

Министерство образования и науки Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
"Тамбовский государственный технический университет"

ТРУДЫ ТГТУ

Выпуск 17

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И
ОБОРУДОВАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Сборник научных статей
молодых ученых и студентов

Основан в 1997 году



Тамбов
Издательство ТГТУ
2005

T78

Утверждено Ученым советом университета

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

Труды ТГТУ: Сборник научных статей молодых ученых и студентов / Тамб. гос. техн. ун-т. Тамбов, 2005. Вып. 17. 216 с.

В сборнике представлено 59 статей молодых ученых и студентов по направлениям университета: технологические процессы и оборудование, автоматизация технологических процессов, машиностроение и металловедение, строительство и архитектура.

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

© Тамбовский государственный
технический университет (ТГТУ), 2005

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

ТРУДЫ ТГТУ

Выпуск 17

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

Сборник научных статей молодых ученых и студентов

Редактор В.Н. Митрофанова

Инженер по компьютерному макетированию Е.В. Коралева

Подписано в печать 25.03.2005.

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

Бумага офсетная. Печать офсетная. Объем: 12,55 усл. печ. л.; 12,0 уч.-изд. л.

Тираж 100 экз. С. 192

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

УДК 66.028

Д.К. Каляпин, А.А. Осипов, С.В. Першина

**ПРИГОТОВЛЕНИЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СМЕСЕЙ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ
ДВУХСТАДИЙНОГО ДОЗИРОВАНИЯ***

Многокомпонентные смеси из зернистых материалов широко используются в различных отраслях промышленности. Ключевым оборудованием в процессе приготовления смесей являются дозаторы компонентов и смеситель. Многие исследователи отмечают, что при проектировании смесительных установок необходимо учитывать характеристики дозаторов. Нами разработана установка для непрерывного приготовления смесей из зернистых материалов [1]. Установка содержит непрерывные дозаторы компонентов, расположенные последовательно вдоль ленточного транспортера с поперечными перегородками; плиту, на которой установлен ленточный транспортер, соединенную с основанием через амортизаторы, и вибратор, установленный на основании и соединенный с плитой [2].

Каждый непрерывный дозатор содержит порционный дозатор и наклонный вибрлоток для образования отдельных порций материала в непрерывный поток. Устройство снабжено блоком управления порционными дозаторами. Вибрлотки устанавливаются с возможностью перемещения вдоль ленточного транспортера. Вибратор соединен с плитой и основанием с помощью шаровых шарниров и установлен на основании с возможностью перемещения в горизонтальной плоскости. Поперечные перегородки на ленточном транспортере установлены с возможностью фиксированного перемещения вдоль ленты транспортера. Кроме того, устройство дополнительно снабжено датчиком фиксации положения, по крайней мере, одной поперечной перегородки ленточного транспортера, причем этот датчик соединен с блоком управления порционными дозаторами, что позволяет синхронизировать работу дозаторов и смесителя.

С учетом смещения разгрузочных узлов вдоль ленты транспортера и определенных промежутков между подачей отдельных порций компонентов в разные ячейки транспортера попадают разные объемы компонентов, но их соотношение всегда постоянно и равно заданному соотношению компонентов в готовой смеси. Для варианта приготовления трехкомпонентной смеси ($A + B + C$) с концентрациями соответственно равными 0,5; 0,3; 0,2, математически это можно представить следующим равенством

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

$$\int_0^{\Delta\tau} f_1(T)dT \Big/ \int_{\Delta\tau_{AB}}^{\Delta\tau+\Delta\tau_{AB}} f_2(T)dT \Big/ \int_{\Delta\tau_{AC}}^{\Delta\tau+\Delta\tau_{AC}} f_3(T)dT = 0,5/0,3/0,2. \quad (1)$$

Поперечные перегородки на ленте можно установить таким образом, чтобы в каждую ячейку попадало одинаковое суммарное количество компонентов. В этом случае ширина ячеек ΔS разная и пропорциональна изменению производительности на сыпающихся краях дозаторов. Математически это можно представить следующим образом

$$\frac{\Delta S(1)}{V} \int_0^V f_1(T)dT = \frac{\Delta S(2)}{V} \int_0^V f_1(T)dT = \dots = \frac{\Delta S(M)}{V} \int_0^V f_1(T)dT. \quad (2)$$

При выполнении равенства (1) для компонента A будет выполняться равенство (2). Аналогично для компонентов B и C . Это целесообразно делать в тех случаях, когда готовую смесь необходимо упаковывать или передавать на дальнейшую переработку в виде отдельных порций одинакового веса, например, при производстве таблеток или брикетов.

Ранее [2], использовались дозаторы, каждый из которых содержал один наклонный вибрирующий лоток. В процессе преобразования отдельных порций зернистого материала, порции частично накладывались одна на другую. Наложения происходили случайным образом, что снижало равномерность непрерывного потока на выходе из дозатора и, следовательно, ухудшало качество готовой смеси.

Нами были проведены теоретические и экспериментальные исследования по определению точности непрерывного дозирования с использованием лотка, разделенного по длине на две части. Каждая порция материала весом ΔP , объемным способом разделялась на две порции. В результате деления образовывались порции ΔP_1 и ΔP_2 , причем сумма ΔP_1 и ΔP_2 всегда была точно равна ΔP . Результаты экспериментальных исследований показали, что за счет конструктивного оформления всегда можно разделить порцию ΔP таким образом, что относительная разность между ΔP_1 и ΔP_2 не превышает 5 %. Полученные порции подавались поочередно в части лотка через промежутки времени

$$\Delta T/2 = \Delta P/2Q,$$

где Q – заданная весовая производительность дозатора.

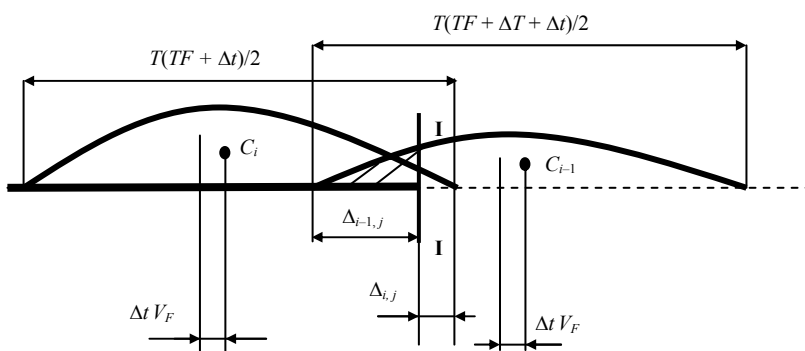


РИС. 1 СХЕМА К РАСЧЕТУ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВИБРАЦИОННОГО ДОЗАТОРА

Схема к расчету количества материала, сыпающегося с лотка за интервал времени Δt , показана на рис. 1.

Сыпающийся край лотка обозначен вертикальным сечением $I-I$. При одновременном сыпании материала из предыдущей порции $i-1$ (на рис. 1 центр тяжести порции обозначен C_{i-1}) и последующей порции i (центр тяжести порции обозначен C_i), количество материала (ΔQ), сыпающегося с лотка, определяли как сумму ΔQ_i и ΔQ_{i-1} . Численное значение ΔQ_i рассчитывалось, как разность количества материала порции i , находящегося левее сечения $I-I$ в момент времени TF и аналогичного количества ма-

териала в момент времени $TF + \Delta t$. Аналогичным образом определяется значение ΔQ_{i-1} . Фактически, на сыпавшем крае лотка складывалась точно такая же ситуация, как и при использовании лотка не разделенного на две части [2]. Однако, в предлагаемом варианте, объединение порций осуществляется независимо друг от друга и, следовательно, более стабильно. Анализ результатов экспериментальных исследований показал, что за счет деления лотка на две части, неравномерность непрерывного потока снижается не менее чем на 30 %, по сравнению с прототипом.

При математическом моделировании процесса непрерывного дозирования также использовались результаты работы [2]. В частности, используя уравнение кривой, описывающей верхнюю границу порции сыпучего материала в процессе вибрации

$$y(t) = A_0 e^{-\beta(S)t} \sin \frac{2\pi}{T} t, \quad (3)$$

определяли параметры математической модели процесса непрерывного дозирования, полученной с использованием математического аппарата случайных Марковских процессов [3].

БЫЛИ ПРОВЕДЕНЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА СМЕШЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ В ОТДЕЛЬНОЙ СЕКЦИИ СМЕСИТЕЛЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВИБРАЦИИ, ЧТО ПОЗВОЛИЛО ВЫЯВИТЬ ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССА И РАЗРАБОТАТЬ МОДЕЛЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА СЛУЧАЙНЫХ МАРКОВСКИХ ПРОЦЕССОВ, ДИСКРЕТНЫХ В ПРОСТРАНСТВЕ И ВРЕМЕНИ. КАЖДАЯ СЕКЦИЯ СОСТОЯЛА ИЗ ЯЧЕЕК ИДЕАЛЬНОГО СМЕШЕНИЯ, СОЕДИНЕННЫХ МЕЖДУ СОБОЙ В ОДНОРОДНУЮ НЕЗАМКНУТУЮ МАРКОВСКУЮ ЦЕПЬ. ПОСКОЛЬКУ РАССМАТРИВАЛСЯ ПРОЦЕСС СМЕШЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ, СКЛОННЫХ К СЕГРЕГАЦИИ, СДЕЛАНО ДОПУЩЕНИЕ О ТОМ, ЧТО ЗА ОДИН ПЕРЕХОД ЧАСТИЦА КЛЮЧЕВОГО КОМПОНЕНТА ЛИБО ОСТАНЕТСЯ В ДАННОЙ ЯЧЕЙКЕ, ЛИБО ПЕРЕЙДЕТ В ЯЧЕЙКУ, РАСПОЛОЖЕННУЮ БЛИЖЕ К ЯДРУ СЕГРЕГАЦИИ.

При моделировании процесса смешения трех и более компонентов, например $A + B + C$, общий процесс рассматривали как три процесса, протекающих независимо ($A + C$, $A + B$, $B + C$). В этом случае по результатам экспериментальных исследований процессов приготовления двухкомпонентных смесей определяли исходные вероятности, аналогичные P_0 . В частности, исследуя процесс приготовления смеси $A + C$ определяли вероятность P_{0AC} . Аналогичным образом определяли вероятности P_{0AB} и P_{0BC} .

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОКАЗАЛИ, ЧТО ПОВЫШЕНИЕ РАВНОМЕРНОСТИ НЕПРЕРЫВНЫХ ПОТОКОВ НА ВЫХОДАХ ИХ ДОЗАТОРОВ СУЩЕСТВЕННО ПОВЫШАЕТ КАЧЕСТВО ГОТОВОЙ СМЕСИ.

Список литературы

- 1 Пат. № 2242273 Российской Федерации. Способ приготовления многокомпонентных смесей и устройство для его реализации / В.Ф. Першин, С.В. Барышникова и др.; Заявл. 05.05.2003; Опубл. 20.12.2004.
- 2 Осипов А.А., Шершукова А.И. Приготовление многокомпонентных смесей на основе технологии двухстадийного дозирования // Труды ТГТУ: Сб. науч. ст. молодых ученых и студентов. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. Вып. 15. С. 81 – 85.
- 3 Каляпин Д.К. Моделирование процесса двухстадийного дозирования сыпучих материалов // Труды ТГТУ: Сб. науч. ст. молодых ученых и студентов. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. Вып. 15. С. 20 – 23.

Кафедра "Прикладная механика и сопротивление материалов"

УДК 532.545

*В.Я. Борщев, Р.А. Шубин, Ал-др.А. Уколов**

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

перемещение мелких и крупных
одиночных частиц в зернистой среде
при умеренных скоростях

При сдвиговых деформациях, возникающих при обработке неоднородных зернистых сред с высокой концентрацией твердой фазы, наблюдаются эффекты перемешивания и сегрегации частиц материала. В результате происходит перераспределение частиц в объеме зернистой среды, оказывающее влияние как на кинетику технологических процессов (сушка, гранулирование и др.), так и на качество готовой продукции. Однако, в связи с недостаточной изученностью названных эффектов взаимодействия частиц при сдвиговых деформациях прогнозировать их влияние на кинетику технологических процессов, в большинстве случаев, затруднительно.

НАСТОЯЩАЯ РАБОТА ПОСВЯЩЕНА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМУ ИССЛЕДОВАНИЮ ЭФФЕКТОВ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ УМЕРЕННЫХ СКОРОСТЯХ СДВИГА В ЗЕРНИСТОЙ СРЕДЕ С ВЫСОКОЙ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СДВИГОВОЙ ЯЧЕЙКИ ОРИГИНАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ [1].

ОСНОВНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ КОНСТРУКЦИИ СДВИГОВОЙ ЯЧЕЙКИ ЯВЛЯЕТСЯ ЛЕНТОЧНЫЙ КОНВЕЙЕР С РАБОЧИМ ОРГАНОМ ИЗ ШЕРОХОВАТОЙ РЕЗИНОТКАНЕВОЙ ЛЕНТЫ, НА КОТОРОЙ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ СДВИГОВЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В СЛОЕ МАТЕРИАЛА УСТАНОВЛЕНА С ОПРЕДЕЛЕННЫМ ШАГОМ СКРЕБКИ ВЫСОТОЙ $3,5 \cdot 10^{-3}$ м. НИЖНЯЯ ВЕТЬ КОНВЕЙЕРА ПРОХОДИТ В ЖЕЛОБЕ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ. ЖЕЛОБ ЗАКРЕПЛЕН НА РАМЕ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЗАЗОРА МЕЖДУ ЕГО ОСНОВАНИЕМ И ЛЕНТОЧНЫМ КОНВЕЙЕРОМ. ДНО ЖЕЛОБА ТАКЖЕ СНАБЖЕНО ШЕРОХОВАТОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ С РАЗМЕРОМ ШЕРОХОВАТОСТЕЙ, РАВНЫМ ПОЛОВИНЕ ДИАМЕТРА ЧАСТИЦ МОДЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЧАСТИЦ ПРОИСХОДИТ В КАНАЛЕ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ В ЗАЗОРЕ МЕЖДУ ЕГО ОСНОВАНИЕМ И НИЖНЕЙ ВЕТЬЮ ЛЕНТЫ КОНВЕЙЕРА.

На первом этапе работы с использованием индикаторного метода проведены исследования характеристик течения монодисперсных материалов при сдвиговых деформациях в ячейке сдвига. При этом в качестве модельного зернистого материала использованы керамические шары диаметром $6,6 \cdot 10^{-3}$ м и частицы стеклянного бисера диаметром $3,5 \cdot 10^{-3}$ м. В качестве индикатора использованы окрашенные частицы этих материалов. Экспериментальные исследования проведены при импульсном вводе индикатора и неизменных условиях сдвига для каждой из зернистых сред. В результате экспериментального исследования получено распределение частиц индикатора по длине x и толщине y слоя материала в желобе, а также определено изменение скорости сдвига по толщине слоя сыпучего материала (рис. 1).

Максимальная скорость сдвига (рис. 1) наблюдается в непосредственной близости к движущейся шероховатой ленте. По мере удаления от нее вглубь слоя зернистого материала интенсивность сдвига резко уменьшается и ближе к шероховатому основанию становится равной нулю. В соответствии с этим аналогично изменяется профиль порозности по толщине слоя зернистого материала (рис. 2).

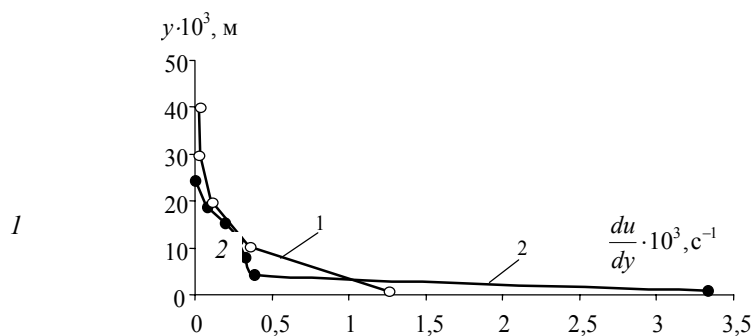


Рис. 1 Изменение скорости сдвига по толщине слоя сыпучего материала:
1 – керамика; 2 – бисер

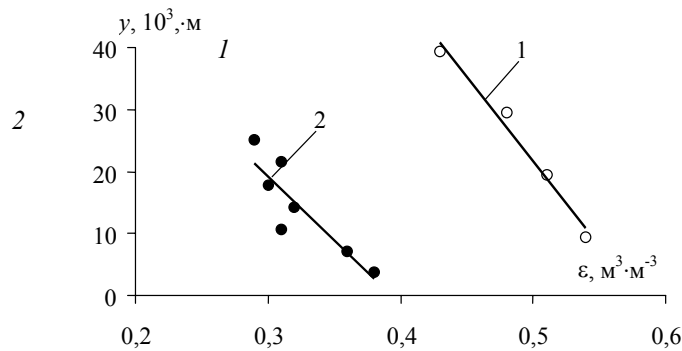


Рис. 2 Изменение порозности по толщине слоя сыпучего материала:

1 – керамика; 2 – бисер

Кроме этого, из рис. 1 видно, что более интенсивные сдвиговые деформации наблюдаются при использовании в качестве модельного материала частиц стеклянного бисера (кривая 2). При этом сдвиговым деформациям подвергается относительно больший объем материала (до семи слоев частиц бисера против четырех на керамике). Вероятно, что причиной этого является относительный размер частиц, а также состояние их поверхности, приводящее к более плотной упаковке (рис. 2) и интенсивному взаимодействию частиц бисера при сдвиговых деформациях.

