплексную автоматизацию и обновление оборудования, что упрощает процесс внедрения систем менеджмента качества. Внедрение таких систем неизбежно, так как 2 января 2000 г. вступил в силу Федеральный закон "О качестве и безопасности пищевых продуктов", который обязывает предприятия пищевой промышленности внедрять системы менеджмента качества.

Одним из принципов системы менеджмента качества является то, что в основе принятия решений должны быть только факты, а не интуиция. Для этого нужно организовать процесс поиска фактов, т.е. статистического материала. Многие из современных статистических методов довольно сложны для широкого применения всеми участниками процесса. Но есть статистические методы, которые можно понять и эффективно использовать без специальной математической подготовки (контрольные карты, диаграммы Парето и др.) и которые, по мнению Исикавы [2], помогают решить 95 % всех проблем, возникающих на производстве.

Несмотря на выше сказанное, опыт использования методов статистического контроля и управления качеством продукции и процессов на отечественных предприятиях практически отсутствует. Основная причина отставания в данной области - отсутствие экономических механизмов, стимулирующих повышение качества и снижение издержек путем использования всех возможных эффективных средств, в том числе и статистических методов [1].

В отношении свеклосахарных заводов положение усугубляется тем, что производство сахара - сложный, непрерывный процесс и представляет собой выпуск нештучной продукции.

Более эффективно выйти из сложившейся ситуации должен помочь анализ организации производственного процесса, проведенный на Кирсановском сахарном заводе. Детальное рассмотрение организации производства выявило возможные барьеры на пути эффективного внедрения и использования статистических методов.

Так, основными причинами могут быть:

- 1) неэффективные системы организационного управления производством;
- 2) причины, связанные с персоналом;
- 3) отсутствие адекватного методического обеспечения производственного процесса;
- 4) причины, связанные с оборудованием и вспомогательными средствами;
- 5) причины, связанные с процессом проведения измерений.

Подробное изучение каждой из основных причин обнаружило базовые факторы, влияющие на результат неэффективного внедрения и использования методов статистического контроля и управления качеством продукции и процессов. Среди них можно выделить:

- нечеткое распределение полномочий и ответственности за контроль и управление качеством при изготовлении продукции;
- низкий уровень подготовки работников, выполняющих работу, одним из условий которой является использование методов статистического контроля и управления;
- отсутствие отработанных и внедренных методик статистического контроля и управления процессом производства;
- недостаточная точность проведения измерений вследствие отсутствия современных средств и методик контроля и управления технологическим процессом.

В результате анализа были сформулированы основные направления работ для эффективного обеспечения предприятий свеклосахарной промышленности инструментами статистического контроля и управления качеством продукции и процессов.

Эти направления работ можно представить в виде последовательности:

- 1) создание на предприятии организационной структуры, обеспечивающей выпуск качественной продукции;
- 2) подготовка персонала в вопросах статистики;
- 3) разработка методик статистического анализа;
- 4) разработка методик статистического регулирования;
- 5) оснащение предприятий современной измерительной базой;
- 6) применение компьютерных технологий для реализации статистического обеспечения управления качеством.

Базовым является первое направление. Для обеспечения выпуска конкурентоспособной продукции необходима организационная структура с четким распределением полномочий и ответственности за качество изготовления продукции, управление качеством и контроль качества.

Немаловажной является работа по подготовке персонала в вопросах статистики. Работникам предприятия, выполняющим работу, связанную с использованием методов статистического контроля и управления, необходимо объяснить актуальность и значимость высокого уровня подготовки в вопросах статистики, для достижения целей в области качества. Необходимо обеспечить подготовку персонала для квалифицированного использования статистических методов. Для этого необходимо оснастить предприятие методиками статистического анализа и статистического регулирования.

Статистический анализ включает в себя статистические методы входного, промежуточного и приемочного контроля.

Методы статистического регулирования, предназначены для контроля за состоянием технологического процесса на производстве. Статистическое регулирование технологического процесса заключается в том, что в определенные моменты времени фиксируют параметры данного процесса. Затем принимают решение о выполнении предупреждающих или корректирующих действий или о продолжении процесса в существующем режиме.

В результате использования контрольно-измерительных средств устаревших модификаций, уровень фактической дефектности на наших свеклосахарных предприятиях очень высок. Тому есть много причин, одна из которых - несогласованность между классами точности применяемых приборов и установленными допусками. Решение этой проблемы потребует немалых финансовых расходов, но оснащение предприятия современной измерительной базой, предоставит перспективы для повышения уровня качества выпускаемой продукции.

Шестое направление работ фактически можно рассматривать как форму существования первых пяти.

Во-первых, при помощи ЭВМ можно преодолеть разрыв, образовавшийся на предприятиях между квалифицированными работниками, разбирающимися в вопросах статистики, и довольно плохо подготовленными в этой области производственниками - пользователями статистических методов.

Во-вторых, использование персональных компьютеров повлечет за собой серьезные изменения в стиле и уровне организации работ в области методического обеспечения статистического управления качеством.

Для этого необходимо в первую очередь обеспечить предприятия достаточным количеством современных компьютеров.

Предлагаемые направления работ должны помочь более эффективно внедрять и использовать методы статистического контроля и управления качеством продукции и процессов на свеклосахарных предприятиях Тамбовской области и, следовательно, помогут обеспечить эффективное функционирование систем менеджмента качества и повысить уровень конкурентоспособности продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Лapidус В. А. Перспективы стандартизации и методического обеспечения статистического управления качеством продукции // Стандарты и качество. 1991. № 1. С. 23 - 28.

2 Глудкин О. П., Горбунов Н. М., Гуров А. И., Зорин Ю. В. Всеобщее управление качеством: Учебник для вузов // Под ред. О. П. Глудкина. М.: Радио и связь, 1999. 600 с.

Кафедра "Автоматизированные системы и приборы"

А. А. Дахнович, М. В. Туренин

СИСТЕМА ОХРАННОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ С ОПОВЕЩЕНИЕМ ПО ТЕЛЕФОНУ

В настоящее время известно достаточно много систем охранной сигнализации [1], в том числе и с оповещением по телефону [2], [3]. Эти системы обладают богатыми функциональными возможностями, однако, как правило, содержат большое количество элементов и требуют дополнительного источника питания, что в конечном счете снижает надежность и усложняет эксплуатацию (требуется контролировать питающее напряжение, степень разряженности батареи и т. п.).

Предлагаемая система, не уступая по функциональным возможностям известным аналогам, выгодно отличается от них меньшим числом элементов и отсутствием дополнительного источника питания. Всю энергию, необходимую для функционирования, она берет из телефонной линии, причем ни в одном из режимов работы не превышает даже половины энергопотребления, установленного стандартом для обычного телефонного аппарата.