Значительный практический интерес представляют результаты экспериментальных исследований поведения неоднородных частиц при сдвиговых деформациях в зернистой среде. В связи с этим, на следующем этапе работы проведены исследования поведения одиночных контрольных частиц при сдвиговых деформациях в зернистой среде с высокой концентрацией твердой фазы при умеренных скоростях сдвига.

Методика проведения экспериментального исследования поведения одиночных контрольных частиц основана на использовании метода последовательно ступенчатого увеличения времени пребывания контрольных частиц в сдвиговом потоке. При этом в качестве индикатора использованы керамические шары диаметром $13 \cdot 10^{-3}$ и $4 \cdot 10^{-3}$ м и частицы стеклянного бисера диаметром $4,2 \cdot 10^{-3}$ и $2,6 \cdot 10^{-3}$ м. При исследовании процесса проникания мелкую частицу помещали в верхней части слоя, а при исследовании "всплытия" – крупную частицу в нижней части слоя сдвигового потока основного материала и фиксировали их начальное положение в канале. Через определенные промежутки времени привод ленточного конвейера выключали, с помощью вакуумного пробоотборника послойно отбирали пробы материала до обнаружения контрольных частиц и фиксировали их текущее положение по координатам x и y (длину и высоту слоя соответственно). В результате обработки совокупности экспериментальных данных, определяющих положение контрольных частиц в слое зернистого материала с течением времени, находили траектории движения (рис. 3, 4), по которым вычисляли профили скоростей поперечного перемещения названных частиц (рис. 5, 6).

Из рис. 3 и 4 видно, что "всплытие" крупной частицы происходит закономерно более интенсивно, чем проникание мелкой частицы вглубь слоя, даже в случае относительно большого отличия размера последней от частиц среды. В соответствии с механизмом сдвигового поточного разделения переход контрольной частицы из одного элементарного слоя в другой предполагает образование опорных контактов с агрегатом частиц, через которые проходит ось ее вращения. Наиболее

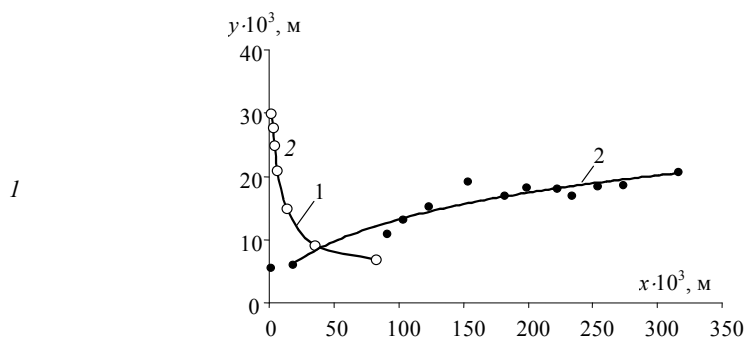


Рис. 3 Траектории движения контрольных керамических частиц диаметром $13 \cdot 10^{-3}$ м (кривая 1) и $4 \cdot 10^{-3}$ м (кривая 2)

1

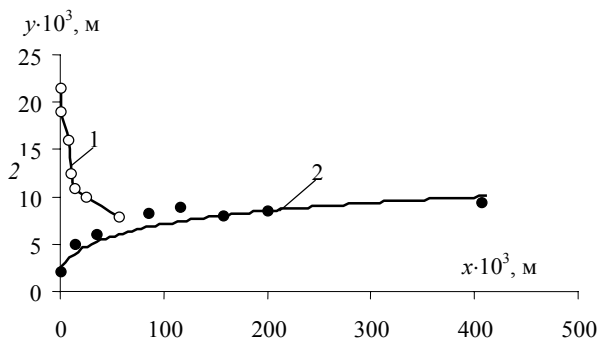


Рис. 4 Траектории движения контрольных частиц стеклянного бисера диаметром $4,2 \cdot 10^{-3}$ м (кривая 1) и $2,6 \cdot 10^{-3}$ м (кривая 2)

2

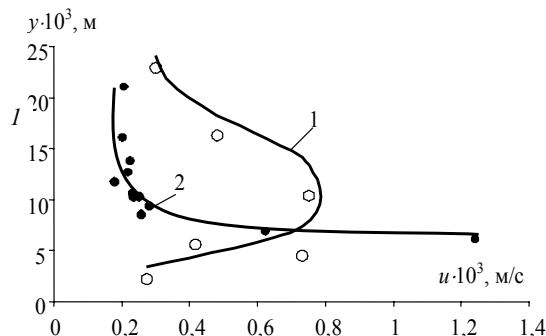


Рис. 5 Профили скорости поперечного перемещения частиц керамики диаметром $13 \cdot 10^{-3}$ м (кривая 1) и $4 \cdot 10^{-3}$ м (кривая 2) в сдвиговом потоке керамических шариков диаметром $6,6 \cdot 10^{-3}$ м

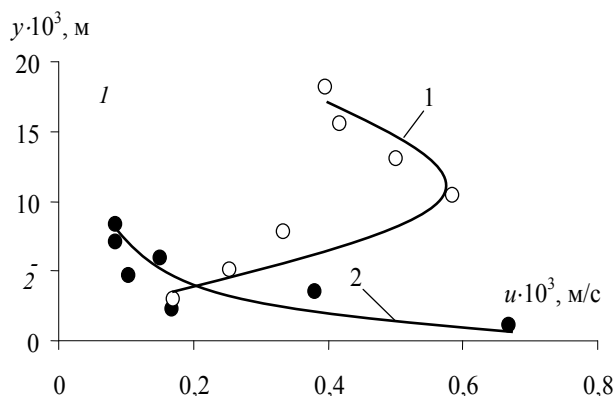


Рис. 6 Профили скорости поперечного перемещения частиц стеклянного бисера диаметром $4,2 \cdot 10^{-3}$ м (кривая 1) и $2,6 \cdot 10^{-3}$ м (кривая 2) в сдвиговом потоке бисера диаметром $3,5 \cdot 10^{-3}$ м

вероятное направление перемещения контрольной частицы будет определяться балансом моментов сил, действующих на нее относительно оси вращения. Вследствие этого механизма крупные частицы накатываются на мелкие частицы, оказываются под воздействием более высоких значений избыточных моментов сил и поэтому характеризуются более интенсивным поперечным перемещением.

Полученные экспериментальные данные будут использованы для прогнозирования кинетических характеристик сегрегации частиц полидисперсных материалов при умеренных скоростях сдвига.

список литературы

1 **БОРЩЕВ В.Я., ДОЛГУНИН В.Н., ИВАНОВ О.О. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧАСТИЦ ПРИ СДВИГОВЫХ ДЕФОРМАЦИЯХ В ЗЕРНИСТОЙ СРЕДЕ // ВЕСТНИК ТАМБОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА, 2003. Т. 9. С. 230 – 236.**

Кафедры Технологическое оборудование и пищевые технологии" и "Машины и аппараты химических производств"

УДК 532.517.6

В.В. Акулин, М.А. Промтов

МЕТОД РАСЧЕТА СКОРОСТИ И УСКОРЕНИЯ ПОТОКА ЖИДКОСТИ В КАНАЛАХ РОТОРНО-ИМПУЛЬСНОГО АППАРАТА

РОТОРНО-ИМПУЛЬСНЫЕ АППАРАТЫ (РИА) ПРИМЕНЯЮТСЯ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ (ХТП) В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. ПРИНЦИП РАБОТЫ РИА ОСНОВАН НА НЕСТАЦИОНАРНОСТИ ПОТОКОВ ВЕЩЕСТВА, ЭНЕРГИИ И ИМПУЛЬСА. РИА ЭФФЕКТИВНЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ ТВЕРДОЕ – ЖИДКОСТЬ, ЖИДКОСТЬ – ЖИДКОСТЬ, ГАЗ – ЖИДКОСТЬ, А ИМЕННО – ЭМУЛЬГИРОВАНИЯ, ДИСПЕРГИРОВАНИЯ, ЭКСТРАГИРОВАНИЯ [1].

Роторно-импульсный аппарат реализует дискретный, многофакторный метод воздействия на ХТП, который обусловлен пульсациями давления и скорости потока жидкости, развитой турбулентностью, интенсивной кавитацией, большими сдвиговыми и срезающими усилиями.

Основными параметрами, определяющими эффективную работу аппарата, являются закон изменения скорости и давления в потоке жидкости, проходящей через прерыватель РИА. Прерыватель РИА представляет собой канал ротора, канал статора и радиальный зазор между ними. При вращении ротора его каналы периодически совмещаются с каналами статора, за счет этого в канале статора генерируется импульс давления.

От характера пульсаций скорости и давления зависит степень развитости кавитации и турбулентности, интенсифицирующих ХТП.

Течение потока жидкости в прерывателе РИА описывается нестационарным уравнением Бернулли

$$\beta l_3 \frac{dv}{dt} + \frac{v^2}{2} \left(\xi(t) + \frac{B(t)\mu}{d_3 \rho v} \right) = \frac{\Delta P(t)}{\rho}, \quad (1)$$

где β – коэффициент количества движения; l_3 – длина пути жидкости в прерывателе, м; d_3 – эквивалентный гидравлический диаметр, м; $\xi(t)$ – суммарный коэффициент местного гидравлического сопротивления, $B(t)$ – коэффициент гидравлического сопротивления, учитывающий потери напора; ρ – плотность жидкости, кг/м³; μ – коэффициент динамической вязкости, Па · с; v – скорость потока жидкости по каналу прерывателя, м/с; $\Delta P(t)$ – перепад давления, Па.

Численное решение этого уравнения позволяет определить зависимости $\frac{d}{dt}v(t)$, $v(t)$, а по ним определить значения динамических параметров потока жидкости.

Коэффициенты $\xi(t)$, $B(t)$ находят из предположения, что прерыватель сужает поток жидкости, поэтому гидравлическое сопротивление прерывателя можно рассчитывать по формулам, применяемым для расчета диафрагм. Коэффициент β принимают равным единице [2].

Коэффициент $\xi(t)$, определяемый по формуле (2), зависит от площади $S(t)$, свободной для протекания обрабатываемой среды, и коэффициента ε , который определяется по таблицам, или по аппроксимирующей формуле (3) [2, 3]:

$$\xi(t) = \left(\frac{1}{\varepsilon(s(t)) s(t)} - 1 \right)^2; \quad (2)$$

$$\varepsilon(s) = \frac{1}{\frac{4,5}{\exp(s)} - 2,88 \exp(s) + 7,17s}. \quad (3)$$

Коэффициент гидравлического сопротивления $B(t)$ берется из справочника гидравлических сопротивлений или определяется по аппроксимирующей формуле (4) [3]

$$B(t) = \exp(-10,58s^2 + 8,18 \exp(s) - 7,34s). \quad (4)$$

Относительная площадь проходного сечения прерывателя при вращении определяется по формуле (5) [2]:

$$s(t) = \begin{cases} \left(1 - \frac{t\omega R_p}{a_c} \right) \sqrt{\left(\frac{t\omega R_p}{a_c} \right)^2 + \left(\frac{\delta}{a_c} \right)^2} + \left(\frac{t\omega R_p}{a_c} \right)^2; & 0 \leq t \leq \frac{a_c}{\omega R_p}; \\ 1; & \frac{a_c}{\omega R_p} < t \leq \frac{a_p}{\omega R_p}; \\ \left(\frac{t\omega R_p}{a_c} - \frac{a_p}{a_c} \right) \sqrt{\left(\frac{a_p}{a_c} + 1 - \frac{t\omega R_p}{a_c} \right)^2 + \left(\frac{\delta}{a_c} \right)^2} + \left(\frac{a_p}{a_c} + 1 - \frac{t\omega R_p}{a_c} \right)^2; & \frac{a_p}{\omega R_p} < t \leq \frac{a_p + a_c}{\omega R_p}; \\ \frac{\delta}{a_c}; & \frac{a_p + a_c}{\omega R_p} < t \leq \frac{b_c + a_p}{\omega R_p}, \end{cases} \quad (5)$$

где a_c – ширина канала статора, м; a_p – ширина канала ротора, м; b_c – расстояние между двумя ближайшими стенками соседних каналов статора, м; R_p – радиус ротора, м; δ – зазор между ротором и статором, м; ω – угловая скорость, 1/с; t – время, с.

Начальные условия принимаем как

$$\frac{dv}{dt} \Big|_{t=0} = 0. \quad (6)$$

Начальное значение скорости находится путем решения уравнения (1) при условиях (6) и $t = 0$. Получается квадратное уравнение (7) относительно $v(0)$

$$v^2(0) \frac{1}{2} (\xi(0)) + v(0) \frac{B(0)\mu}{2d_s \rho} - \frac{\Delta P}{\rho} = 0. \quad (7)$$

РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ (7) ПРЕДСТАВЛЯЕТ СОБОЙ ДВА КОРНЯ, ОДИН ОТРИЦАТЕЛЬНЫЙ, ДРУГОЙ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЙ. ОТРИЦАТЕЛЬНЫЙ КОРЕНЬ РЕШЕНИЯ НЕ УЧИТЫВАЕТСЯ.

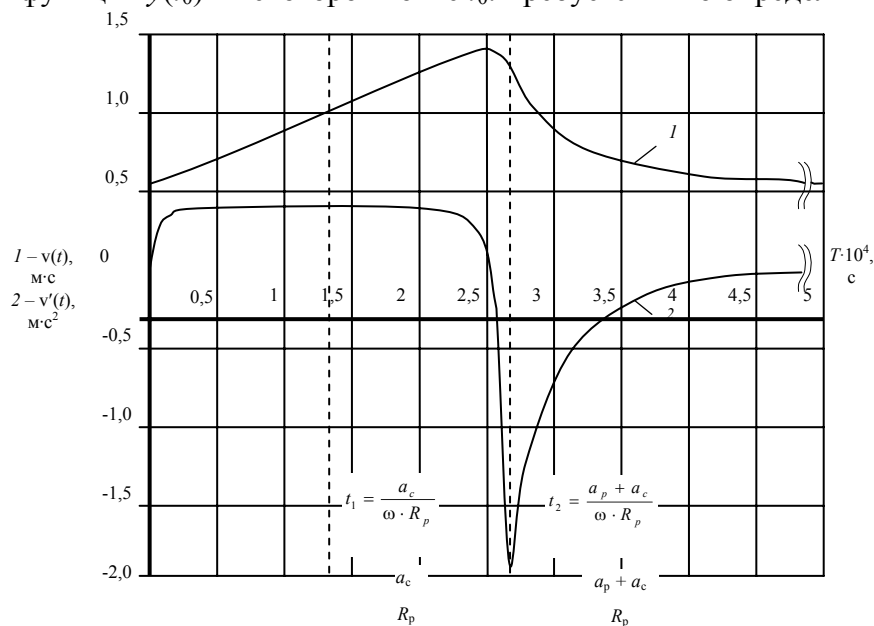
Уравнение (1) решалось в среде MathCAD 2001i с помощью вычислительного блока *Given/Odesolve* для решения одного обыкновенного дифференциального уравнения (ОДУ), реализующий численный метод Рунге-Кутты 4-го порядка. В качестве жидкости была взята вода для которой: $\mu = 0,0018$ Па · с, $\rho = 1000$ кг/м³. Геометрические и режимные характеристики РИА: $a_p = a_c = 0,002$ м, $b_p = b_c = 0,029$ м, $l_p = 0,01$ м, $l_c = 0,02$ м, $\delta = 1 \cdot 10^{-4}$ м, $R_p = 0,1$ м, угловая скорость ротора $\omega = 150$ с⁻¹, $\Delta P = 10^5$ Па.

В результате численного решения уравнения (1) построены графики зависимостей скорости $v(t)$ и ускорения $v'(t)$ потока жидкости от времени $t \in [0 : T]$ (рис 1). Период времени совмещения каналов ротора с каналами статора определяется по формуле

$$T = \frac{a_c + b_c}{\omega R_p}. \quad (8)$$

Вычислительный процессор MathCAD решает обыкновенные дифференциальные уравнения записанные только в стандартной форме (форме Коши): $y'(t) = f(y(t), t)$.

Правильная с математической точки зрения постановка соответствующей задачи Коши для ОДУ первого порядка должна, помимо самого уравнения, содержать одно начальное условие – значение функции $y(t_0)$ в некоторой точке t_0 . Требуется явно определить функцию $y(t)$ на интервале от t_0 до t_i .



Для численного интегрирования одного ОДУ по версии MathCAD 2001 необходимо сделать выбор: использовать вычислительный блок *Given/Odesolve*, либо встроенные функции, как в прежних версиях MathCAD. Первый путь предпочтительнее из соображений наглядности представления задачи и результатов, а второй дает пользователю больше возможностей по параметрам численного метода.

Вычислительный блок *Given/Odesolve* для решения одного ОДУ, реализующий численный метод Рунге-Кутты, состоит из трех частей: *Given* – ключевое слово; ОДУ и начальное условие, записанное с помощью логических операторов, причем начальное условие должно быть в форме $y(t_0) = b$; *Odesolve(t, ti)* – встроенная функция для решения ОДУ относительно переменной t на интервале $[t_0, t_i]$.