Учитывая все требования и необходимые для выполнения функции, было спроектировано устройство, имеющее следующие характеристики и возможности:

- питание от телефонной линии;
- потребляемый ток в режиме охраны $I_{\text{потр}} = 300 \pm 10$ мкА, в режиме вызова $I_{\text{потр}} = 25 \pm 5$ мА;
- звуковое сопровождение об истинном нажатии клавиши номеронабирателя;
- датчики проникновения или нарушения целостности помещения - любые на замыкание, сопротивление контактов $R < 300$ Ом;
- время, необходимое для установки системы в активное состояние или отключение ее по возвращению $t_{\text{уст/откл}} = 30 \pm 5$ с;
- автоматический дозвон до абонента с периодом повторного вызова $t_{\text{авт}} = 30 \pm 10$ с;
- линейный выход управления сиреной, с открытым коллектором, $U_{\text{max}} = 50$ В, $I_{\text{max}} = 100$ мА, $P_{\text{max}} = 0,35$ Вт;
- двухтональный сигнал оповещения $f = 500$ (1000) Гц.

Данное устройство (рис. 1) состоит из следующих функциональных блоков:

- импульсный номеронабиратель (ИНН) с памятью до 22 знаков;
- клавиатура номеронабирателя и органов управления;
- узел приема телефонных звонков;
- входное запоминающее устройство (ЗУ);
- тактовый генератор ($f = 1$ Гц);
- генератор двухтонального сигнала;
- устройство отсчета времени;
- импульсный ключ (ИК);
- ключ управления выходным устройством (линейный выход);
- формирователь питающего напряжения.

Система может работать в одном из двух режимов: "Работа" и "Установка". Переход от одного режима к другому осуществляется оператором с помощью тумблера.

В режиме "Установка" пороговое ЗУ находится в исходном состоянии. На его выходах сформированы сигналы блокировки двухтонального генератора и устройства отсчета времени, последнее находится в нулевом состоянии.

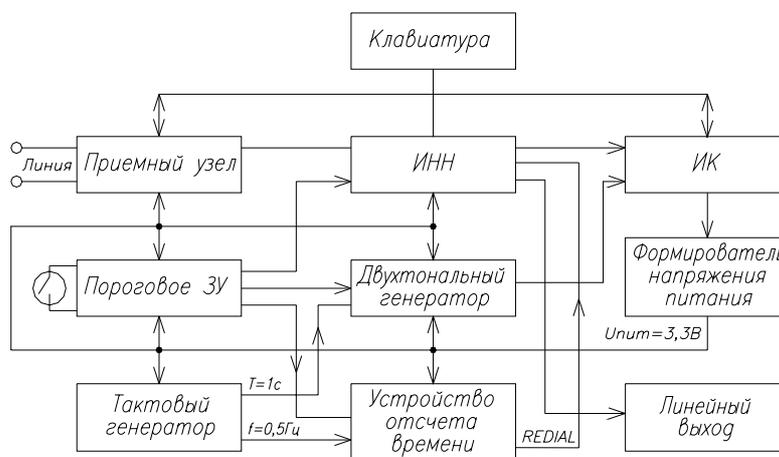


Рис. 1 Блок-схема системы охранной сигнализации с оповещением по телефону

При помощи клавиатуры в ИНН вводится номер телефона, по которому будет сообщаться о проникновении в помещение. После этого оператор переводит систему в режим "Работа", однако пороговое ЗУ не реагирует на информацию датчиков в течение 30 с, что необходимо для ухода из помещения. По окончании паузы система переходит в активное состояние.

В режиме "Работа" до тех пор пока датчики не потревожены, генератор двухтонального сигнала остается заблокированным, устройство ожидает вызова. По приходу вызова он запоминается на 10 с. На ИК с ИНН подается разрешающий сигнал и система "снимает трубку", однако поскольку генератор двухтонального сигнала заблокирован, то абонент слышит молчание. Это соответствует о том, что проникновения в помещение не было. По истечении 10 с система "кладет трубку".

В случае, если датчик зафиксировал нарушение (кратковременное замыкание контактов), это состояние запоминается в пороговом ЗУ. На его выходах формируются разрешающие логические уровни для устройства отсчета времени и генератора двухтонального сигнала. Этот сигнал представляет собой посылку импульсов с частотой 500 и 1000 Гц, чередующихся с периодом $T = 1$ с. Устройство отсчета отмеряет отрезок времени равный 30 с (подсчитываются импульсы тактового генератора с частотой $f = 0,5$ Гц). Если в течение этого срока поступает вызов системы, счет приостанавливается на 10 с для обслуживания вызова, который заключается в том, что система "снимает трубку" и отвечает абоненту сигналом тревоги, после чего дает отбой.

Если в течение 30 с вызова не последовало, то система переходит в активный режим оповещения о нарушении по телефонному номеру, запрограммированному в режиме "Установка". ИК соединяет ее с телефонной линией дважды. Это необходимо для исключения варианта, когда АТС переполнена и у нее нет свободного канала. После этого формируется сигнал REDIAL для ИНН, который набирает номер, находящийся в его памяти. При этом пьезоизлучатель, информирующий об истинном нажатии клавиши, отключается во избежание "подзвонивания". После выполнения этой операции система непрерывно посылает сигнал тревоги. По истечении 30 с устройство вновь переходит в режим ожидания вызова от абонента, в котором находится в течение следующих 30 с и т.д. Таким образом система, в случае нарушения, периодически переходит от режима пассивного ожидания вызова абонента к режиму активного оповещения по заданному номеру и наоборот. Это продолжается до тех пор, пока устройство не будет отключено или переведено в режим "установка". Для удобства соединения охранной системы и телефона, последний подсоединяется к ней непосредственно.

Если кроме оповещения по телефону необходимо осуществить информирование о проникновении на месте, предусмотрена возможность управления дополнительной сиреной или световым сигнализатором. Для этого имеется линейный выход с открытым коллектором. Эти устройства должны иметь собственное питание.

Система была реализована на одной печатной плате из стеклотекстолита и размещена в пластмассовом корпусе. Проведенные испытания показали, что данная система полностью выполняет все операции вышеописанного алгоритма функционирования.

В дальнейшем предполагается перейти к реализации устройства на однокристальном микроконтроллере, что позволит улучшить еще более конструктивные и экономические показатели системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кадино Э. Электронные системы охраны: Пер. с фр. М.: ДМК Пресс, 2001. 256 с.
- 2 Ширяев И. Устройство охраны по телефонной линии. Радио 2000. № 6.
- 3 Попов А. Охранная сигнализация по телефону. Радио 1996. № 5.