Допустимо, и даже часто предпочтительнее, задание функции *Odesolve(t, ti, step)* с тремя параметрами, где "step" – внутренний параметр численного метода, определяющий количество шагов, в которых метод Рунге-Кутты, будет рассчитывать решение дифференциального уравнения. Чем больше "step", тем с лучшей точностью будет получен результат, но тем больше времени будет затрачено на его поиск. Подбором этого параметра можно в несколько раз ускорить расчеты без существенного снижения их точности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Промтов М. А. Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика. М.: Машиностроение, 2001. 260 с.
- 2 Зимин А. И. Прикладная механика прерывистых течений. М.: Фолиант, 1997. 308 с.
- 3 Промтов М.А. Монастырский М.В. Итерационный метод определения кинематических параметров потока жидкости в роторно-импульсном аппарате с учетом изменения перепада давления // Моделирование. Теория методы и средства: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. Новочеркасск: УПЦ ЮРГТУ(НПИ), 2001. Ч. 8. С. 17 – 19.

Кафедра "Машины и аппараты химических производств"

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ АДсорбЕНТОВ ПИРОЛИЗОМ ГАЗООБРАЗНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ

Среди материалов, построенных из атомов углерода, особое место занимает, так называемый, активный углерод. Его можно представить как конструкцию, построенную из слоев атомов углерода, образующих структуру, подобную графиту. Отличие от графита обусловлено различной степенью внутри- и межслоевой разупорядоченности атомов. Благодаря такой конструкции активный углерод имеет пористое пространство, объем и размер пор которого определяются размером первичных кристаллитов, характером их упаковки и взаимной ориентацией. В связи с этим другим часто встречающимся в литературе названием активного углерода является название "пористый углеродный материал" (ПУМ).

В настоящее время ПУМ представляют собой важнейший класс адсорбентов, катализаторов и носителей, промышленное производство которых измеряется многими сотнями тысяч тонн и непрерывно возрастает из-за расширения традиционных и появления новых областей применения. Среди них следует особо отметить процессы короткоциклового безнагревного адсорбционного разделения газов, наполнители контейнеров для хранения природного газа, тепловые машины, гидрометаллургию, гемосорбцию, носители каталитически активных компонентов и многое другое.

Традиционной схемой получения ПУМ является высокотемпературный пиролиз (карбонизация) твердого углеродсодержащего сырья (древесина, природные угли, полимерные материалы) с последующей обработкой продукта карбонизации парами воды, двуокисью углерода и другими веществами, окисляющими углерод.

Этот метод получения имеет недостатки, среди которых наиболее существенными, влияющими на потребительские свойства конечного продукта являются следующие: а) углеродные кластеры и кристаллиты образуются в результате твердофазных плохо контролируемых превращений исходного углеродсодержащего сырья; б) минеральные примеси, содержащиеся в исходном сырье, переходят в состав конечного углеродного материала [1].

В настоящее время наиболее интенсивно развивается новый подход к синтезу ПУМ, обеспечивающий контроль как за стадией образования первичных кластеров углерода, так и за процессом ассоциации кластеров в частицу активного углерода. Согласно этому подходу ПУМ получают путем каталитического пиролиза газообразных углеводородов (метан, пропан, ацетилен и т.д.) на поверхности твердого катализатора.

На базе Тамбовского инновационно-технологического центра машиностроения специалистами ТГТУ были получены ПУМ путем пиролиза пропан-бутановой смеси на поверхности твердого катализатора на основе никеля.

Исходный раствор для получения катализатора приготавливали следующим образом: порошок из 1,94 г $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и 2,54 г $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ был тщательно перемешан с последующим добавлением 2 г лимонной кислоты и 20 мл деионизированной воды для формирования раствора [2]. Раствор в керамическом тигле помещали в печь, предварительно разогретую до температуры 823 К, и выдерживали в течение 10 мин. Полученный порошок измельчали до однородного состояния.

Навеску катализатора помещали в реактор (рис. 1). В реактор подавали пропан-бутановую смесь и нагревали реактор до 893 К. Скорость нагрева составляла 1 К/с. Образец выдерживали при данной температуре в течение 30 мин. Расход газа составлял 6 л/ч. После этого нагрев отключали и охлаждали аппарат до комнатной температуры, навеску доставали и взвешивали. Полученный продукт, представлял собой порошок черного цвета. Отмывку материала от катализатора проводили в азотной кислоте с концентрацией 10 % масс. в течение 2 ч при $T = 333 \text{ K}$, затем в дистиллированной воде до нейтрального pH.

Удельный выход продукта составлял 20...25 г продукта/г катализатора.

Оценка пористой структуры и сорбционной емкости образца производилась специалистами ТамбовНИХИ на приборах микроструктурной лаборатории Carlo Erba методом ртутной порометрии (с возможностью измерения минимальных размеров пор до 30 А°).

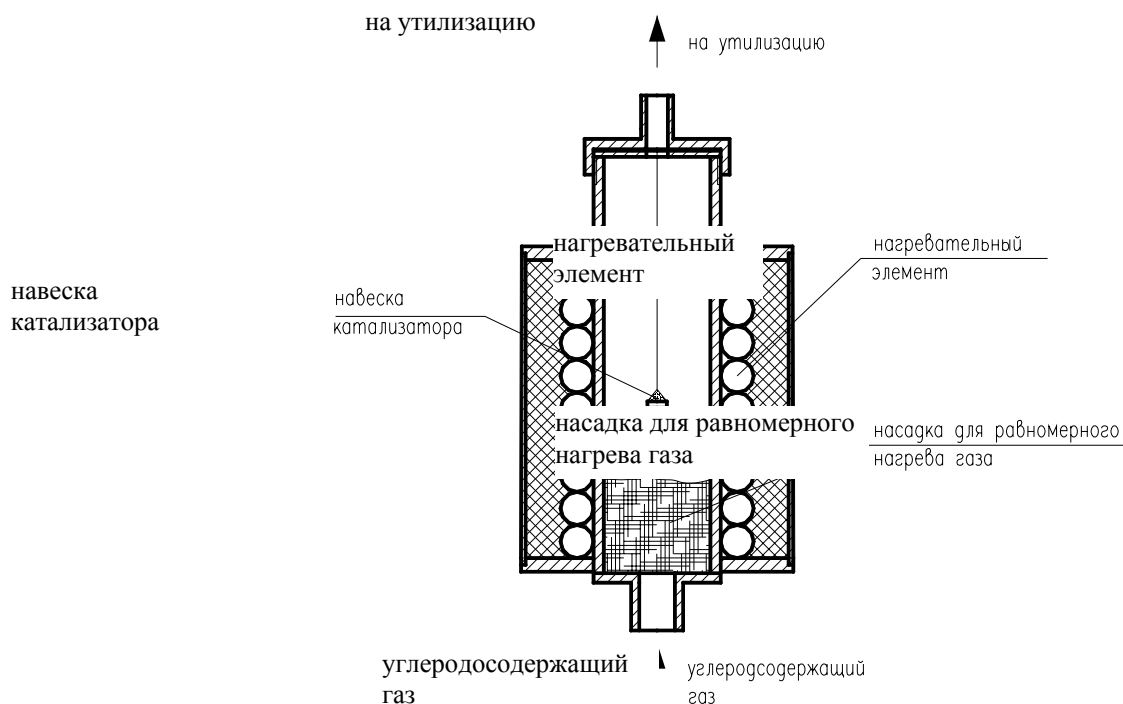


Рис. 1 Схема реактора

Прямое измерение пористой структуры образца порошка не позволило провести оценку распределения пор по радиусам. Для проведения исследований из порошка была спрессована таблетка диаметром 10 мм.

Суммарная поверхность измеренных пор составила 69,66 м²/г. По литературным данным удельная поверхность фуллерена C₆₀ – 0,12...0,15 м²/г.

Характеристический радиус измеренных пор равен 39 Å°.

Суммарная пористость – 52,15 %.

Статическая сорбционная емкость образца по парам бензола составила 0,07 см³/г. Оценка проводилась эксикаторным методом.

На основании проведенных исследований пористой структуры полученный материал можно отнести к наноструктурированным материалам, которые могут быть использованы в качестве высокоэффективных адсорбентов нового поколения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Лихолобов В.А. Каталитический синтез углеродных материалов и их применение в катализе // Соросовский образовательный журнал, 1997. № 5. С. 35 – 42.

2 Chen P., Zhang H.-B., Lin G.-D., Hong Q., Tsai K.R. Growth of carbon nanotubes by catalytic decomposition of CH₄ or CO on a Ni-MgO catalyst // Carbon Vol. 35, 1997. No. 10 – 11. P. 1495 – 1501.

Кафедра "Техника и технологии машиностроительных производств"

УДК 549.979 + 541,14.8

*С.Ю. Чупрунов, М.А. Колмакова,
Д.М. Ковальчук, А.Ю. Орлов**

**К ВОПРОСУ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ
ТЕРМОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ СУШКЕ
ОРГАНИЧЕСКИХ ПОЛУПРОДУКТОВ**

*Работа выполнена под руководством канд. техн. наук А.И. Леонтьевой.

Учитывая, что наиболее важными показателями качества химических продуктов тонкого органического синтеза являются концентрация целевого вещества и химическая чистота [3 – 5], при экспериментальном обосновании выбранных технологических режимов процесса сушки для ряда полупродуктов (Г- и Р-соль, Гамма-кислота и др.) наряду с классическими зависимостями, характеризующими кинетику удаления влаги из материала и его нагрев ($\omega = f_1(\tau)$ и $T = f_2(\tau)$), предлагается рассмотреть зависимости изменения концентрации целевого вещества от времени.

Зависимость концентрации от времени, представленная на рис. 1, является характерной для большинства термолабильных полупродуктов органических красителей, принадлежащих по своей химической структуре к различным классам веществ. Отличиями являются только величина ΔC , а также технологические режимы, при которых эффект потери концентрации целевого вещества становится практически значимым.

Для разработки математического описания термораспада полупродуктов органических красителей рассмотрим следующие положения.

В реальном случае влажный органический продукт состоит соответственно из следующих составляющих:

1) целевое вещество, массой $m_{цв}$;

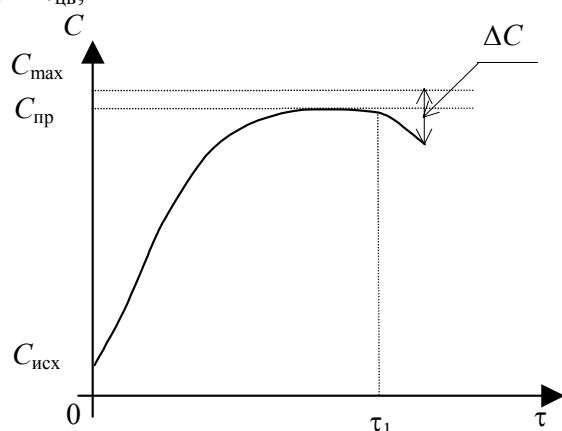


Рис. 1 Изображение процесса сушки органического продукта в координатах концентрация целевого вещества – время

2) вода (растворитель), массой $m_{вл}$;

3) примеси, массой $m_{пр}$.

Тогда масса продукта может быть определена по выражению

$$m_{п} = m_{цв} + m_{вл} + m_{пр} . \quad (1)$$

При анализе готовой выпускной формы полупродуктов органических красителей важными показателями качества являются:

– влагосодержание (или влажность) продукта, определяемое как

$$u_{п} = \frac{m_{вл}}{m_{цв} + m_{пр}} , \text{ кг/кг};$$

– концентрация целевого вещества в продукте, определяемая как

$$C_{п} = \frac{m_{цв}}{m_{цв} + m_{вл} + m_{пр}} , \text{ кг/кг}.$$

Анализ "качества" прохождения процесса сушки органического продукта, с точки зрения максимального сохранения целевого вещества в неизменном виде удобно проводить, сопоставляя кривую изменения концентрации целевого компонента в навеске материала, высушиваемого оцениваемым методом – $C_{п}^{эксп}(\tau)$, с "идеальной" кривой возрастания концентрации – $C_{п}^{расч}(\tau)$.

"Идеальную" кривую прироста концентрации $C_{\Pi}^{\text{расч}}(\tau)$ возможно получить расчетным путем, исходя из предположения, что в идеальном случае массы целевого вещества и примесей ($m_{\text{цв}}$ и $m_{\text{пр}}$) являются величинами постоянными, т.е. всякое воздействие на целевое вещество и примеси отсутствует.

С использованием экспериментальной зависимости изменения влагосодержания продукта в процессе сушки $u(\tau)$ расчетная кривая изменения концентрации целевого вещества в продукте определяется выражением (2)

$$C_{\Pi}^{\text{расч}}(\tau) = \frac{m_{\text{цв}}}{m_{\text{цв}} + u(\tau)m_{\text{цв}} + u(\tau)m_{\text{пр}}} . \quad (2)$$

Все составляющие выражения (2) выразим через начальные значения концентрации целевого компонента C_{Π}^0 и массы влаги, содержащейся в продукте перед сушкой $m_{\text{вл}}^0$

$$m_{\text{вл}}^0 = u_0 m_{\text{цв}} + u_0 m_{\text{пр}} . \quad (3)$$

Массу целевого компонента, в начальный момент времени можно рассчитать по формуле

$$C_{\Pi}^0 m_{\text{цв}} + C_{\Pi}^0 m_{\text{вл}}^0 + C_{\Pi}^0 m_{\text{пр}} = m_{\text{цв}} . \quad (4)$$

Выразив из (4) массу целевого вещества и проведя преобразования, с учетом (3) получим

$$m_{\text{цв}} = \frac{C_{\Pi}^0 m_{\text{пр}} (u_0 + 1)}{1 - C_{\Pi}^0 - C_{\Pi}^0 u_0} . \quad (5)$$

Материальный баланс для единицы массы вещества

$$1 = C_{\Pi}^0 + m_{\text{вл}}^0 + m_{\text{пр}} , \quad (6)$$

из которого можно получить

$$1 = \frac{u_0 (u_0 + 1) C_{\Pi}^0}{1 - C_{\Pi}^0 - C_{\Pi}^0 u_0} m_{\text{пр}} + C_{\Pi}^0 + u_0 m_{\text{пр}} + m_{\text{пр}} . \quad (7)$$

Тогда масса примесей равна

$$m_{\text{пр}} = \frac{(1 - C_{\Pi}^0)(1 - C_{\Pi}^0 - C_{\Pi}^0 u_0)}{u_0 + 1 - C_{\Pi}^0 - C_{\Pi}^0 u_0} . \quad (8)$$

С учетом выражений (3), (5), (8) концентрацию целевого компонента в процессе сушки можно представить в виде

$$C_{\Pi}^{\text{расч}}(\tau) = \frac{C_{\Pi}^0}{C_{\Pi}^0 + u(\tau) \left(\frac{C_{\Pi}^0 u_0 + A}{u_0 + A} \right) + \frac{A(1 - C_{\Pi}^0)}{u_0 + A}} , \quad (9)$$

где $A = 1 - C_{\Pi}^0 - C_{\Pi}^0 u_0$.

Проведя необходимые преобразования, из выражения (9) получим

$$C_{\Pi}^{\text{расч}}(\tau) = \frac{u_0 + 1 - C_{\Pi}^0 - C_{\Pi}^0 u_0}{\left(\frac{1}{C_{\Pi}^0} - 1 - u(\tau) + \frac{u(\tau)}{C_{\Pi}^0} \right)} . \quad (10)$$

Таким образом, для оценки "качества" прохождения процесса сушки органических полупродуктов выбранным методом необходимо провести сопоставление экспериментальной и расчетной зависимостей изменения концентрации целевого вещества во времени

$$\Delta C_n(\tau) = C_n^{\text{расч}}(\tau) - C_n^{\text{эксп}}(\tau). \quad (11)$$

Следовательно, значение $\Delta C_n(\tau)$ позволяет оценить наличие и охарактеризовать термохимические превращения, происходящие в органическом продукте при его сушке в заданных условиях, так как $\Delta C_n(\tau)$ характеризует только какие-либо превращения целевого вещества, влияние же изменения влаго-содержания продукта на концентрацию целевого вещества из рассмотрения исключается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Леонтьева А.И., Утробин Н.П., Брянкин К.В., Чупрунов С.Ю. Исследование кинетики процесса сушки полупродуктов красителей (Р-соли) // Вестник Тамбовского государственного университета, 1996. Т. 1. Вып. 2. 163 – 165 с.
- 2 Сажин Б.С. Научные основы техники сушки: Учеб. пособие / В.Б. Сажин. М.: Наука, 1997. 448 с.
- 3 Степанов Б.И. Введение в химию и технологию органических красителей. М.: Химия, 1977. 487 с.

Кафедра "Химические технологии органических веществ"

УДК 66.047

А.А. Ковынев, А.И. Шершуква, С.В. Першина

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗЕРНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ*

Механические процессы переработки зернистых материалов широко используются в различных отраслях промышленности.

При моделировании процессов переработки зернистых материалов используются различные механические характеристики этих материалов. В частности, при математическом описании движения зернистых материалов используют углы и коэффициенты внешнего и внутреннего трения, трения покоя и движения, углы естественного откоса и обрушения и т.д. Такое многообразие характеристик усложняет, а иногда делает практически невозможным, сравнение результатов, полученных разными исследователями. Разнообразие характеристик породило большое количество приборов и методик для определения этих характеристик. В основном, приборы мало механизированы и автоматизированы, в результате чего большое влияние на точность измерения характеристик оказывают субъективные факторы. Из литературных источников известно, что даже при использовании стандартных методик [1] отклонения в результатах, полученных разными исследователями, превышают 15 %.

Организация автоматизированного эксперимента позволит существенно снизить время на получение экспериментальных данных и влияние субъективных факторов на точность результатов.

Для автоматизации процесса получения информации нами выбран метод цифровой видеосъемки [2]. С помощью графического редактора Adobe Photoshop 6.0 мы обрабатываем полученные изображения и используем стандартный фильтр, позволяющий рельефно выделить очертания различных объектов на снимке.