Кафедра "Конструирование радиоэлектронных

микропроцессорных систем"

УДК 681.3: 76

А. Н. Пчелинцев, А. А. Горелов, Н. В. Стукалина

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ И ПРОЕКЦИИ

При программировании трехмерных изображений необходимо учитывать особенности восприятия человеком окружающего трехмерного мира. Впервые серьезно об этом задумались художники итальянского Возрождения, которые стремились к максимальному реализму в своих произведениях. Реализм, кроме всего прочего, предполагает воспроизведение пространственной глубины объекта - природного ландшафта, строения, человеческого тела. Именно художники Возрождения ввели ряд важнейших геометрических понятий, которые затем легли в основу проективной геометрии.

Одно из важнейших наблюдений состояло в том, что даже строго параллельные линии человек воспринимает как параллельные только в редких, специальных случаях. Обычно такие линии (или их продолжения) кажутся человеку сходящимися. Это явление получило название эффекта перспективы. Если отметить все точки схождения параллельных линий, нанесенных на участок поверхности земли, который можно считать локально плоским, получим линию горизонта.

Положение объекта обычно задается в системе так называемых мировых координат. Мировые координаты точек объекта в конечном итоге надо преобразовать в экранные координаты. Экран - плоскость, следовательно, экранные координаты являются двумерными. Еще говорят о системе видовых координат, связанной с наблюдателем. Мировые

координаты преобразуются в видовые (видовое преобразование), а видовые координаты преобразуются в экранные (перспективное преобразование).

Положение наблюдателя (его глаза или фотокамеры) задается координатами точки наблюдения. Удобно считать, что объект находится недалеко от начала мировой системы координат. Вектор наблюдения EO (рис. 1) определяет направление наблюдения; кроме того, считают, что точки объекта можно видеть только внутри конуса, вершина которого совпадает с точкой наблюдения, а ось с линией EO .

Система координат $X_E Y_E Z_E$, изображенная на рис. 1, является видовой системой координат. Ее начало расположено в точке E , положительная ось EY_E направлена вверх, а положительная ось EX_E - вправо. Такой выбор осей позволит определить экранные оси в тех же направлениях. Экран расположен между точками E и O перпендикулярно линии наблюдения.

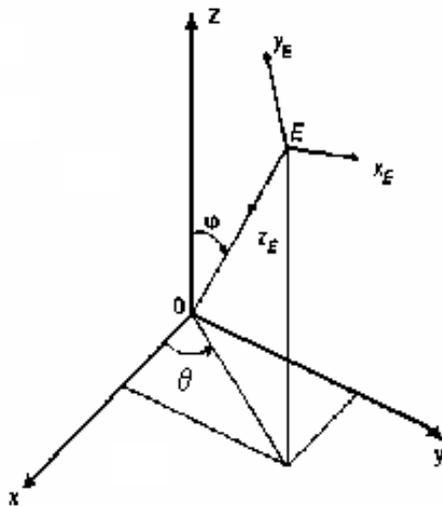


Рис. 1 Система видовых координат

Прямоугольные координаты точки наблюдения в мировой системе координат связаны со сферическими координатами следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} \rho &= \sqrt{x_E^2 + y_E^2 + z_E^2}; \\ x_E &= \rho \sin \varphi \cos \theta; \\ y_E &= \rho \sin \varphi \sin \theta; \\ z_E &= \rho \cos \varphi. \end{aligned}$$

Преобразование координат точки из мировой системы координат в видовую выполняется по формуле

$$\vec{r}_E = V \vec{r}_v,$$

где V - матрица преобразования, имеющая вид:

$$V = \begin{bmatrix} -\sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ -\cos \varphi \cos \theta & -\cos \varphi \sin \theta & \sin \varphi & 0 \\ -\sin \varphi \cos \theta & -\sin \varphi \sin \theta & -\cos \varphi & \rho \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Остается сделать последний шаг - перейти к экранным координатам. Это, собственно, и есть проецирование.

Различают два типа проецирования - параллельное и перспективное. В параллельных проекциях игнорируется видимое нарушение пропорций объекта, возникающее вследствие различной удаленности его частей. Это соответствует удалению точки наблюдения на бесконечно большое расстояние. В перспективных проекциях эффект перспективы учитывается.

Примером параллельной проекции является ортогональная проекция, которая получается простым игнорированием z -координаты после перехода в видовую систему координат. Известны и другие проекции такого вида, например, изометрическая. В параллельных проекциях параллельные геометрические линии объекта остаются параллельными и после проецирования.

В случае перспективной проекции следует определить экранные координаты X и Y , учитывая то, что точка удалена на расстояние z , а экран расположен на расстоянии d от точки наблюдения (рис. 2).

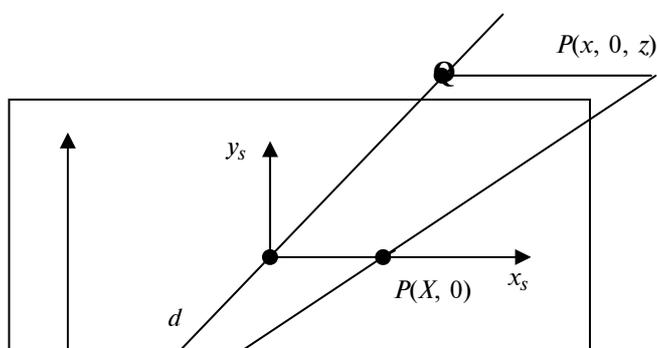


Рис. 2. Определение экранных координат
для перспективной проекции

Точка S является началом экранной системы координат. Точка $P'(x, 0, z)$ - это точка, изображение которой надо спроецировать на плоскость экрана, для простоты у-координата взята равной нулю. Нам следует, таким образом, вычислить значение координаты X - точки пересечения отрезка EP' с плоскостью экрана. Для этого придется вспомнить геометрию - свойства подобных треугольников, из которых следует соотношение

$$\frac{PS}{ES} = \frac{P'Q}{EQ}.$$

Отсюда получаем

$$\frac{X}{d} = \frac{x}{z} \Rightarrow X = d \frac{x}{z}.$$

Аналогичную формулу можно записать и для экранной координаты Y . В своих рассуждениях мы предполагали, что начало экранной системы координат находится в центре экрана. Если это не так, в правую часть формул для X и Y надо добавить слагаемые, задающие смещение начала экранной системы координат относительно центра экрана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Машинная геометрия и графика. М.: Знание, 1990.
- 2 Куценко Л. Н. Машинная графика в задачах проекционной природы. М.: Знание, 1991.
- 3 Немнюгин С. А. TURBO PASCAL: Учебник. СПб.: Питер, 2001.
- 4 Немнюгин С. А. TURBO PASCAL: Практикум. СПб.: Питер, 2001.
- 5 Клетеник Д. В. Сборник задач по аналитической геометрии. М.: Наука, 1975

Кафедра "Информационные технологии в проектировании"

УДК 624.138:625.7.8

Т. П. КОМАРОВА, А. Ф. ЗУБКОВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ВАЛЬЦА КАТКА С УПЛОТНЯЕМЫМ МАТЕРИАЛОМ

При возведении различных инженерных сооружений, к которым можно отнести плотины, дамбы, автомобильные и железные дороги, приходится перемещать большие объемы земляных масс. Причем для обеспечения ими необходимых свойств отсыпаемые грунты необходимо тщательно уплотнять. Толщина отсыпаемого слоя грунта будет зависеть от применяемых уплотняющих машин и их способа воздействия на грунты. В настоящее время для уплотнения насыпных грунтов широкое применение получили гладковальцевые катки вибрационного действия. Применяются также катки статического действия. Существующими технологическими схемами предусматривается применение нескольких прицепных катков с одним тягачом, что позволяет увеличить ширину уплотняемой полосы и, следовательно, повысить

производительность комплекта машин. Применение вибрационных катков предусматривает использование их на начальном этапе укатки в статическом режиме.

При уплотнении строительных материалов дорожный каток в процессе движения воздействует рабочими органами на материал. Под действием его массы в зоне контакта вальца с материалом возникают напряжения, за счет которых происходит уплотнение материала. Установлено, что лучший эффект уплотнения достигается при соблюдении условий, когда контактные напряжения под вальцем близки к пределу прочности уплотняемого материала.

В существующих методах расчета контактных напряжений нормальная составляющая предполагается пропорциональной глубине погружения вальца в уплотняемый материал, а касательная составляющая либо вообще не учитывается, либо направлена вдоль дуги контакта в одну сторону. Однако, как показали экспериментальные исследования, направление действия и величина касательной составляющей контактного давления зависит от степени скольжения вальца катка по уплотняемому материалу, а закон распределения нормальной составляющей контактного давления к ободу вальца несимметричен относительно оси вальца.

Напряжения, возникающие в зоне контакта вальца с материалом, зависят от передаваемой на валец нагрузки. Для прицепного вальца силовыми факторами являются масса вальца и передаваемое на него толкающее усилие. Расчетная схема, моделирующая процесс взаимодействия вальца катка с уплотняемым материалом, представлена на рис. 1.

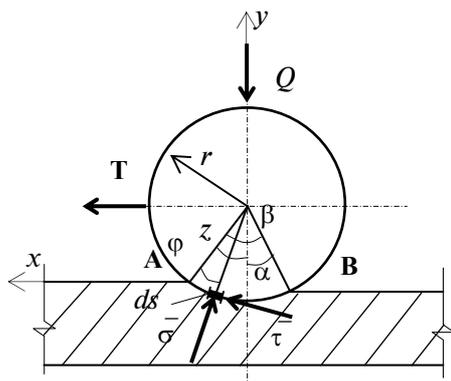


РИС. 1 РАСЧЕТНЫЕ СХЕМЫ ДЛЯ ПРИЦЕПНОГО КАТКА

На рис. 1: Q - масса вальца и передаваемая на него нагрузка от рамы машины; T - толкающее усилие; β - угол контакта вальца с материалом; α - угол, характеризующий упругую деформацию материала; ds - единичная площадка поверхности вальца; σ , τ - нормальные и касательные напряжения; φ - угол, характеризующий рассматриваемую точку в зоне контакта вальца с материалом; z - угол, характеризующий полную деформацию материала под вальцем.

Возникающая деформация уплотняемого материала зависит от его физико-механических свойств и от нагрузки, передаваемой через поверхность контакта вальца. Зависимости, устанавливающие связь между углами контактируемой поверхности вальца катка (α , β) и деформативной способностью материала получены на основании экспериментальных исследований.

Напряженное состояние частицы материала в зоне контакта вальца с материалом будет определяться соотношением $\vec{\sigma}_0 = \vec{\sigma}_y + \vec{\sigma}_x + \vec{\tau}_y + \vec{\tau}_x$. Его можно найти для предложенной расчетной схемы с учетом условия равновесия и граничных условий

$$\varphi = 0 \Rightarrow \vec{\sigma}_x = \vec{\sigma}_y = \vec{\tau}_x = \vec{\tau}_y = 0; \quad \varphi = \beta \Rightarrow \vec{\sigma}_x = \vec{\sigma}_y = \vec{\tau}_x = \vec{\tau}_y = 0 \quad \varphi = z \Rightarrow$$

$$\frac{d\bar{\sigma}_y}{d\varphi} = 0, \quad \frac{d\bar{\tau}_x}{d\varphi} = 0, \quad \bar{\sigma}_y = \bar{\tau}_y = 0.$$

В конечном виде решение системы уравнений имеет вид:

$$\bar{\sigma}_y = (\bar{A}_1\varphi + \bar{A}_2\varphi^2 + \bar{A}_3\varphi^3 + \bar{A}_4\varphi^4) / \Delta;$$

$$\bar{\sigma}_x = \mu(\bar{B}_1\varphi + \bar{B}_2\varphi^2 + \bar{B}_3\varphi^3 + \bar{B}_4\varphi^4) / \Delta; \quad (2)$$

$$\bar{\tau}_y = (\bar{D}_1\varphi + \bar{D}_2\varphi^2 + \bar{D}_3\varphi^3 + \bar{D}_4\varphi^4) / \Delta;$$

$$\bar{\sigma}_y = \mu(\bar{\Phi}_1\varphi + \bar{\Phi}_2\varphi^2 + \bar{\Phi}_3\varphi^3 + \bar{\Phi}_4\varphi^4) / \Delta,$$

где $A_1 \dots A_4$, $B_1 \dots B_4$, $D_1 \dots D_4$, $\Phi_1 \dots \Phi_4$ - коэффициенты, зависящие от нагрузки, приложенной к валцу катка, а также физико-механических свойств уплотняемого материала; μ - коэффициент трения частицы материала по валцу катка; Δ - определитель системы уравнений.

Анализ полученных уравнений показывает, что они соответствуют уравнениям для частных случаев. При $\varphi = 0$ и $\varphi = \beta$ напряжения в точках A и B равны нулю. При отсутствии сил трения, т.е. при $\mu = 0$, в зоне контакта действуют только нормальные напряжения. В случае $T = 0$, то есть отсутствия движения, в контактируемой зоне возникают напряжения только от действия вертикальной нагрузки.