На рис. 1 показана схема прибора для определения углов трения покоя и движения зернистых материалов [3]. Устройство состоит из основания 1, на котором установлен барабан 2 с приводом вращения. Внутри барабана установлена лопасть 3, сыпавший край которой совпадает с осью вращения барабана. На основании расположена также угловая шкала 4, а на барабане, подвижный флажок 5.

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

Определение углов трения выполняются в следующей последовательности. Анализируемый зернистый материал засыпается в барабан 2. Включают привод вращения барабана. После того, как барабан сделает

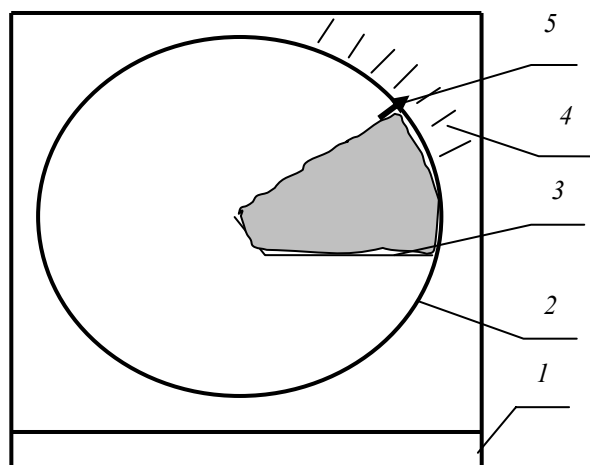


Рис. 1 Схема прибора для определения углов трения покоя и движения

2-3 оборота привод вращения выключают в тот момент, когда начинается стабильное ссыпание зернистого материала с лопасти. Останавливают барабан, и после того, как закончится ссыпание материала с лопасти, фиксируют угол наклона открытой поверхности материала к горизонту – угол трения движения (α_d). Помещают флажок в точку пересечения линии открытой поверхности с обечайкой барабана и повторно включают привод барабана. Привод выключают в тот момент, когда начинается ссыпание материала с лопасти. По положению флажка определяют угол наклона открытой поверхности материала к горизонту, при котором началось ссыпание материала. Это угол трения покоя (α_n).

При малой разнице в численных значениях углов трения движения и покоя (сухой речной песок, стеклянные шарики) определение угла трения покоя осуществляют другим способом. После определения угла трения движения α_d начинают вращать барабан с угловой скоростью, соответствующей режиму периодических обрушений, и замеряют время τ_5 , за которое происходит пять обрушений материала с лопасти, после чего барабан останавливают. Угол трения покоя α_n рассчитывают по следующей формуле

$$\alpha_n = \alpha_d + \tau\omega/5.$$

Результаты экспериментальных исследований показали, что отклонения численных значений углов от среднего значения для данной серии, в значительной степени, зависят от субъективных причин, т.е. зависят от исследователя. Нами были проведены аналогичные опыты, в которых положение материала фиксировали цифровой видеокамерой. Численные значения углов определяли по снимкам. Анализ полученных результатов показал, что средние квадратические отклонения уменьшились примерно в два раза.

Разработана программа, позволяющая сканировать снимки и определять угол наклона открытой поверхности к горизонту при начале ссыпания и завершении ссыпания зернистого материала с лопасти. Результаты предварительных экспериментов позволили выявить недостатки данной программы и наметить пути их устранения. Тем не менее, имеется реальная возможность создать методику и аппаратно-программное обеспечение, которые позволят экспериментально определять углы трения покоя и движения зернистых материалов, практически без участия исследователя, т.е. будет полностью исключен субъективный фактор, который влияет на точность определения механических характеристик зернистых материалов.

Список литературы

- 1 Standard shear testing technique for particulate solids using the Jenike shear cell. The institut of chemicalengineer european federation of chemical engineering – Published by the Institution of Chemical Engineers , George E. Davis Building, 165-171 Railway Terrace, Rugby , Warwickshire, CV21 3HQ, England, 1989 – 46 p.
- 2 А.с. 1083086 СССР G 01 B5/24 Устройство для определения углов естественного откоса и обрушения сыпучих материалов / М.П. Макевнин, В.Л. Негров, В.Ф. Першин, М.М. Свиридов. Бюл. № 12, 1984.

Кафедра "Прикладная механика и сопротивление материалов"

УДК 553.517.2

А.А. Коптев, А.В. Шершук

ДВИЖЕНИЕ ЖИДКОСТИ МЕЖДУ ОДНОНАПРАВЛЕННО ВРАЩАЮЩИМИСЯ ПЕРФОРИРОВАННЫМИ ДИСКАМИ

Задано, что плоскости дисков параллельны, жидкость ньютоновская, несжимаемая.

Считаем, что коаксиально вращающиеся в одном направлении плоские диски с равными угловыми скоростями затоплены (помещены)

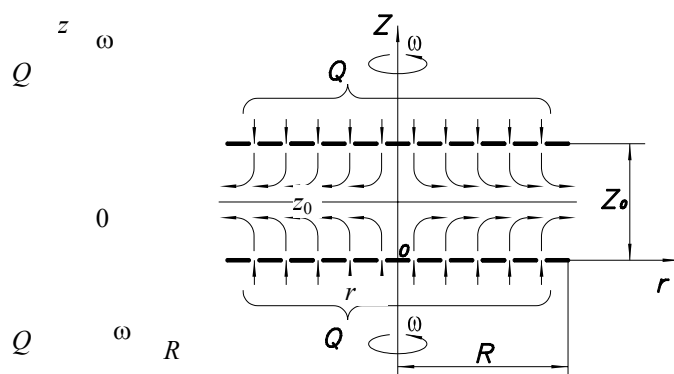


Рис. 1 Схема движения жидкости

в жидкую среду. Полагаем, что расстояние между дисками z_0 мало по сравнению с радиусом дисков R , движение установившееся, $\omega = \text{const}$, Q – объемный расход жидкости (рис. 1).

Для решения задачи выбираем цилиндрическую систему координат r, φ, z . Движение сплошной среды (жидкости) в выбранной системе координат описывается уравнениями Навье-Стокса и уравнением неразрывности.

Задачу решаем в абсолютной системе координат. Граничные условия принимаем на основе гипотезы прилипания жидкости к поверхностям вращающихся дисков.

Систему уравнений Навье-Стокса преобразуем в безразмерный вид с помощью известной подстановки Т. Кармана [1, 2]:

$$\begin{aligned}
 u &= \omega r H'(\varepsilon); \\
 v &= \omega r G(\varepsilon); \\
 w &= -2\sqrt{\omega \nu} H(\varepsilon); \\
 p - p_0 &= -C \frac{\omega r^2}{2} P - 2\rho \omega \nu P(\varepsilon),
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где u – радиальная скорость жидкости; v – окружная скорость жидкости; w – осевая скорость жидкости; H', G, H – соответственно безразмерные скорости в радиальном окружном и осевом направлениях; $\varepsilon = z\sqrt{\frac{\omega}{\nu}}$ – безразмерная осевая координата; ν – кинематическая вязкость жидкости; p – давление; p_0 – давление в точке $r = 0, z = 0$; P – безразмерное давление; C – коэффициент давления.

В итоге уравнения Навье-Стокса приводятся к системе обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned}
 H''' &= C + H'H' - G^2 - 2HH''; \\
 G'' &= 2(H'G - HG'); \quad (2) \\
 P' &= H'' + 2HH',
 \end{aligned}$$

где штрихи означают производные по ε .

При этом уравнение неразрывности удовлетворяется тождественно.

Нами получены результаты методами численного интегрирования, подтверждающие неоднозначность решений системы дифференциальных уравнений (2) при одних и тех же граничных условиях. Это обусловлено нелинейностью дифференциальных уравнений. Решение проводилось с помощью разложений функций $H(\varepsilon)$, $G(\varepsilon)$ в ряды Тэйлора.

На рис. 2 представлена найденная зависимость $H(0) = -H(\varepsilon_0)$ от $\varepsilon_0 = z_0 \sqrt{\frac{\omega}{\nu}}$ при $C = 0$ на интервале изменения $\varepsilon_0 = 28 \dots 36$.

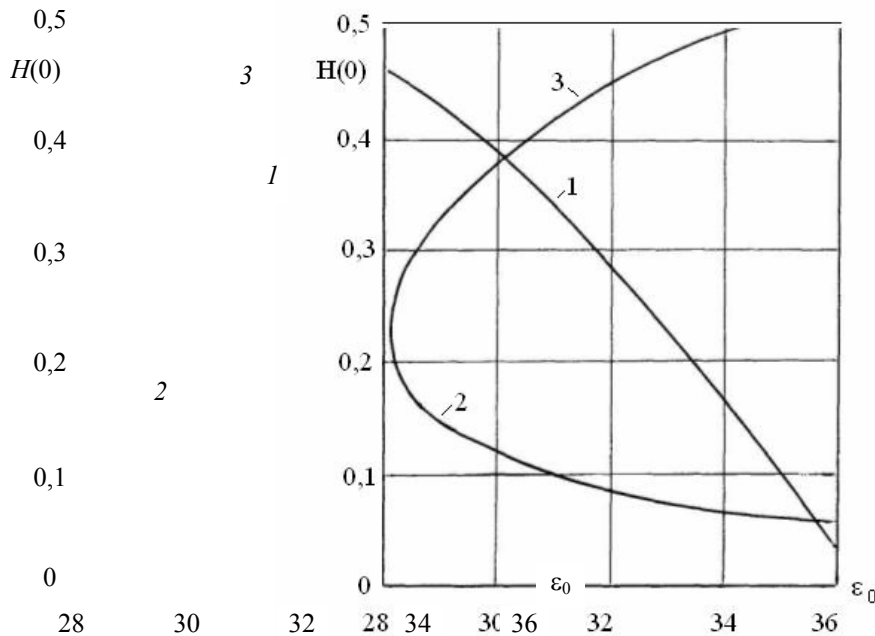


Рис. 2 Зависимость безразмерной осевой скорости $H(0)$ от безразмерного расстояния между дисками ε_0 при коэффициенте давления $C = 0$

ТАБЛИЦА

ε_0	$H_1(0)$	$H_2(0)$	$H_3(0)$
28,0	0,463072	—	—
29,0	0,426439	0,145676	0,330964
30,0	0,384754	0,117771	0,381986
31,0	0,338060	0,099618	0,421099
32,0	0,286482	0,086245	0,453236
33,0	0,230232	0,075793	0,480236
34,0	0,169606	0,067329	0,503030
35,0	0,105004	0,060306	0,522175
36,0	0,036961	0,054377	0,538046

Из представленных графических и табличных данных видно, что на рассматриваемом интервале возможны три решения уравнений (2), т.е. неоднозначность при одном и том же значении ε_0 . Это главный вывод нашего исследования.

- 1 Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1974. 712 с.
- 2 Коптев А.А., Быченко В.И., Пасько Т.В. Движение жидкости в центробежном поле между вращающимся и неподвижным диском // Вестник Тамбовского государственного технического университета, 2000. Т. 6. № 2. С. 235 – 241.

Кафедра "Техника и технологии машиностроительных производств"

УДК 66.065.51

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

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ИОНОВ Na^+ , K^+ , H^+ , SO_4^{2-} В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ РАСТВОРАХ СУСПЕНЗИЙ

Расширение ассортимента продукции в таких отраслях промышленности как полиграфическая, текстильная, кожевенная предъявляет повышенные требования к качеству синтетических красителей. На формирование качественных показателей синтетических красителей основное влияние оказывают такие характеристики их полупродуктов как доля основного вещества и примесей, кислотность, растворимость.

Одним из представителей полупродуктов органических красителей является Гамма-кислота, производство которой сопровождается образованием водорастворимых солей натрия и калия, снижающих качество Гамма-кислоты.

Удаление водорастворимых солей можно осуществить процессом изогидрической кристаллизации на стадии очистки суспензии Гамма-кислоты, при этом может быть решена параллельно задача получения сопутствующих продуктов в кристаллическом виде, удобном для дальнейшего использования.

Для оценки кинетики процесса кристаллизации водорастворимых солей необходимо иметь информацию о количественном составе жидкой фазы суспензии Гамма-кислоты в любой наперед заданный момент времени.

В связи с отсутствием методики количественного определения сульфатов натрия и калия в многокомпонентном растворе, таком как жидкая фаза суспензии Гамма-кислоты, было необходимо разработать методику определения содержания сульфатов натрия и калия.

Многокомпонентный раствор суспензии Гамма-кислоты состоит из сульфатов натрия и калия, серной кислоты, растворенной Гамма-кислоты и органических примесей (H_2O , Na^+ , K^+ , H^+ , SO_4^{2-}).

Концентрацию содержания ионов калия (K^+) определяли по реакции осаждения с тетрафенилборатом натрия ($\text{Na}[\text{B}(\text{C}_6\text{H}_5)_4]$), при этом ионы калия формируют нерастворимый осадок в кислотно-водной среде, не вступая в реакцию осаждения с ионами натрия.

Содержание ионов калия определяли следующим образом: навеску раствора с выпавшим осадком ($\text{K}[\text{B}(\text{C}_6\text{H}_5)_4]$) взвешивали на аналитических весах. Затем раствор (массой 150 г) отфильтровывали при температуре 33 °С. Полученный осадок промывался 100 г дистиллированной воды, и выпаривался до постоянного веса.

Содержание ионов калия в анализируемом растворе определяли по формуле

$$m_{\text{K}} = \frac{m_{\text{нав}} \cdot M_{\text{K}}}{M_{[\text{B}(\text{C}_6\text{H}_5)_4]}}, \quad (1)$$

где m_{K} – масса калия; $m_{\text{нав}}$ – масса сухой навески; $M_{[\text{B}(\text{C}_6\text{H}_5)_4]}$ – молекулярная масса $[\text{B}(\text{C}_6\text{H}_5)_4]$; M_{K} – молекулярная масса калия.

Для определения количества сульфата калия использовали зависимость

$$m_{\text{K}_2\text{SO}_4} = \frac{m_{\text{K}} \cdot M_{\text{K}_2\text{SO}_4}}{M_{\text{K}}}, \quad (2)$$

1 Значения истинного и замеренного содержания сульфата калия для различных объемов исследуемых растворов

Масса исходного раствора, г	Содержание сульфата калия в растворе, кг/кг							
	растворено				определено аналитически			
	1	2	3	4	1	2	3	4
50,00	0,508	0,503	0,498	0,506	0,480	0,475	0,496	0,503
	2,997	2,994	2,993	2,992	2,767	2,819	2,880	2,860
	7,004	6,992	7,009	7,008	6,601	6,899	6,643	6,682
100,00	1,010	0,991	0,998	0,996	0,969	0,940	0,959	0,963
	6,004	5,993	5,996	6,004	5,963	5,919	5,818	5,922
	13,992	13,993	14,000	14,005	13,112	13,419	13,935	13,848
150,00	1,507	1,498	1,499	1,496	1,450	1,440	1,436	1,452
	9,003	9,004	9,002	8,991	8,914	8,827	8,953	8,853
	20,995	21,002	20,990	20,998	20,720	20,177	19,850	20,870
200,00	1,996	2,001	1,994	2,007	1,976	1,973	1,919	1,988
	11,999	12,006	11,998	11,991	11,441	11,967	11,558	11,951
	26,999	26,993	27,005	26,991	26,229	26,055	26,699	26,951

Относительная погрешность определения содержания сульфата калия в растворе составила 2,93 %.

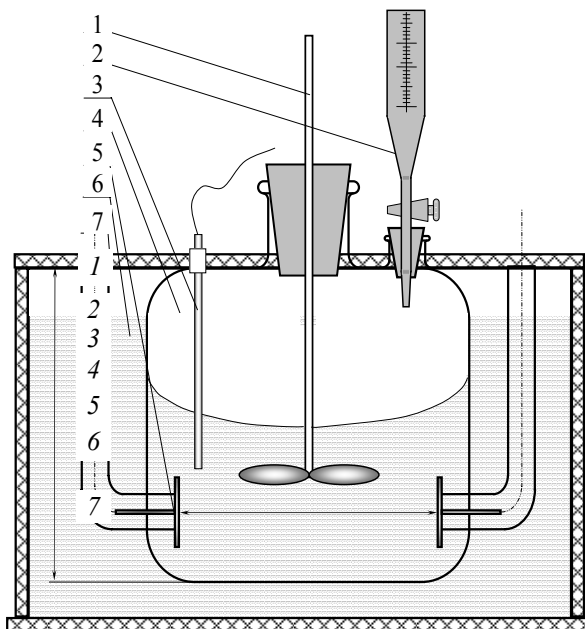
Для определения сульфатной группы (SO_4^{2-}) в растворе приняли метод кондуктометрического титрования ацетатом бария ($\text{Ba}(\text{C}_2\text{H}_3\text{OO})_2$), основанным на изменении проводимости системы, состоящей из растворов сильных электролитов



Для предотвращения процесса соосаждения (в осадок выпадают наряду с образовавшейся солью и исходные соединения анализируемого вещества), и уменьшения погрешности измерения, вызванной этим эффектом, анализируемый раствор разбавляют в соотношении 1:10...1:30.

Температура среды, которую анализируют методом титрования, влияет на точность результатов. Так,

Для



для многих неорганических ионов в водных растворах повышение температуры на 1 °C увеличивает электропроводность на 1,5...2,5 %. устранения погрешности при определении электропроводности анализируемый раствор термостатировался с точностью ($\pm 0,1$ °C). Во избежание процесса соосаждения,

Рис. 1 Принципиальная схема конструкции электролитической ячейки:

- 1 – перемешивающее устройство; 2 – титровальная установка;
 3 – термоизмерительный элемент; 4 – сосуд для титрования;
 5 – платинированные электроды; 6 – термостат; 7 – термоизоляция

который также зависит от температуры раствора, при измерении электропроводности электрохимическую ячейку термостатировали (рис. 1).

Определение электропроводности раствора осуществляли следующим образом: анализируемый раствор, массой 5 г, разбавляли дистиллированной водой объемом 50...150 мл в зависимости от содержания сульфат-ионов в анализируемом растворе. Приготовленный раствор заливали в сосуд для титрования 4 (рис. 1), выводили термостат на температуру 90 °C (± 0,1 °C) при включенной мешалке 1, и с помощью термоизмерительного элемента 3, установленного непосредственно в титровальный сосуд, осуществляли контроль температуры. При достижении температуры раствора 90 °C (± 0,1 °C), через титровальную установку порциями по 0,2 мл с интервалом 10 с подавали титрующий агент – ацетат бария ($\text{Ba}(\text{C}_2\text{H}_3\text{OO})_2$).

При замене в растворе ионов SO_4^{2-} на ионы $2\text{C}_2\text{H}_3\text{OO}^-$ электропроводность раствора понижалась. При достижении точки эквивалентности (реакция замещения прошла до конца) наблюдался незначительный

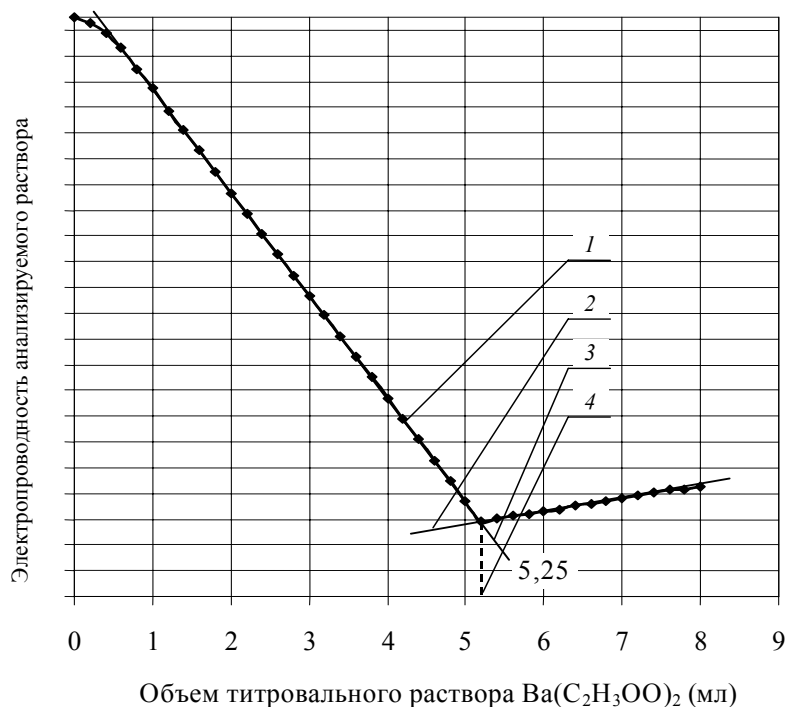


Рис. 2 Кондуктометрическое титрование раствором

$\text{Ba}(\text{C}_2\text{H}_3\text{OO})_2$ сульфатной группы SO_4^{2-} :

1 – кривая титрования в записи КСП-4; 2 – касательные к кривой титрования; 3 – точка эквивалентности

ее рост. На регистрирующем приборе записывались показания электропроводности во времени (рис. 2).

Для определения массы ионов бария, вступивших в реакцию осаждения сульфатной группы, можно воспользоваться

зависимостью

$$m_{\text{Ba}^+} = \frac{Q_3 (C_{\text{Ba}(\text{C}_2\text{H}_3\text{OO})_2} / 100) M_{\text{Ba}^+}}{M_{\text{Ba}(\text{C}_2\text{H}_3\text{OO})_2}}, \quad (3)$$

где Q_3 – объем титровального раствора необходимый для достижения системой точки эквивалентности; $C_{\text{Ba}(\text{C}_2\text{H}_3\text{OO})_2}$ – концентрация ацетата бария в титровальном растворе; M_{Ba^+} – молекулярная масса ионов бария; $M_{\text{Ba}(\text{C}_2\text{H}_3\text{OO})_2}$ – молекулярная масса ацетата бария.

Зная массу ионов бария, израсходованных на осаждение сульфат-ионов в анализируемом растворе, можно рассчитать массу сульфатной группы

$$m_{\text{SO}_4^{2-}} = \frac{m_{\text{Ba}} M_{\text{SO}_4^{2-}}}{M_{\text{Ba}}}. \quad (4)$$

Относительная погрешность измерения концентрации сульфатной группы в растворе составила 2,053 %.

Определение ионов водорода H^+ в анализируемых растворах проводили по стандартной методике, применяемой для определения кислотности реальных растворов суспензий органических полупродук-

тов. Измеряли рН среды, данные фиксировали и по зависимости $pH = -\lg[H^+]$ определяли количество H^+ ионов в растворе. Содержание серной кислоты в растворе, зная содержание ионов водорода, можно определить

$$m_{H_2SO_4} = \frac{M_{H_2SO_4} m_H}{M_H}. \quad (5)$$

Относительная погрешность разработанной методики измерения содержания сульфатов натрия и калия в многокомпонентном растворе суспензии Гамма-кислоты составила 5,06 % ,что приемлемо для инженерных расчетов.

*Кафедра "Химические технологии органических веществ"**

УДК 662.933.14 + 621.694.2

А.А. БАРАНОВ, С.В. КОРОЛЕВ, А.А. ПИРОЖЕНКО

РАСЧЕТ ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТИ АППАРАТА ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ГОРЕНИЯ ДЛЯ ЭЖЕКЦИОННОГО ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА

Параметры теплоносителя на выходе из аппарата пульсирующего горения (АПГ) вследствие его высокой температуры в большинстве случаев не удовлетворяют требованиям по реализации технологических процессов, таких как нагрев, сушка и другие. Поэтому весьма актуальным является решение вопроса смешения продуктов сгорания на выходе из аппарата с холодным окружающим воздухом с целью обеспечения необходимой температуры теплоносителя и его расхода.

В этой связи наиболее перспективными и совершенными устройствами для смешения являются эжекторы. Конструкция эжекционного теплогенератора достаточно проста и включает аппарат пульсирующего горения, реализующий пульсирующий режим сжигания топлива, установленный полностью или частично (только выхлопное сопло) внутри эжектирующего кожуха цилиндрической или цилиндрикоконической формы. В таком теплогенераторе используется энергия высокоскоростной струи газа на выходе из АПГ для засасывания окружающего воздуха, смешения его с продуктами сгорания и создания необходимого избыточного давления на выходе.

Основной задачей проектирования эжекционного теплогенератора пульсирующего горения является расчет аппарата пульсирующего горения такой тепловой мощности, чтобы с учетом эжектруемого воздуха на выходе из теплогенератора получить заданный объемный расход теплоносителя $V_{см}$ и температуру $T_{см}$. Именно эти параметры являются определяющими условия проведения технологического процесса и являются исходными для проектирования теплогенерирующих устройств.

При смешении двух потоков с близкими давлениями и отсутствии внешнего теплообмена применительно к эжекционному теплогенератору будет иметь место следующий баланс энтальпий

$$G_{см} h_{см} = G_1 h_1 + G_2 h_2,$$

где G_1 , G_2 , $G_{см}$ – массовые расходы продуктов сгорания, эжектируемого воздуха и теплоносителя на выходе из теплогенератора; h_1 , h_2 , $h_{см}$ – удельные энтальпии продуктов сгорания, эжектируемого воздуха и теплоносителя на выходе из теплогенератора соответственно.

Считая смесеобразующие компоненты и их смесь идеальными газами, удельную энтальпию можно представить в виде $h = c_p(T - T_0)$, и баланс энтальпий будет

$$G_{см} c_{pсм}(T_{см} - T_0) = G_1 c_{p1}(T_1 - T_0) + G_2 c_{p2}(T_2 - T_0),$$

где $G_{см} = G_1 + G_2$, c_p – средняя изобарная теплоемкость компоненты.

Проведя несложные преобразования можно получить, что

$$T_{\text{см}} = \frac{G_1 c_{p1} T_1 + G_2 c_{p2} T_2}{G_1 c_{p1} + G_2 c_{p2}}.$$

В последнем уравнении предполагаются известными все температуры (причем $T_{\text{см}}$ – исходная величина для проектирования, а T_2 – средняя температура окружающего воздуха) и изобарные теплоемкости. Тогда расход эжектируемого воздуха обеспечивающего заданную температуру теплоносителя на выходе из теплогенератора будет

$$G_2 = \frac{G_1 c_{p1} (T_1 - T_{\text{см}})}{c_{p2} (T_{\text{см}} - T_2)}.$$

Согласно открытию № 314 сделанному академиком В.Н. Челомеевым, О.И. Кудриным и А.В. Квасниковым в эжекционном процессе с пульсирующей активной струей наблюдается аномальный прирост тяги, порядка 140 %. В этой связи необходимо заметить, что при осредненном значении расхода G_1 на выходе из АПГ следует ожидать увеличение притока эжектируемого воздуха в 2,4 раза. Значит, в расчетное выражение для G_2 следует ввести коэффициент увеличения расхода k_p . Поскольку амплитудные отклонения скорости эжектирующей струи от средней на выходе из АПГ достаточно велики, можно принять для практических расчетов коэффициент увеличения расхода эжектируемого воздуха в диапазоне 1,7...2,4. В этом случае

$$G_2 = k_p \frac{G_1 c_{p1} (T_1 - T_{\text{см}})}{c_{p2} (T_{\text{см}} - T_2)}.$$

В сумме расход продуктов сгорания и эжектируемого воздуха должны обеспечивать заданную объемную производительность теплогенератора

$$V_{\text{см}} = \frac{G_1 + G_2}{\rho_{\text{см}}} = \frac{1}{\rho_{\text{см}}} \left(G_1 + k_p \frac{G_1 c_{p1} (T_1 - T_{\text{см}})}{c_{p2} (T_{\text{см}} - T_2)} \right).$$

Откуда

$$G_1 = \frac{V_{\text{см}} \rho_{\text{см}} c_{p2} (T_{\text{см}} - T_2)}{c_{p2} (T_{\text{см}} - T_2) + c_{p1} k_p (T_1 - T_{\text{см}})}. \quad (1)$$

В свою очередь, средний расход продуктов сгорания на выходе из аппарата пульсирующего горения определяется законом сохранения массы, т.е. $G_1 = G_{\text{в}} + G_{\text{г}}$, где $G_{\text{в}}$ – массовый расход воздуха, необходимого для сжигания горючего в количестве $G_{\text{г}}$. С учетом того, что необходимый расход воздуха $G_{\text{в}}$ можно выразить через массовое соотношение количества подаваемого воздуха и горючего k_m , получим

$$G_1 = G_{\text{г}} k_m + G_{\text{г}} = G_{\text{г}} (k_m + 1).$$

Расход горючего $G_{\text{г}}$ однозначно определяется заданной тепловой мощностью АПГ

$$G_{\text{г}} = \frac{W}{W_{\text{н}}^{\text{п}} \eta_{\text{г}}},$$

где W – тепловая мощность, Вт; $W_{\text{н}}^{\text{п}}$ – низшая теплота сгорания топлива, Дж/кг; $\eta_{\text{г}}$ – КПД аппарата пульсирующего горения.

В конечном итоге расход продуктов сгорания G_1 можно выразить через исходные данные для расчета АПГ на заданную тепловую мощность

$$G_1 = \frac{W}{W_{\text{н}}^{\text{п}} \eta_{\text{г}}} (k_m + 1). \quad (2)$$

Комбинируя выражения (1) и (2), легко получить необходимую тепловую мощность аппарата пульсирующего горения, обеспечивающую объемный расход теплоносителя на выходе из теплогенератора $V_{\text{см}}$ и заданную температуру $T_{\text{см}}$:

$$W = \frac{G_1 W_H^p \eta_r}{(k_m + 1)}$$

или

$$W = \frac{V_{cm} \rho_{cm} c_{p2} (T_{cm} - T_2)}{c_{p2} (T_{cm} - T_2) + c_{p1} k_p (T_1 - T_{cm})} \frac{W_H^p \eta_r}{(k_m + 1)} \quad (3)$$

В выражении (3) теплофизические свойства газа на выходе из АПГ с индексом "1", определяются в результате термодинамического расчета процесса горения при заданном массовом соотношении воздух/топливо k_m . Свойства окружающего воздуха с индексом "2" определяются средней температурой эксплуатации теплогенератора. Плотность смеси определяется как плотность воздуха при температуре смеси T_{cm} .

Поскольку инженерная методика расчета аппаратов пульсирующего горения на заданную тепловую мощность достаточно полно разработана [1], остается определить геометрические размеры эжектора, обеспечивающие заданные параметры теплоносителя на выходе из теплогенератора. В этом вопросе можно ориентироваться, например, на методы проектирования газовых эжекционных смесителей, используемые при расчете газовых горелок [2]. Однако, при этом следует учитывать, что в литературе рассматриваются методики проектирования эжекторов со стационарной активной струей эжектирующего газа, поэтому при расчете массового и объемного коэффициентов эжекции следует принять коэффициент увеличения расхода за счет пульсирующей активной струи k_p равным 1.

Таким образом, алгоритм расчета эжекционного теплогенератора с АПГ реализуется по следующей схеме:

- 1) Определяется тепловая мощность АПГ, обеспечивающая заданную объемную производительность и температуру теплоносителя на выходе из теплогенератора по выражению (3).
- 2) Рассчитываются режимные и конструктивные параметры АПГ на полученную мощность.
- 3) Определяются размеры эжектирующего кожуха без учета увеличения расхода эжектируемого воздуха за счет активной пульсирующей струи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Быченко В.И., Коптев А.А., Баранов А.А. Метод расчета устройств пульсирующего горения на заданную тепловую мощность // Вестник Тамбовского государственного технического университета, 1998. Т. 4. № 1. С. 59 – 63.

2 Ионин А.А. Газоснабжение: Учебник. М.: Стройиздат, 1989.

Кафедра "Техника и технологии машиностроительных производств"

УДК 549.979 + 541,14.8

***К.В. Брянкин, Д.О. Толмачев,
Е.В. Брыкина, Е.В. Романова****

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУЩЕСТВУЮЩЕГО СУШИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ АЗОПИГМЕНТОВ

Одним из наиболее массовых производств в химической технологии тонкого органического синтеза является производство азопигментов. Примером важнейших в экспортном отношении продуктов являются пигменты рубиновые марок ВКС, ВКС-2, выпускаемые на ОАО "Пигмент". Химический состав, дисперсность данных марок разрабатывались с учетом требований предприятий – заказчиков. В связи с возросшим объемом экспорта пигмента, в основном, в страны дальнего зарубежья, где данный пигмент используется в полиграфической промышленности, возросли и требования к качеству красителя. Так для

*Работа выполнена под руководством канд. хим. наук Н.П. Утробина.

поставки данных пигментов по договору с итальянской фирмой "Sogo It." один из основных качественных показателей продукта – конечная влажность снизилась с традиционных 5...6 % до 1 %.

Еще одной проблемой стало увеличение влажности пасты, поступающей на стадию сушки готового продукта с 55...60 % до 75...80 %. Это связано с неоднородностью дисперсного состава и уменьшением среднего эквивалентного диаметра частиц до 5 мкм, что, в свою очередь, осложняет процесс фильтрации и промывки полученных осадков, увеличивает конечную влажность продукта, после проведения стадии фильтрации [1].

Традиционная технологическая схема производства для стадии сушки готового продукта предусматривает использование вальцеленточной сушилки (СВЛ) [1]. Однако, данная сушилка, предназначенная для работы в непрерывном режиме, не обеспечивает необходимую интенсивность удаления влаги при удовлетворительной производительности. Для обеспечения качественных показателей на ОАО "Пигмент" применялся следующий технологический прием – работа сушильного оборудования с "до-сушкой", суть которой заключалась в остановке ленты СВЛ на время, необходимое для достижения требуемых показателей по влажности. При этом значительно падала производительность сушилки и увеличивались удельные энергозатраты на единицу массы высушиваемого материала.

Учитывая сложность системы воздухообмена в камерных сушилках [2], было проведено первичное обследование существующего технологического процесса. Схематическое изображение обследованной СВЛ и усредненные экспериментальные данные по влажности продукта в каждой камере сушилки приведены на рис. 1 и 2 соответственно.

По результатам анализа полученных данных было принято решение установить интенсивность подачи свежего воздуха и выброса отработанного сушильного агента в камерах пропорционально требуемому влагосъему (разнице между влажностями материала на входе и выходе из каждой камеры). Для этого была проведена регулировка свободного сечения шиберов и окон в каждой камере. При этом учитывалось то, что количество удаляемого воздуха пропорционально площади окна.