Для решения полученных уравнений разработана программа, позволившая исследовать распределение напряжений в контактируемой зоне вальца катка с уплотняемым материалом.

Результаты расчетов напряжений в зоне

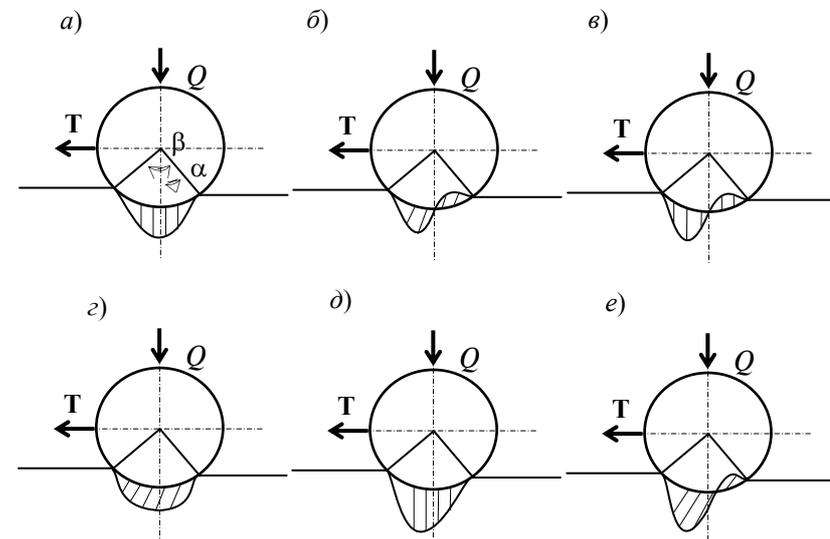


Рис. 2 Распределение напряжений под металлическим валцем катка статического действия:

контакта вальца катка Д-480 с уплотняемой поверхностью, работающим в статическом режиме, представлены на рис. 2.

Анализ полученных результатов расчета напряжений в контактируемой зоне вальца катка с материалом показывает, что эпюра вертикальной составляющей нормальных напряжений несимметрична относительно оси вальца. Максимальное их значение соответствует точке дуги контакта, расположенной на оси вальца. Горизонтальная составляющая нормальных напряжений имеет знакопеременные области, положительную и отрицательную. От действия горизонтальной силы, заставляющей валец перемещаться по уплотняемой поверхности, возникают также напряжения в материале, которые могут быть разложены на вертикальные и горизонтальные составляющие. Вертикальные составляющие напряжений от действия горизонтальной силы тяжести катка, а горизонтальные составляющие напряжений имеют одну область по всей дуге контакта. Из представленного рисунка видно, что вертикальная составляющая напряжений в зоне контакта вальца при наложении их составляющих смещается в сторону движения катка и величина этого смещения зависит от свойств материала и приложенной горизонтальной силы. Совмещенная эпюра касательных напряжений имеет знакопеременные области по длине контакта вальца с материалом.

Для ведомого вальца катка положительные напряжения образуются в передней части контакта, что способствует образованию сдвига материала в сторону движения катка.

На основании полученных результатов расчета напряжений под валцем катка статического действия можно сделать следующие выводы.

1 Полученная система уравнений позволяет определить величину напряжений в любой точке контактируемой поверхности вальца катка статического действия с уплотняемым материалом.

2 Величина нормальных напряжений в основном зависит от массы вальца катка и передаваемой на него нагрузки от рамы машины.

3 Величина касательных напряжений зависит от приложенной к валцу толкающей силы и свойств уплотняемого материала.

4 В процессе движения катка происходит смещение эпюры нормальных напряжений в сторону движения вальца, что подтверждается экспериментальными исследованиями.

МЕТОД СВЧ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ
КАЧЕСТВА РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ

Так для оценки параметров качества и структурных характеристик эластомеров был исследован дифференциальный метод измерения малых ослаблений на СВЧ [1], основанный на измерении амплитуд падающей и прошедшей волны через исследуемый материал с большими диэлектрическими потерями.

Суть метода поясняется блок-схемой установки (рис. 1).

Измерение ослаблений основано на однозначной зависимости показаний индикаторного прибора на выходе усилителя от малого ослабления одного из сигналов, даваемых на вход сравнивающего устройства. При выключенном четырехполоснике проводится балансировка нуля входными аттенуаторами сравнивающего устройства при определенном напряжении на I входе. При включении четырехполосника напряжение на II входе изменяется, и баланс нарушается. Показание индикаторного прибора пропорциональны (при малых ослаблениях) разности напряжений поступающих на вход сравнивающего устройства. Разность этих напряжений является функцией вносимого четырехполосником ослабления, а индикаторный прибор может быть отградуирован непосредственно в децибелах.

Применение балансного сравнивающего устройства при одновременном сравнении падающей и прошедшей мощностей увеличивает чувствительность метода, уменьшает погрешность за счет неточности отсчета по шкале индикатора и значительно снижает требования к нестабильности выходной мощности генератора.

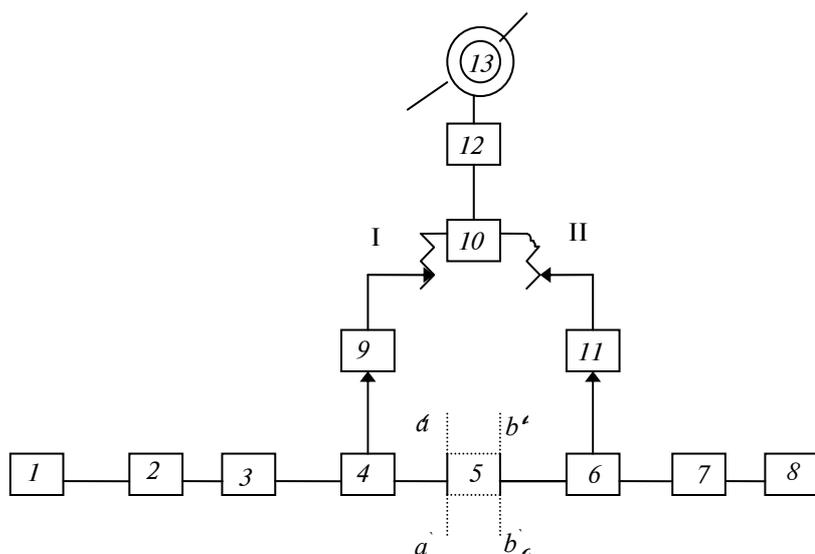


Рис. 1 Блок - схема измерительной установки СВЧ:

1 - генератор сигналов СВЧ; 2 - аттенуатор; 3 - вентиль; 4, 6 - направленные ответвители; 5 - резонансный измерительный преобразователь (РИП)

с образцом резиновой смеси $|S|$; 7 - согласующий трансформатор;

8 - нагрузка; 9, 11 - детекторы; 10 - сравнивающее устройство;

12 - усилитель; 13 - индикатор мощности генератора СВЧ

Исследуемая установка, разработанная для измерения малых ослаблений СВЧ мощности на кристаллических преобразователях, имеет разрешающую способность установки 10 дБ/дел, погрешность измерения малых ослаблений (α до 1 дБ) - $0,05\alpha + 0,01$.

Основное достоинство дифференциального метода измерений, как отмечалось, заключается в чрезвычайно высокой чувствительности к вносимым потерям. Однако величина погрешностей измерения, определяемая, главным образом, высокочастотным каналом и преобразователями, значительна: 0,02 - 0,05 дБ на уровне 1 дБ и, тем самым, не согласуется с возможной чувствительностью, которая может быть сделана 10^4 делений шкалы на децибел.

В целях поиска путей уменьшения погрешностей измерений и повышения точности и чувствительности метода сделаем подробный расчёт измерительной схемы.

Считаем, что показания α выходного индикаторного прибора равны

$$\alpha = C \left(K^{(a)} V_a - K^{(b)} V_b \right), \quad (1)$$

где C - коэффициент усиления разностного низкочастотного сигнала; $K^{(a)}, K^{(b)}$ - коэффициент передачи входных каскадов; V_a, V_b - напряжение на входе детекторов D_a, D_b .

Напряжения V_a, V_b , в свою очередь, равны:

$$V_a = K_D^{(a)} U_a^{III}, \quad V_b = K_D^{(b)} U_b^{III} \quad (2)$$

где $K_D^{(a)}, K_D^{(b)}$ - коэффициенты, характеризующие чувствительность детекторов D_a, D_b ; U_a, U_b - амплитуды падающих волн во вторичных каналах соответствующих направленных ответвителей; m, n - показатели степени детектирования.

Пусть $S_{ik}^{(1)}, S_{ik}^{(2)}, S_{ik}$ есть элементы матрицы рассеяния направленного ответвителя падающей волны, направленного ответвителя прошедшей волны и исследуемого четырехполосника. При выключении четырехполосника из тракта матрицы рассеяния соединения между направленными ответвителями будем описывать через $S_{ik}^{(c)}$.

Из анализа графа измерительной получим зависимость показаний прибора как функцию параметров схемы

$$\alpha = A \left(1 - \eta S_{21}^n \right), \quad (3)$$

где $A = CK_a K_z^{(U)} U_a^m$;

$$\eta = \frac{\left[\left(1 - \Gamma_3 \Gamma_{T1}^{(c)} \right) + D_1 T_1 \Gamma_{T1}^{(c)} \right]^m \left(1 - \Gamma_3 \Gamma_{T1}^{(c)} \right)^{n-m}}{\left[\left(1 - \Gamma_3 \Gamma_{T1}^{(c)} \right) + D_1 T_1 \Gamma_{T1}^{(c)} \right]^m \left(1 - \Gamma_3 \Gamma_{T1}^{(c)} \right)^{n-m}} \times$$

$$\times \frac{\left(1 - T_1 \Gamma_1^2 \Gamma_{T1}^{(c)} \right)^{nm} E_{r0}^{m-n}}{\left(1 - T_1 \Gamma_1^2 \Gamma_{T1}^{(c)} \right)^{nm} S_{21}^{(c)} E_{r0}^{m-n}} \quad (4)$$

Учитывая, что ослабление исследуемого РИП равно

$$N = 20 \lg \frac{1}{S_{21}}, \quad (5)$$

получим окончательное выражение показаний выходного индикаторного прибора:

$$\alpha = A \left(1 - \eta 10^{-\frac{nN}{20}} \right). \quad (6)$$

Задача построения прибора, обеспечивающего сравнение двух сигналов путем измерения их относительной разности на основании уравнения (6) требует оговорки. Так как практическая характеристика детектора квадратична, то градуировка прибора осуществляется по уравнению (7)

$$\alpha = A_K \left(1 - 10^{-\frac{N}{10}} \right). \quad (7)$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Елизаров А. С. Автоматизация измерений параметров линейных невзаимных СВЧ четырехполосников. М.: Советское радио, 1978. 168 с.

Кафедра "Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем"