Дополнительно были опробованы экспериментальные циклические тепловые режимы функционирования СВЛ, состоящие из двух этапов:

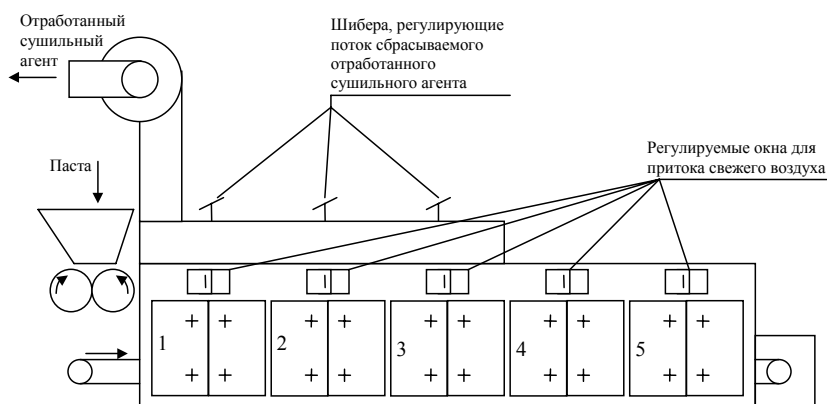


Рис. 1 Схематическое изображение СВЛ

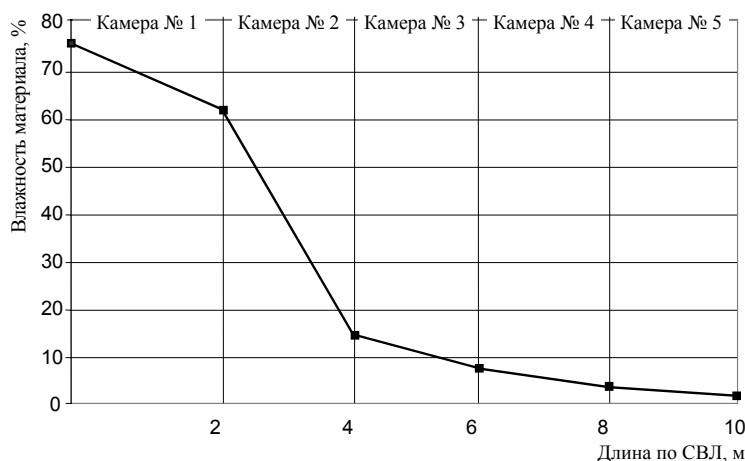


Рис. 2 Кинетика процесса сушки в СВЛ

– обеспечение прогрева материала до достижения "квазистационарного" режима по влажности воздуха в наиболее напряженной по влагосъему камере. При этом останавливается лента СВЛ, вытяжной вентилятор отключается при непрерывной работе рециркуляционных вентиляторов;

– переход на обычный рабочий технологический режим.

Для выявления наиболее напряженной по влагосъему камеры и определения времени прогрева материала были проведены опыты, при которых замерялись влажности материала на входе и выходе каждой из камер и определялся интервал времени, при котором в камере устанавливался "квазистационарный" режим, т.е. прекращалось изменение влажности воздуха над лентой. Основные результаты экспериментов приведены в табл. 1 и 2. Обработка данных производилась при помощи J -х диаграммы для влажного воздуха [3].

1 ВЛАЖНОСТЬ МАТЕРИАЛА ПО КАМЕРАМ СВЛ

№ каме- ры	Влажность материала, %		
	на входе в камеру	на выходе из ка- меры	Δ
1	70,71	50,31	20,4
2	50,31	3,11	47,2
3	3,11	0,58	2,53
4	0,58	0,45	0,13
5	0,45	0,40	0,05

2 Основные параметры сушильного агента (воздуха) в камере № 2

№	Время, с	Темпера- тура мок- рого термомет- ра, °С	Темпера- тура сухо- го термомет- ра, °С	Влагосодержание воздуха в камере № 2, кг/кг
1	0	37	84	0,0234
2	60	38	78	0,0286
3	120	38	71	0,0314
4	180	37	69	0,0293
5	240	36	68	0,02696
6	300	36	68	0,02696
7	360	35	68	0,0243
8	420	34	67	0,0222
9	480	34	67	0,0222
1 0	540	34	67	0,0222
1 1	600	34	67	0,0222
1 2	660	34	67	0,0222
1 3	720	34	68	0,021
1 4	780	34	68	0,021
1	840	34	68	0,021

По результатам анализа опытных данных был предложен режим, при котором сушилка 15 мин прогревается и 45 мин работает в обычном режиме. Время функционирования СВЛ в рабочем режиме было выбрано из соображения необходимости полной смены участка ленточного транспортера с продуктом в камерах между стадиями прогрева материала.

Была проведена промышленная апробация предложенного режима и достигнуты следующие показатели:

- производительность по продукту увеличилась на 80 %;
- энергозатраты (потребление пара) на единицу массы сухого продукта снизились на 42 %.

Опыт использования технологических режимов с прогревом материала может быть применен для повышения эффективности работы сушильного оборудования и в других областях промышленности, как временная альтернатива замене старого оборудования новым.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Фефелов П.А., Брянкин К.В., Чупрунов С.Ю., Орехов В.С. Интенсификация процесса сушки пасетообразных материалов на вальце-ленточной сушилке // VII научная конференция: пленарные доклады и тезисы стендовых докладов. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. тех. ун-та, 2002. Ч. 1. С. 148.

2 Лыков А.В. Теория сушки. 2-е изд. М.: Энергия, 1968. 471 с.

3 Павлов К.Ф., Романков П.Г. Примеры и задачи по курсу процессы и аппараты химической технологии. Л.: Химия, 1987. 634 с.

Кафедра "Химические технологии органических веществ"

УДК 637.358

**О.В. Зюзина, Н.М. Страшнов,
Л.В. Терехова, Г.М. Куликова**

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЛАГОПРОНИЦАЕМОСТИ ПОЛИМЕРНОЙ ПЛЕНКИ ДЛЯ КОЛБАСНОГО КОПЧЕНОГО ПЛАВЛЕНОГО СЫРА

При производстве колбасного копченого сыра актуальной задачей является обеспечение стабильного качества готового продукта и увеличение сроков его хранения, которые зависят от завершающих стадий – фасовки и копчения. Для фасования сыра используют оболочки из кутизина, пергамента, целлофана, полиэтилена или другого материала, раскроенные по размерам батона сыра. Из ряда характеристик материала оболочки, обуславливающих ее применение в производстве колбасного копченого сыра, необходимо выделить барьерные качества используемого полимера, как напрямую оказывающие влияние на организацию рационального проведения технологического процесса производства [1 – 3].

Поскольку одним из гостированных показателей качества плавленого сыра является его влажность, весьма актуальной является задача изучения влагопроницаемости используемых в производстве оболочек. Располагая точными данными по величине потери влаги в массе на технологических операциях фасования и копчения, можно своевременно вносить коррективы в технологические условия производства.

Объектом исследования являлись образцы колбасного копченого сыра, отличающиеся используемыми марками пленки (оболочки), изготовленные в России (балаковская) и германские (FV-30CC30, FV-30CC600). В образцах оценивалась потеря влаги массы на стадиях копчения и хранения. Потеря влаги напрямую зависит от выбранной марки пленки. Результаты исследования влагопроницаемости пленок разного типа, используемых для фасования сыра колбасного на ОАО "Орбита", представлены на рис. 1.

Параллельно проводили производственный эксперимент, где отбирались батоны сыра, замерялась их общая масса в горячем и охлажденном состоянии. Затем определяли потери веса колбасных батонов после

охлаждения, копчения, а также потери через одни сутки хранения и в течение пяти суток хранения. Результаты эксперимента приведены в табл. 1.

Проведенный анализ позволил сделать сравнение данных, полученных в лаборатории ТГТУ с данными, полученными на производстве. Количественные результаты сведены в табл. 2.

В результате экспериментальных исследований было установлено, что при копчении колбасного сыра величина потерь влаги зависит от типа упаковочного полимерного материала и лежит в пределах от 2,5 до 4,4 %. На основании полученных данных можно утверждать, что из всех представленных к рассмотрению видов пленок наименьшей влагопроницаемостью обладает пленка марки FV-30CCC30 (производство Германия), обеспечившая минимальный процент потери влаги.

Таким образом, с целью стабилизации качества выпускаемой продукции, гарантированно выдерживающей весь срок хранения, а также для минимизации производственных потерь, необходимо при расчете рецептуры сырной смеси учитывать величину потери влаги массы на завершающих технологических операциях.

Влага, г

Влага, г

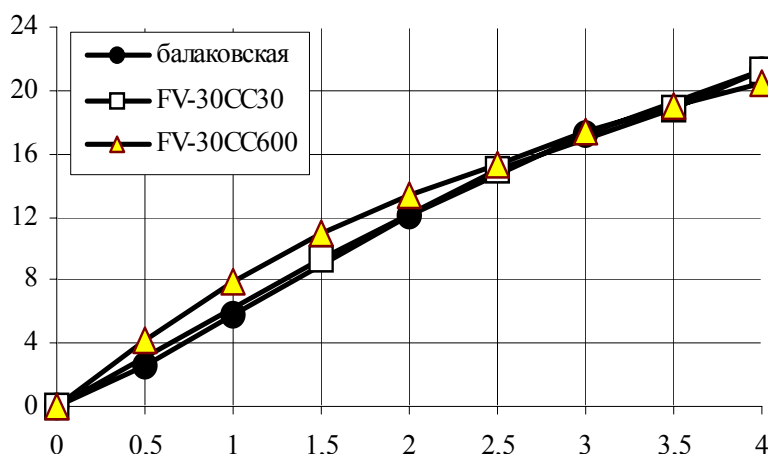


Рис. 1 Характер зависимости потерь влаги массы сыра от вида пленки на стадии копчения:

□ – балаковская; — — — — FV-20CCC30; —Δ— — FV-20CCC600

1 Производственные экспериментальные данные

Марка пленки	Вес фасованных, колбасных батонов, кг		Потеря веса колбасных батонов, кг			Вес 12 шт. колбасных батонов (в коробке), поступивших на склад, кг	Потери веса через 24 ч хранения на складе, кг/%	Ежесуточные потери, кг/%	Потери в течение 5 сут. хранения, кг/%
	в горячем состоянии	в охлажденном состоянии	при охлаждении	при копчении, t = 80 °C, τ = 4 ч	за технологический цикл				
FV-30CCC30	78,1 1	77,6 4	0,4 7	1,9 7	2,4 4	13,4 2	0,0 2	0,0 2	0,1 0
			0,6 3	2,5 3	3,1 2		0,1 5	0,1 5	0,4 5
FV-30CCC600	81,8 5	79,7 3	2,1 2	3,4 8	5,5 9	12,7 6	0,0 6	0,0 2	0,1 0
			2,5 8	4,3 6	6,8 3		0,4 7	0,1 5	0,7 8

Балаковская	95,18	92,91	2,27	3,42	5,69	14,67	–	0,02	0,18
			2,38	3,68	5,97		–	0,15	1,26

2 Сравнительная характеристика потерь массы сыра

Марки пленок	Потери массы сыра в лабораторных условиях в 100 г продукта за 4,0 ч, %	Потери массы сыра в производственных условиях в 100 г продукта за 4,0 ч, %
Балаковская	4,14	4,36
FV-30CCC30	3,81	2,53
FV-30CCC600	3,97	3,68

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Баркан С.М., Кулешова М.Ф. Плавленные сыры. М.: Пищевая промышленность, 1967. 283 с.
- 2 Кулешова М.Ф., Тиняков В.Г. Плавленные сыры. М.: Пищевая промышленность, 1977. 174 с.
- 3 Сыр плавленный колбасный "Тамбовский" ТУ 9225-001-05087980–95.

Кафедра "Технологическое оборудование и пищевые технологии"

УДК 577.4

К.И. Ступников, З.А. Михалева

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА КАЧЕСТВО ВОДНО-СПИРТОВЫХ РАСТВОРОВ

Электромагнитный аппарат с вихревым слоем может быть использован для магнитной обработки водных систем, для непрерывного проведения процессов восстановления, окисления, органического и неорганического синтеза, нейтрализации; в качестве реактора для процессов очистки сточных вод от соединений хрома, железа, никеля, других тяжелых металлов и цианосодержащих соединений.

Омагничивание водных систем приводит к ряду эффектов: значительно повышается качество алкогольных и безалкогольных изделий: происходит улучшение вкуса, появляется прозрачный блеск и особая мягкость.

Метод магнитной обработки воды не требует каких-либо химических реактивов и является экологически чистым.

При магнитной обработке водных систем происходит интенсивное разрушение центров кристаллизации на более мелкие структуры, увеличивается подвижность жидкости.

Механизм воздействия магнитного поля выглядит следующим образом: в движущейся жидкости происходит разрушение агрегатов, состоящих из субмикронных ферромагнитных микрочастиц соединений железа. В каждом агрегате содержится от нескольких сотен до нескольких тысяч микрочастиц,

поэтому разрушение агрегатов приводит к резкому (в 100 – 1000 раз) увеличению концентрации центров кристаллизации солей [1].

Причина биологической активности: воздействие на воду магнитного поля приводит к дроблению крупных ассоциатов на более мелкие вплоть до мономеров.

Оценка качества магнитной обработки воды может производиться кристаллооптическим способом, заключающимся в сравнении под микроскопом кристаллов, полученных на предметном стекле при кипячении необработанной и обработанной воды, а также другими методами оценки качества, предусмотренными нормативными документами, в том числе дегустацией, которая использовалась для бальной оценки качества продукции.

С целью исследования влияния электромагнитного поля на качество водно-спиртовых растворов было произведено омагничивание пяти разных жидкостей: водка на спирте этиловом ректифицированном "Люкс"; водка "Казначейская"; вода пермеат; спирт этиловый ректифицированный "Экстра"; сортировка, приготовленная из спирта этилового ректифицированного "Экстра" и пермеата.

Целью дегустации являлась органолептическая оценка образцов в зависимости от продолжительности их обработки в поле переменного магнита и сравнение с образцом, не прошедшим обработку.

Время воздействия составляло 1, 2, 4 и 6 с. Результаты экспериментов представлены на графиках (рис. 1 – 5).

В результате анализа экспериментальных данных установлено, что наибольшее воздействие электромагнитного поля наблюдается на композициях водки "Казначейской".

В остальных композициях воздействие электромагнитного поля не так ярко выражено, в связи с тем, что оценка качества магнитной обработки была проведена спустя длительный промежуток времени, в течении которого эффект омагничивания снизился.

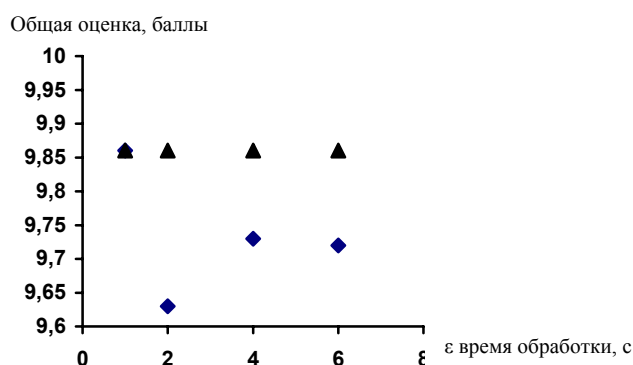


Рис. 1 Влияние электромагнитного поля на композицию водки на спирте этиловом ректифицированном "Люкс":

▲ – количество баллов композиции без электромагнитной обработки полем;
 ◆ – количество баллов композиции, обработанной электромагнитным полем

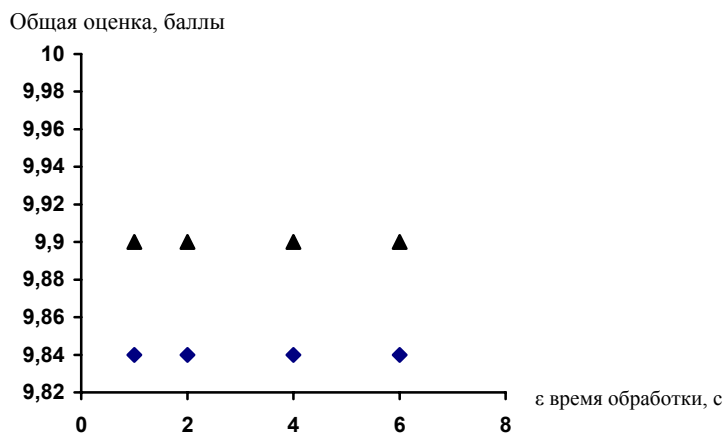


Рис. 2 Влияние электромагнитного поля на композицию водки "Казначейская":

▲ – количество баллов композиции без электромагнитной обработки полем;
 ◆ – количество баллов композиции, обработанной электромагнитным полем

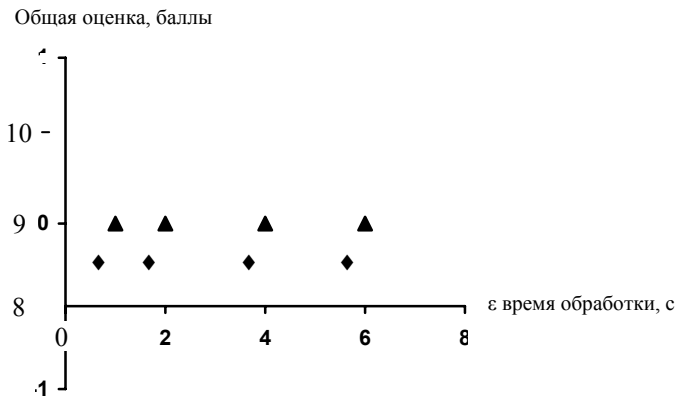


Рис. 3 Влияние электромагнитного поля на композицию вода пермеат:

- ◆ – количество баллов композиции без электромагнитной обработки полем;
- ▲ – количество баллов композиции, обработанной электромагнитным полем

Проведенные экспериментальные исследования показали целесообразность омагничивания водно-спиртовых растворов с целью повышения биологической активности и качества, а также для получения новых сортов продукции.