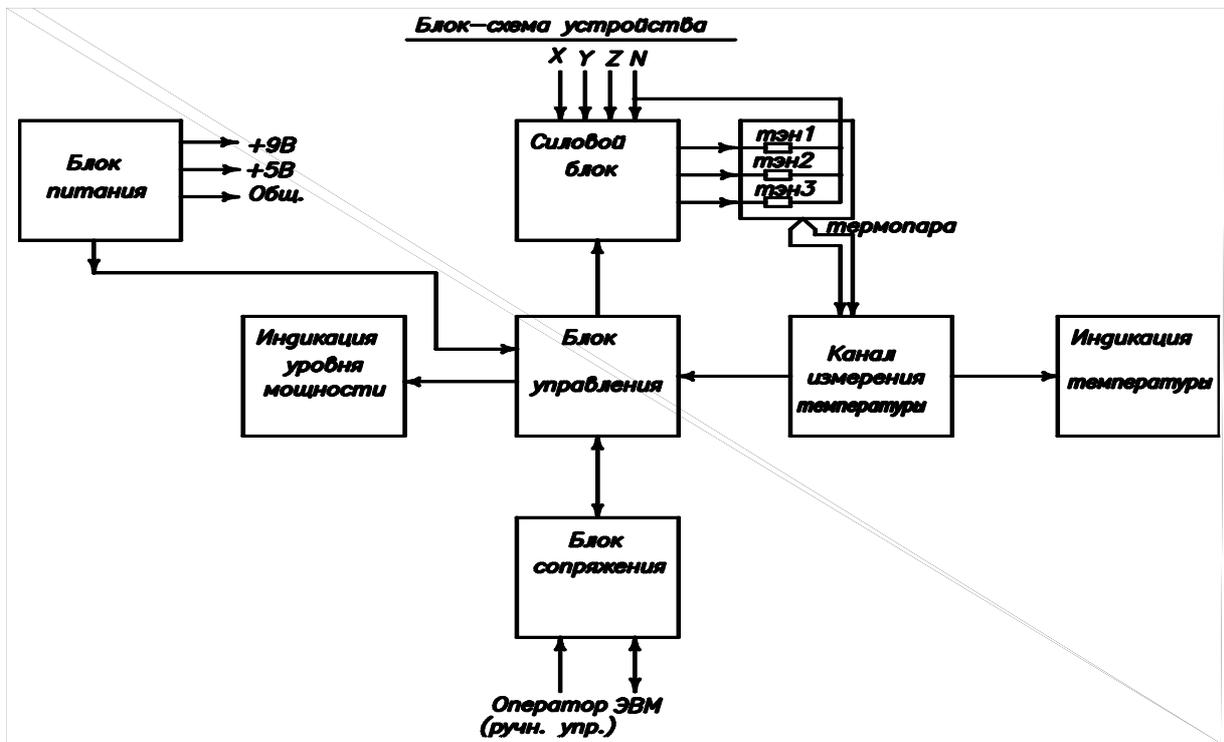


Рис. 1 Блок-схема устройства

-

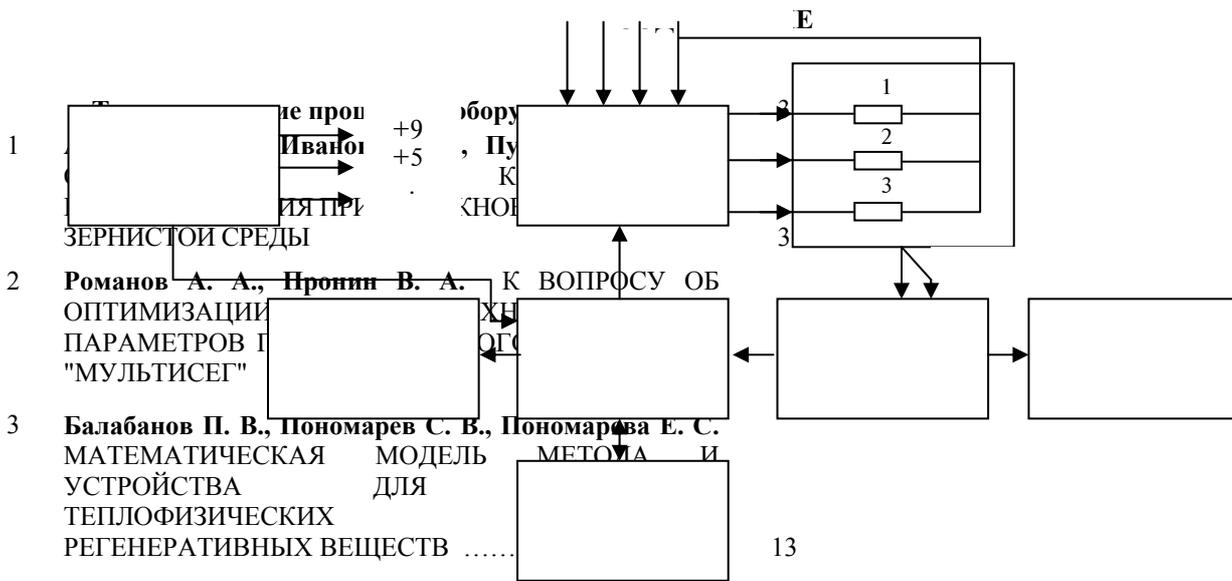


Рис. 1 Блок-схема устройства

5 **Червяков В. М., Вахлис А. В., Глазатов Д. В.**
ПРОХОДНОЕ СЕЧЕНИЕ МОДУЛЯТОРА РОТОРНОГО
АППАРАТА ПРИ МАЛЫХ ЗАЗОРАХ МЕЖДУ
РОТОРОМ И СТАТОРОМ
..... 21

6 **Маковеев С. Н., Перепелкина П. Ю., Карпушкин С. В.**
СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЫБОРА И
РАСЧЕТА АППАРАТОВ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ
СУСПЕНЗИЙ
..... 24

7	Дворецкий Д. С. ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНЫХ ТРУБЧАТЫХ РЕАКТОРОВ ТОНКОГО ОРГАНИЧЕСКОГО СИНТЕЗА	28
8	Постернак Н. В., Чайников Н. А., Симаненков С. И. ЭКСТРУЗИОННОЕ ФОРМОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ С СОТОВОЙ СТРУКТУРОЙ	33
9	Артемов В. Н. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА МОКРОГО ГРОХОЧЕНИЯ ПОЛИДИСПЕРСНОГО МАТЕРИАЛА	38
10	Шикунов А. Н., Утробин А. Н., Гатапова Н. Ц., Пахомов А. Н. К ВОПРОСУ О КИНЕТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЯХ СУШКИ НА ПОДЛОЖКАХ ДИСПЕРСИЙ ОРГСИНТЕЗА (ЛРФ-СОСТАВ, Р-СОЛЬ, ГАММА-КИСЛОТА, ДИСПЕРГАТОР НФ, БЕЛОФОР)	42
11	Свиридов М. М., Шубин И. Н. АНАЛИЗ ПОВЕДЕНИЯ ПОТОКОВ МАТЕРИАЛА В ИНЕРЦИОННОМ СМЕСИТЕЛЕ	46
12	Селиванов Ю. Т., Орлов А. В. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ В БАРАБАННОМ СМЕСИТЕЛЕ	50
13	Барышникова С. В., Осипов А. А., Филимонов Д. В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ ВЕСОВЫХ ДОЗАТОРОВ	54
14	Демин О. В. СПОСОБ И УСТАНОВКА ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СМЕСИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ	58
15	Романцов Р. В. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ОПЫТОВ НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ ВИБРОСЕПАРАТОРЕ С ПНЕВМОПРИВОДОМ	62
16	Путин С. Б., Скворцов С. А. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА АДСОРБЦИОННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ГАЗОВОЙ СМЕСИ. ПРОБЛЕМЫ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ	65
17	Быченко В. И., Баранов А. А. ПРИМЕНЕНИЕ РАЗРЫВНЫХ РЕШЕНИЙ К ЗАДАЧАМ ГАЗОДИНАМИКИ В АППАРАТАХ ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ГОРЕНИЯ	69
18	Каретников С. В., Брянкин К. В. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ ДИМЕРИЗАЦИИ 4-НИТРОТОЛУОЛ-2-СУЛЬФОКИСЛОТЫ В 4,4'-ДИНИТРОСТИЛЬБЕН-2,2'-ДИСУЛЬФОКИСЛОТУ	73
19	Пасько А. А., Баранов А. А., Пасько Т. В., Меметов Н. Р. ИНТЕГРАЛ КРИСТОФФЕЛЯ-ШВАРЦА В ЗАДАЧАХ ГИДРОДИНАМИКИ	77
20	Орехов В. С., Леонтьева А. И., Утробин А. Н.,	81