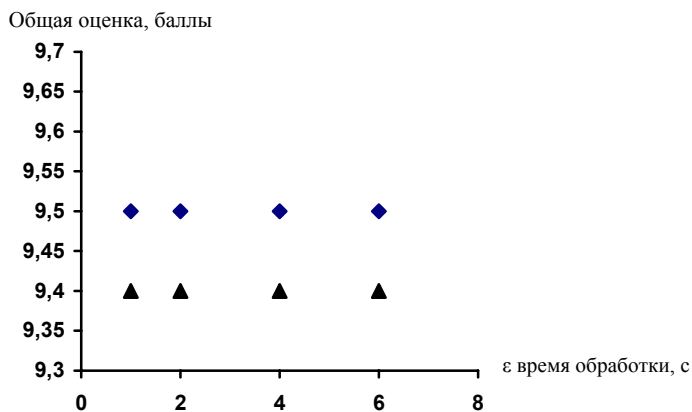


Рис. 4 Влияние электромагнитного поля на композицию спирта этилового ректифицированного "Экстра":

- ◆ – количество баллов композиции без электромагнитной обработки;
- ▲ – количество баллов композиции, обработанной электромагнитным полем

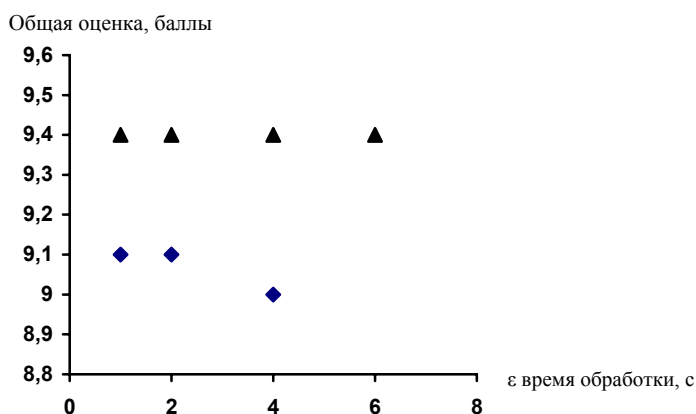


Рис. 5 Влияние электромагнитного поля на композицию спирта этилового ректифицированного "Экстра", пермеат:

- ◆ – количество баллов композиции без электромагнитной обработки;
- ▲ – количество баллов композиции, обработанной электромагнитным полем

С.И. Лазарев, С.А. Вязовов

КИНЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИОНООБМЕННОЙ МЕМБРАНЫ МК-40 ПРИ ОБРАТНООСМОТИЧЕСКОМ РАЗДЕЛЕНИИ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ БЕЛОФОРА

Для определения величины удельного потока растворителя через мембрану проводились эксперименты по обратноосмотическому разделению, при варьировании рабочего давления и электрического потенциала. Величину удельного потока растворителя через мембрану определяли с помощью экспериментальных данных, так как он зависит от большого числа различных факторов (гидродинамики в канале, взаимодействия растворителя и растворенного вещества, и т.п.) [1].

Исследования удельного потока через мембраны проводились на обратноосмотической установке, устройство и принцип работы которой подробно описаны в [2].

Основным элементом установки является рабочая ячейка, в которой непосредственно происходит процесс обратноосмотического разделения. Конструкция ячейки представлена на рис. 1. Ячейка представляет собой однокамерный разделительный модуль плоскорамного типа, образованный двумя частями I и II. В части I, представляющую собой фланец 2, расположены три штуцера для отвода пермеата. В части II расположены штуцеры ввода раствора 1 и вывода раствора 9, платинированный электрод 11, к которому подводится электрический ток с помощью вывода-контакта 10. Рабочий раствор подается в штуцер 1 ячейки и равномерно распределяется по разделительной камере. Данная камера, образована мембраной 3 и рабочей поверхностью части II. Часть раствора при этом, под действием избыточного давления и электрического поля, проникает через мембраны 3, затем через ватман 4, служащий прокладкой под мембраной, через пористую подложку 5, которая также является и электродом, через металлическую сетку 6, выполненную из нержавеющей стали, и являющуюся турбулизатором, и далее по каналам, сделанным в штуцерах, попадает в сборники пермеата (бюксы объемом 50 мл). Для уплотнения фланца 2 с частью II ячейки использовались прокладки 7 из паронита толщиной $0,3...2 \cdot 10^{-3}$

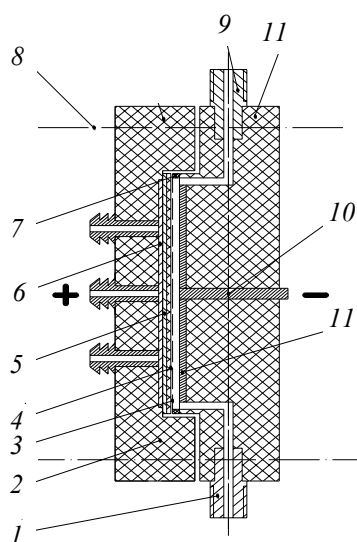


Рис. 1 Схема рабочей ячейки электро-баромембранного разделения

м. Ячейка стягивается шестью болтами 8. Размеры камер разделения ячейки в собранном виде составляют $0,06 \cdot 0,13 \cdot (0,0003...0,002)$ м. Рабочая площадь мембран в каждой камере разделения составляла $7,8 \cdot 10^{-3}$ м².

Определение величины удельного потока растворителя через катионообменную мембрану проводили при наложении градиента давления и электрического потенциала. Модельной системой являлась дистиллированная вода.

ПРИ РАБОТЕ ИСПОЛЬЗОВАЛИСЬ КАТИОНООБМЕННАЯ МЕМБРАНА МК-40. ПРЕДВАРИТЕЛЬНО МЕМБРАНА ПЕРЕВОДИЛАСЬ В Н-ФОРМУ (НАХОДИЛАСЬ 12 Ч В РАСТВОРЕ 0,1N HCL). ВРЕМЯ ОБЖАТИЯ МЕМБРАНЫ В ЯЧЕЙКЕ СОСТАВЛЯЛО 24 Ч. РАБОЧЕЕ ДАВЛЕНИЕ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ ВАРЬИРОВАЛИ ОТ 2,0 ДО 6,0 МПА. СКОРОСТЬ РАСТВОРА В МЕЖМЕМБРАННОМ КАНАЛЕ РАВНЯЛАСЬ 0,26 М/С. ПОСТОЯННОЕ НАПРЯЖЕНИЕ, ПОДВОДИМОЕ К ЭЛЕКТРОДАМ, 12 В. СИЛА ТОКА ОПРЕДЕЛЯЛАСЬ С ПОМОЩЬЮ АМПЕРМЕТРА.

По полученным значениям объема пермеата рассчитывается удельный поток растворителя по формуле

$$J = V/(F\tau), \quad (1)$$

где J – удельный поток растворителя, $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$; V – объем собранного пермеата, м^3 ; τ – время сбора пермеата, с ; F – поверхность мембран, м^2 . Рабочая площадь мембран в каждой камере разделения составляла $7,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ ПО (1), ПРЕДСТАВЛЕНЫ НА РИС. 2, 3.

КАК СЛЕДУЕТ ИЗ ГРАФИКОВ, С ПОВЫШЕНИЕМ ДАВЛЕНИЯ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРОИСХОДИТ УВЕЛИЧЕНИЕ ЗНАЧЕНИЯ УДЕЛЬНОГО ПОТОКА РАСТВОРИТЕЛЯ ЧЕРЕЗ МЕМБРАНЫ. ЭТО ОБЪЯСНЯЕТСЯ ТЕМ, ЧТО ПРИ ПОВЫШЕНИИ ДАВЛЕНИЯ УВЕЛИЧИВАЕТСЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ В СООТВЕТСТВИИ С УРАВНЕНИЕМ

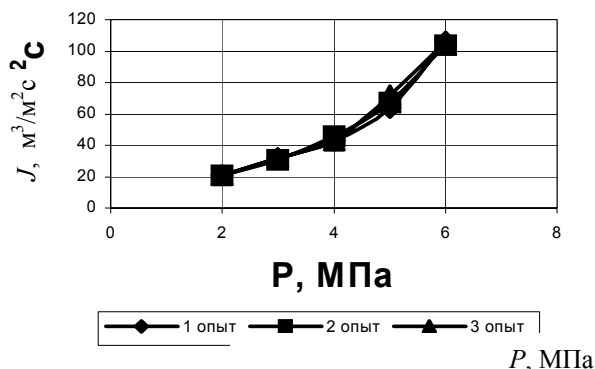


РИС. 2 ЗАВИСИМОСТЬ УДЕЛЬНОГО ПОТОКА РАСТВОРИТЕЛЯ КАТИОНООБМЕННОЙ МЕМБРАНЫ МК-40 ОТ ДАВЛЕНИЯ БЕЗ НАЛОЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

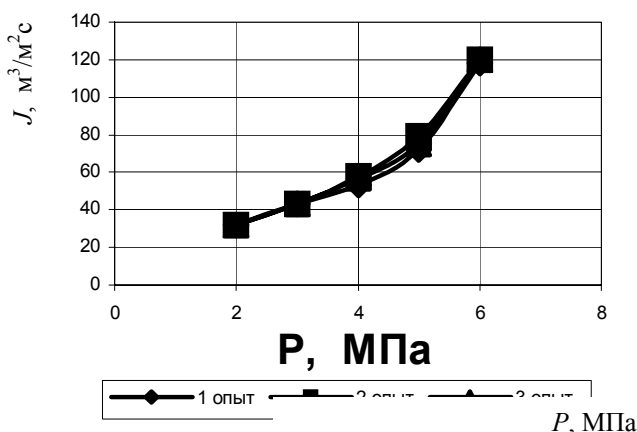


РИС.3 ЗАВИСИМОСТЬ УДЕЛЬНОГО ПОТОКА РАСТВОРИТЕЛЯ КАТИОНООБМЕННОЙ МЕМБРАНЫ МК-40 ОТ ДАВЛЕНИЯ ПРИ НАЛОЖЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

$$\mu_i = \mu_i^0 + v_i P + RT \ln a_i, \quad (2)$$

где μ_i – стандартный химический потенциал; $a_i = \gamma_i c_i$ активность иона в мембране; γ_i – коэффициент активности; v_i – парциальный мольный объем растворенного вещества в мембране; P – внешнее давление; T – температура; R – универсальная газовая постоянная.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Хванг С.-Т., Каммермейер К. Мембранные процессы разделения / Пер. с англ.; Под ред. проф. Ю.И. Дытнерского. М.: Химия, 1981. 464 с.

2 Лазарев С.И., Коробов В.Б., Клиот М.Б. и др. / Очистка сточных вод производства сульфенамида Ц-обратным осмосом // Известия вузов. Химия и химическая технология. 1993. № 6. С. 79 – 80.

Кафедра "Прикладная геометрия и компьютерная графика"

УДК 519.85.667.287.5

М.М. Кисляков, В.Ю. Харченко, Е.Ю. Харченко

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ СЫРЬЯ

В ПРОИЗВОДСТВЕ ФТАЛОЦИАНИНА МЕДИ

Фталоцианин меди (ФЦМ) – одно из наиболее востребованных соединений в химической и лакокрасочной промышленности. Он является красящим пигментом – основой для производства красок [1].

Так как синтез ФЦМ является достаточно энергоемким процессом и исходные компоненты довольно дорогостоящи, то возникают задачи снижения себестоимости готового продукта и повышения его качества за счет оптимизации динамических режимов. Эти задачи целесообразно решать на основе математического моделирования и имитационных исследований.

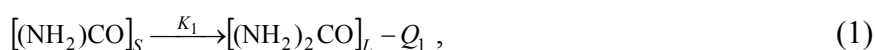
Таким образом, необходимо получить математическое описание данного процесса с целью дальнейшего проведения имитационного исследования и решения задач оптимального управления.

Синтез фталоцианина протекает в реакторе с рубашкой и мешалкой [2]. Так как перемешивание в реакторе проводится с высокой интенсивностью, то в качестве гидродинамической модели реактора правомерно использование модели идеального смешения. На основании проведенного литературного обзора по данной теме, при моделировании использовалась следующая система допущений [1, 3, 4]:

- потери тепла в окружающую среду незначительны, вследствие конструктивных особенностей реактора;
- частицы сыпучих материалов в твердой фазе имеют сферическую форму [2, 6];
- тепловая инерция стенок реактора незначительна, так как материал стенок имеет достаточно высокий коэффициент теплопроводности.

РАССМОТРИМ СТАДИЮ ПОДГОТОВКИ ИСХОДНЫХ КОМПОНЕНТОВ.

В реактор из промежуточной емкости поступает плав трихлорбензола (ТХБ), который имеет температуру T_n . После этого в реактор загружают мочевины М, которая под воздействием температуры начинает плавиться и разлагаться [2]. Это необходимо для обогащения смеси азотосодержащими компонентами, что играет немаловажную роль для синтеза ФЦМ. При температуре $T < 150$ °С происходит разложение только до биурета, при $T < 220$ °С происходит разложение до триурета, при $T > 220$ °С мочевины разлагается полностью [3]. Плавление мочевины происходит по схеме [1]



где $[\dots]_s$ – твердая фаза; $[\dots]_L$ – жидкая фаза; Q_1 – тепловой эффект реакции.

Плавление удовлетворительно описывается уравнением вида [1]

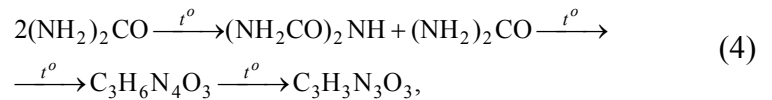
$$\frac{d\bar{R}}{d\tau} = A\bar{R}^\alpha \exp(-E/RT)(C^* - C)/\rho_S; \quad (2)$$

с начальными условиями

$$\bar{R}(0) = \bar{R}_0, \quad (3)$$

где \bar{R} – средний радиус частиц, м; E – энергия активации, кДж/кмоль; ρ_S – плотность твердой фазы, кг/м³; C^* – равновесная концентрация, кмоль/м³; C – текущая концентрация, кмоль/м³; A , α – коэффициенты, подлежащие идентификации.

Кинетика разложения мочевины под действием температуры описывается стехиометрическим уравнением вида [3]:



покомпонентный баланс для уравнения (4) будет иметь вид:

$$\begin{cases} \frac{dC_1}{d\tau} = -K_2 C_1^2; \\ \frac{dC_2}{d\tau} = K_2 C_1^2 - K_3 C_2; \\ \frac{dC_3}{d\tau} = K_3 C_2 - K_4 C_3; \\ \frac{dC_4}{d\tau} = K_4 C_3. \end{cases} \quad (5)$$

С начальными условиями:

$$C_1(0) = C_1^0, C_2(0) = C_3(0) = C_4(0) = 0, \quad (6)$$

$$\text{где } K_i = K_{oi} \exp(-E_i/RT) - \quad (7)$$

температурная зависимость в форме Аррениуса; K_i – константа скорости реакции, кмоль/м³ · с; K_{oi} – предэкспоненциальный множитель; подстрочный индекс i соответствует мочеvine, 2 – биурету, 3 – триурету, 4 – циануровой кислоте; $i = 1...4$.

Тепловой баланс для данной системы будет иметь вид

$$c_p^{\text{см}} V^{\text{см}} \frac{dT}{d\tau} = Q_i^l + kF(T_{\text{ст}} - T). \quad (8)$$

С начальными условиями

$$T(0) = T_H \quad (9)$$

где $V^{\text{см}}$ – объем реакционной массы, м³; $c_p^{\text{см}}$ – теплоемкость смеси, кДж/кмоль; k – коэффициент теплопередачи от стенки к смеси, кДж/(м² · град); F – площадь поверхности теплообмена, м².

В математическую модель входят неизвестные коэффициенты, подлежащие идентификации. При решении задачи идентификации были получены следующие результаты: $A = 1,365 \cdot 10^{-2}$, $\alpha = 3,548 \cdot 10^{-4}$.

ПО ИЗВЕСТНОЙ МЕТОДИКЕ [4], БЫЛА ПРОВЕДЕНА ПРОВЕРКА АДЕКВАТНОСТИ МОДЕЛИ. МАКСИМАЛЬНАЯ ПРИВЕДЕННАЯ ПОГРЕШНОСТЬ МОДЕЛИ СОСТАВИЛА 6,213

%. НА РИС. 1 ПРЕДСТАВЛЕНА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ ММ.

Таким образом, система (1) – (9) составляет математическую модель процесса подготовки сырья для производства фталоцианина меди, учитывающую теплофизические свойства и кинетику разложения мочевины. Модель предназначена для проведения имитационных исследований и решения задач оптимизации динамических режимов.