	Удальцов С. В. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФУГАТА ПРИ УДАЛЕНИИ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ПРИМЕСЕЙ ИЗ СУСПЕНЗИЙ ПОЛУПРОДУКТОВ ОРГАНИЧЕСКИХ КРАСИТЕЛЕЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИЕЙ В ПОЛЕ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СИЛ	
21	Утробин А. Н., Кочетов А. П. ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ОТБЕЛИВАТЕЛЯ БЕЛОФОРА КД-2 НА ЕГО КОЛОРИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	85
22	Волокитин С. Г., Чемерчев Л. Н. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МИКРОВОЛНОВОЙ СУШИЛКИ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА	90
23	Жутов А. О., Козодаев В. В. ДВИЖЕНИЕ ЖИДКОСТИ В БЛИЗИ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ...	93
24	Колых А. Н., Савельев А. А., Гагапова Н. Ц., Пахомов А. Н., Злобин М. В. ДВУХБАРАБАННАЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПРОЦЕССОВ КОНТАКТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ, НАГРЕВА И СУШКИ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЦИКЛИЧЕСКИХ РЕЖИМАХ	96
25	Головашин В. И., Абоносимов О. А. ОБРАТНООСМОТИЧЕСКОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ УРОТРОПИНА НА ПРОМЫШЛЕННОЙ ОБРАТНООСМОТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКЕ	99
26	Ульянов В. И., Кленников А. Н. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ЩЕЛОЧНОГО ПЛАВЛЕНИЯ АМИНО-Г-КИСЛОТЫ ...	102
27	Лазарев С. И., Свотнев А. В. О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОБАРОМЕМБРАННЫХ АППАРАТОВ	105
28	Зуйков М. В., Клейменов А. С. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ ПОДЗЕМНЫХ ГОРИЗОНТАХ	108
	Автоматизация технологических процессов	112
29	Шишкина Г. В., Чуриков А. А. МЕТОД И ИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЛОСКИХ ОБРАЗЦОВ НЕОДНОРОДНЫХ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ ...	112
30	Попова К. В. РЕШЕНИЕ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ДЛЯ ОГРАНИЧЕННЫХ ОБРАЗЦОВ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ	116
31	Балашов А. А., Никулин С. С., Чех А. В., Майникова Н. Ф. МЕТОД КОНТРОЛЯ СТРУКТУРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В ПОЛИМЕРАХ. ЭТАП ИМИТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ	121

32	Кочергин С. В. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЕ САМОРЕГУЛИРУЕМОЕ УСТРОЙСТВО ЭЛЕКТРОПОДОГРЕВА МОТОРНОГО МАСЛА ДЛЯ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД	126
33	Самодуров А. В. К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ УСТРОЙСТВА, ИСПОЛЬЗУЮЩЕГО В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ РАСТИТЕЛЬНЫЕ ОТХОДЫ	130
34	Кабанов А. А. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГИБРИДНЫХ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ В СРЕДЕ ТРЕЙС МОУД	134
35	Чурилин А. В., Балашов С. В., Жуков Н. П. ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ТЕПЛОЕМКОСТИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ АБРАЗИВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ	138
36	Козлов А. И., Муромцев Д. Ю. ОБНОВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОВ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ	141
37	Самородов В. А., Трофимов А. В. ПРОЦЕССНЫЙ ПОДХОД В УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ИСКУССТВЕННОЙ КОЖИ	145
38	Трофимов С. А., Ахметов М. Р. ИМПУЛЬСНЫЙ АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ	148
39	Филиппов К. Н., Глинкин Е. И. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СТЕПЕНИ ПОЛИНОМА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФУНКЦИИ	151
40	Морозова Е. В., Альбицкий П. С., Селиванова З. М. АЛГОРИТМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АДАПТИВНОЙ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ	154
41	Кольтюков Н. А., Артемова С. В., Грибков А. Н. ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГНОЗИРУЮЩЕЙ МОДЕЛИ В СИСТЕМЕ ОПТИМАЛЬНОГО ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ РЕЗИНОСМЕСИТЕЛЕМ	159
42	Чернышов А. В. МЕТОД И ПРОЦЕССОРНОЕ СРЕДСТВО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОСЛОЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ	163
43	Степанов С. А., Тюрин И. В. МЕТОДИКА ГИБРИДНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА НА НАЧАЛЬНЫХ ЭТАПАХ ОБНОВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА	168
44	Глинкин Н. Е., Глинкин Е. И. ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ МИКРОСХЕМОТЕХНИКИ	172
45	Григорьев А. С., Банников А. Н. УСТРОЙСТВО	176

	УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПЕЧЬЮ	
46	Лазутин С. В., Овсянкин Т. В. ПОСТРОЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РЕГЛАМЕНТА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА НА ОСНОВЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПОКОМПОНЕНТНЫХ БАЛАНСОВ	180
47	Кокин А. В., Горелкин Д. В., Белоусов О. А. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ РАБОЧЕЕ МЕСТО ПРОЕКТИРОВЩИКА МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ	184
48	Максимов А. С. К ВОПРОСУ БОРЬБЫ С НАКИПЕОБРАЗОВАНИЕМ	188
49	Нахман А. Д., Петрова Е. А. МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ НЕРАВЕНСТВ ДЛЯ ЗНАКОПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ	191
50	Грошев В. Н., Муромцев Д. Ю. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ	195
51	Тетушкин В. А., Чернышов В. Н. ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ	200
52	Шиндяпин Д. А. ПОВЫШЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ АНАЛОГОВЫХ БЛОКОВ СРЕДСТВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ	202
53	Плужников Ю. В., Колмаков А. В., Пудовкин А. П., Чернышов В. Н. МЕТОДЫ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ СООТНОШЕНИЯ СЛОЕВ БИМЕТАЛЛОВ	206
54	Самодуров В. А., Пономарев С. В., Пономарева О. С. О ПЕРСПЕКТИВАХ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ СТАТИСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ НА СВЕКЛОСАХАРНЫХ ЗАВОДАХ ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ	210
55	Дахнович А. А., Туренин М. В. СИСТЕМА ОХРАННОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ С ОПОВЕЩЕНИЕМ ПО ТЕЛЕФОНУ	214
56	Пчелинцев А. Н., Горелов А. А., Стукалина Н. В. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ И ПРОЕКЦИИ	218
57	Комарова Т. П., Зубков А. Ф. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ВАЛЬЦА КАТКА С УПЛОТНЯЕМЫМ МАТЕРИАЛОМ	222
58	Малков Н. А., Барышев Г. А. МЕТОД СВЧ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ	226