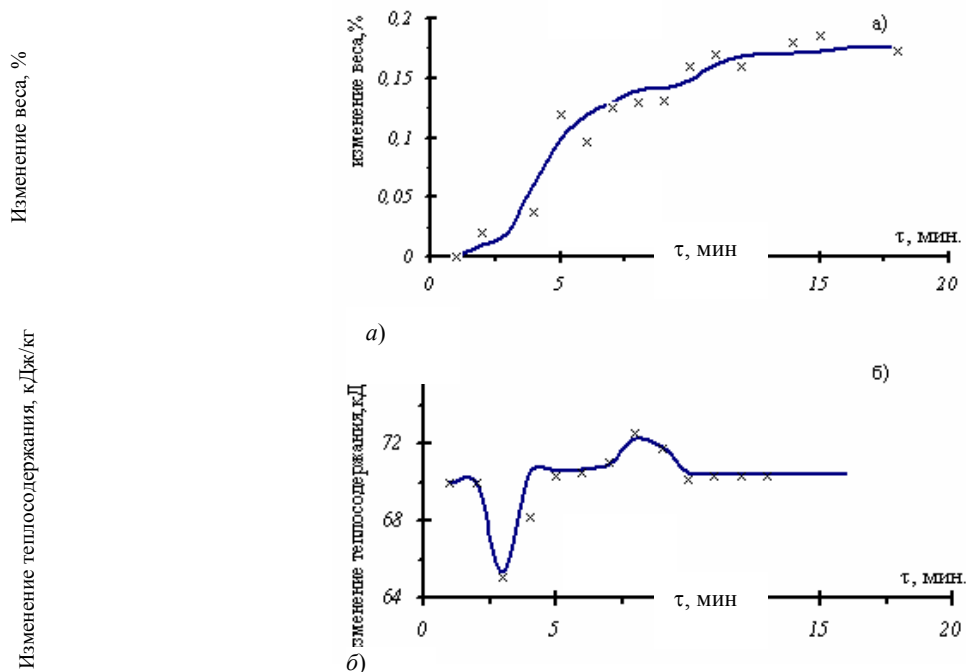


Рис. 1 Результаты уравнений ММ:

а – изменение веса мочевины по времени; *б* – скорость изменения теплосодержания; сплошные линии – кривые, рассчитанные по модели; точки – экспериментальные данные

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Технологический регламент производства фталоцианина меди низкопроцентного. 1983.
- 2 Абубакер О.С. Математическое моделирование и оптимизация процесса получения фталоцианина голубого β-модификации. Дис. ... канд. техн. наук. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2002.
- 3 Общая химия / Под ред. Н.А. Глинки. М.: Химия, 1982.
- 4 Кафаров В.В. Глебов А.С. Методы оптимизации в химтехнологии. М.: Химия, 1981.
- 5 Карнишев В.В. "Математическое моделирование процессов в трубчатых реакторах (на примере фталоцианина меди β-модификации)" Дис. ... канд. техн. наук. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2001.

Кафедра "Информационные процессы и управление"

УДК 636.087.24

*Н.А. БЕРЕЗКИНА, О.А. ПЛОТНИКОВА,
О.В. СОЛОПОВА, Н.А. ФИЛИПОВА**

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЕРМИКУЛЬТУРЫ
КАК БИОЛОГИЧЕСКОГО АГЕНТА
ПРИ УТИЛИЗАЦИИ МЕЛАССНОЙ БАРДЫ

В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ ПЕРСПЕКТИВНЫМ СПОСОБОМ УТИЛИЗАЦИИ И ПЕРЕРАБОТКИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ОРГАНОГЕННЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ЯВЛЯЕТСЯ

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доц. О.В. Зюзиной, канд. техн. наук, доц. О.О. Иванова.

ВЕРМИКУЛЬТИВИРОВАНИЕ, Т.Е. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕЦИАЛЬНО ПОДГОТОВЛЕННЫХ ПОПУЛЯЦИЙ ДОЖДЕВЫХ ЧЕРВЕЙ В КАЧЕСТВЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ АГЕНТОВ [1].

ДЛЯ ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ АКТУАЛЬНЫМ ВОПРОСОМ ЯВЛЯЕТСЯ УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ СПИРТОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, В ЧАСТНОСТИ, МЕЛАССНОЙ ПОСЛЕСПИРТОВОЙ БАРДЫ. ТРАДИЦИОННЫЕ МЕТОДЫ УТИЛИЗАЦИИ (ОСНОВАННЫЕ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ, ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ, ТЕПЛОМАССОБМЕННЫХ ПРОЦЕССАХ) ОБЛАДАЮТ РЯДОМ СУЩЕСТВЕННЫХ НЕДОСТАТКОВ, ЧТО НЕ ПОЗВОЛЯЕТ ИСПОЛЬЗОВАТЬ ИХ В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.

НАМИ ПРЕДЛАГАЕТСЯ ИСПОЛЬЗОВАТЬ ВЕРМИКУЛЬТУРЫ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ПОСЛЕСПИРТОВОЙ МЕЛАССНОЙ БАРДЫ И ПОЛУЧЕНИЕ НА ЕЕ ОСНОВЕ ЭКОНОМИЧЕСКИ ЗНАЧИМОЙ ДЛЯ РЕГИОНА ПРОДУКЦИИ (БИОГУМУС, ЖИДКИЕ ГУМАТЫ И Т.П.).

В НАСТОЯЩЕЙ РАБОТЕ БЫЛИ ПРОВЕДЕНЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРА НАКОПЛЕНИЯ ГУМУСА В СУБСТРАТЕ, СОСТОЯЩЕМ ИЗ НАВОЗА КРУПНОРОГАТОГО СКОТА (КРС) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕРМИКУЛЬТУРЫ ЧЕРВЕЙ EISENIA FOETIDA (ВЛАДИМИРСКИЙ ГИБРИД "СТАРАТЕЛЬ") В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ ВНОСИМОЙ В СУБСТРАТ БАРДЫ.

В КАЧЕСТВЕ ТВЕРДОГО СУБСТРАТА ИСПОЛЬЗОВАЛИ НАВОЗ КРС, ПОСЛЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ БИОДЕГРАДАЦИИ – СРЕДНЕ- И СИЛЬНО РАЗЛОЖИВШИЙСЯ. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЭТИХ ВИДОВ НАВОЗА ПРЕДСТАВЛЕН В ТАБЛ. 1.

ВНОСИМАЯ БАРДА ПРЕДСТАВЛЯЕТ СОБОЙ СУСПЕНЗИЮ, СОДЕРЖАЩУЮ 7...10 % СВ, ИМЕЮЩУЮ PH 5,0...5,2 С ХИМИЧЕСКИМ СОСТАВОМ, ПРЕДСТАВЛЕННЫМ В ТАБЛ. 2.

КУЛЬТИВИРОВАНИЕ ЧЕРВЕЙ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ ПО ОДНОЗОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ, КОТОРАЯ ПРЕДУСМАТРИВАЕТ ПРОВЕДЕНИЕ ВСЕХ ПРОЦЕССОВ В ОДНОЙ КАМЕРЕ ВЫРАЩИВАНИЯ. СУБСТРАТ ВНОСИЛИ В КОНТЕЙНЕРЫ НА СТАЦИОНАРНЫЕ МНОГОЯРУСНЫЕ СТЕЛЛАЖИ. В КОНТЕЙНЕРАХ ПОДДЕРЖИВАЛАСЬ ВЛАЖНОСТЬ НА УРОВНЕ 70...73 % СВ, БЛАГОПРИЯТНАЯ ДЛЯ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕРВЕЙ [4]. УВЛАЖНЕНИЕ ПРОИЗВОДИЛОСЬ БАРДОСОДЕРЖАЩЕЙ ЖИДКОСТЬЮ С РАЗНОЙ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ БАРДЫ – 50, 75, 100 %. В КОНТРОЛЬНОЙ ГРЯДКЕ ВЛАЖНОСТЬ РЕГУЛИРОВАЛИ ВОДОЙ.

1 ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ НАВОЗА КРС [2].

Вид навоза	Содержание питательных веществ, % на сырую массу				pH
	неорганические			органические	
	азотсодержащие, % N	фосфоросодержащие, % P ₂ O ₅	калийсодержащие, % K ₂ O		
средне-разложившийся	0,5...0,6	0,25...0,30	0,55...0,6	40...50	5,0...5,5
сильно разложившийся	0,65...0,7	0,30...0,40	0,55...0,7	50...60	5,5...6,5

2 ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОСЛЕСПИРТОВОЙ МЕЛАССНОЙ БАРДЫ [3]

ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ	КОЛИЧЕСТВО, %	НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА	КОЛИЧЕСТВО, %
-------------------------	---------------	-------------------------	---------------

	МАС. СВ		МАС. СВ
ГЛИЦЕРИН	6...12	КАЛИЙ	8,5...1 3
ТРИМЕТИЛГ- ЛИЦИН (БЕ- ТАИН)	16...2 6	НАТРИЙ	1,3...2, 5
АМИНОКИС- ЛОТЫ, В ТОМ ЧИСЛЕ ГЛУ- ТАМИНОВАЯ КИСЛОТА	15...2 5	КАЛЬЦИЙ	0,5...2, 5
ОРГАНИЧЕ- СКИЕ КИСЛО- ТЫ	3...10	ИОНЫ SO ₄ ²⁻	0,6...4, 6
РЕДУЦИРУЮ- ЩИЕ ВЕЩЕСТВА	4...6	ИОНЫ Cl ⁻	0,9...3
КОЛЛОИДЫ	13...1 5	ВСЕГО:	13...18
ВСЕГО:	80...8 7	МИКРО- ЭЛЕМЕН- ТЫ (FE, CO, MG, CU И ДР.)	0,12... 0,14

В РАСТИЛЬНОЙ КАМЕРЕ ПОДДЕРЖИВАЛАСЬ ТЕМПЕРАТУРА $T = 19$ °С. В ПОДГОТОВЛЕННЫЕ ГРЯДКИ В РАВНОМ КОЛИЧЕСТВЕ ВНЕСЛИ ОСОБИ ЧЕРВЕЙ. В ТЕЧЕНИЕ ЧЕТЫРЕХ МЕСЯЦЕВ ПОДДЕРЖИВАЛИСЬ ОПТИМАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ ВЕРМИКУЛЬТИВИРОВАНИЯ.

ПО ЗАВЕРШЕНИЮ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ СУБСТРАТ ОСВОБОЖДАЛСЯ ОТ ЧЕРВЕЙ. ПРЕДПОЛОЖИВ, ЧТО ПЕРЕРАБОТАННЫЙ НАВОЗ ПО СВОЕМУ СОСТАВУ ПРИБЛИЖЕН К ПЕРЕГНОЮ, СОДЕРЖАНИЕ ГУМУСА ОПРЕДЕЛЯЛИ ПО МЕТОДУ ТЮРИНА (В МОДИФИКАЦИИ ЦИНАО SOILS). ЭТОТ МЕТОД ОСНОВАН НА ОКИСЛЕНИИ

3 СОДЕРЖАНИЕ ГУМУСА В РАЗНЫХ ОБРАЗЦАХ СУБСТРАТА

№ П / П	КОН- ЦЕНТРА ЦИЯ БАРДЫ, %	D, ОП- ТИЧЕ- СКАЯ ПЛОТ- НОСТЬ	X, МАС- СОВАЯ ДОЛЯ ГУМУ- СА, %	ΔX, ИЗ- МЕНЕ- НИЕ СО- ДЕРЖА НИЯ ГУМУ-
1	ИС- ХОДНА	—	6,2	СА % 0
2	8	0,434	9,25	49,2
3	50	0,426	8,92	43,9
4	75	0,509	12,38	99,7
5	100	0,469	10,66	72

ГУМУСА ПОЧВЫ РАСТВОРИТЕЛЕМ ДВУХРОМОВОКИСЛОГО КАЛИЯ В СЕРНОЙ КИСЛОТЕ С ПОСЛЕДУЮЩИМ ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ТРЕХВАЛЕНТНОГО ХРОМА, ЭКВИВАЛЕНТНОГО СОДЕРЖАНИЮ ГУМУСА, НА ФОТОЭЛЕКТРОКАЛОРИМЕТРЕ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СОДЕРЖАНИЯ ГУМУСА В ИСХОДНОМ СУБСТРАТЕ И ПОЛУЧАЕМЫХ СУБСТРАТАХ ПРЕДСТАВЛЕНЫ В ТАБЛ. 3.

ОТМЕЧЕНО, ЧТО В КОНТРОЛЬНОЙ ПРОБЕ ПОСЛЕ ВЕРМИКУЛЬТИВИРОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЕ ГУМУСА УВЕЛИЧИЛОСЬ НА 49,2 % ПО СРАВНЕНИЮ С ИСХОДНОЙ. МАКСИМАЛЬНОЕ ЖЕ СОДЕРЖАНИЕ ГУМУСА СООТВЕТСТВУЕТ КОНЦЕНТРАЦИИ БАРДЫ, РАВНОЙ 75 %. В ЭТОМ СЛУЧАЕ ЧЕРВИ ПОЛУЧАЮТ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ПИТАНИЕ ПО СРАВНЕНИЮ С ВОДОЙ, НО НЕ ПРОИСХОДИТ ЗАКИСЛЕНИЯ ГРУНТА, КОТОРОЕ НАБЛЮДАЕТСЯ В ПРОБЕ СО 100 % БАРДОЙ. ОПТИМАЛЬНОЙ ДЛЯ ИХ РАЗВИТИЯ ЯВЛЯЕТСЯ КИСЛОТНОСТЬ ПОЧВ $pH = 6,5...7$, КОТОРОЕ СООТВЕТСТВУЕТ СООТНОШЕНИЮ БАРДА: ВОДА 3:1.

ТАКИМ ОБРАЗОМ, ПРИМЕНЕНИЕ ВЕРМИКУЛЬТИВИРОВАНИЯ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА И УТИЛИЗАЦИИ СПИРТОДРОЖЖЕВЫХ ОТХОДОВ ПОЗВОЛЯЕТ СНИЗИТЬ СРОКИ БИОДЕГРАДАЦИИ НАВОЗА ПРИБЛИЗИТЕЛЬНО В 2,5 РАЗА, ЧТО, В СВОЮ ОЧЕРЕДЬ, ПОЗВОЛЯЕТ СОКРАТИТЬ ПЛОЩАДИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕРЕГНОЯ.

Список литературы

- 1 Дождевые черви и плодородие почв: Материалы II Междунар. конф. Владимир: Корпорации "Грин-Пикъ", 2004. 295 с.
- 2 Ковалев Ю.Н. Технология и механизация животноводства, "Академия", 2000. 416 с.
- 3 Забродский А.Г. Производство кормовых дрожжей на меласно-спиртовых заводах. М.: Легкая промышленность, 1972. 367 с.
- 4 Атлавините О. Влияние дождевых червей на агроцинозы. Вильнюс: Мокслас, 1990. 179 с.

Кафедра "Технологическое оборудование и пищевые технологии"

УДК 66.047

Д.В. Козлов, А.Н. Пахомов, А.Н. Колиух

К РАСЧЕТУ КИНЕТИКИ ИСПАРЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ

При испарении растворителей основными характеристиками являются [1, 2]: термодинамическая температура адиабатического насыщения $T_{ад}$; температура мокрого термометра $T_{мт}$; коэффициенты тепло- и массоотдачи $\alpha_{исп}$ и $\beta_{исп}$; интенсивность испарения $m_{исп}$.

Термодинамическая температура адиабатического насыщения $T_{ад}$ находится из условий равновесного процесса теплоподвода к жидкости и расхода этого тепла на испарение [3]

$$T_{ад} = T_c - \frac{r_{ад}(x_{ад} - x_c)}{c_r + c_ж x_c}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (1)$$

где $x_{ад}$, x_c – влагосодержание растворителя в объеме среды при T_c и у поверхности растворителя при температуре насыщения $T_{ад}$

$$x = \frac{M_ж}{M_r} \cdot \frac{P_{нас}(T)}{P - P_{нас}(T)}, \text{ кг р-ля/кг сух. среды.} \quad (2)$$

Давление насыщенного пара $P_{\text{нас}}$ аппроксимируется в зависимости от температуры T по уравнению Антуана [4]

$$P_{\text{нас}} = \exp\left(a_n - \frac{b_n}{T + c_n}\right), \quad (3)$$

a_n, b_n, c_n – коэффициенты аппроксимации, полученные для каждого исследуемого растворителя.

Температура мокрого термометра T_{MT} (первая температурная площадка) находится совместно с $\alpha_{\text{исп}}$ и $\beta_{\text{исп}}$ итерациями из баланса тепла для площадки

$$q_{\text{исп}} = \alpha_{\text{исп}} (T_c - T_{\text{MT}}) = r m_{\text{исп}} = r \beta_{\text{исп}} (C_{\text{нас}}(T_{\text{MT}}) - C_c), \text{ Вт}, \quad (4)$$

где $C_{\text{нас}}, C_c$ – аналогичные $x_{\text{нас}}, x_c$, но объемные концентрации, кг р-ля/м³ среды, пересчитываемые по уравнению Дальтона.

Коэффициенты тепло- и массоотдачи при испарении предварительно определяются по ранее полученным критериальным уравнениям [3]

$$\begin{cases} \text{Nu}_\beta = 0,77 \text{Re}^{0,4} \text{Sc}^{0,333} K_{\text{КП}}^{1,333}; \\ \text{Nu}_\alpha = 1,06 \text{Re}^{0,375} \text{Pr}^{0,333} K_{\text{КП}}^{0,5}. \end{cases} \quad (5)$$

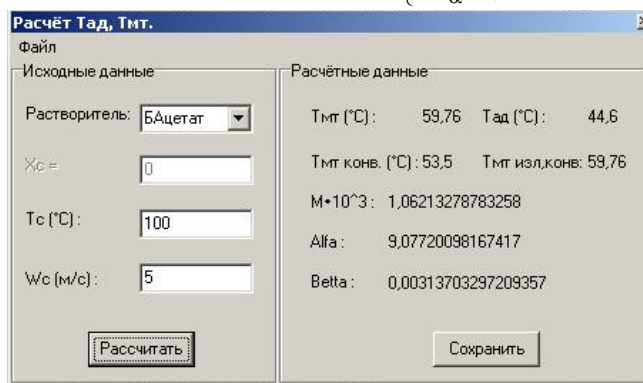


Рис. 1 Интерфейс программы

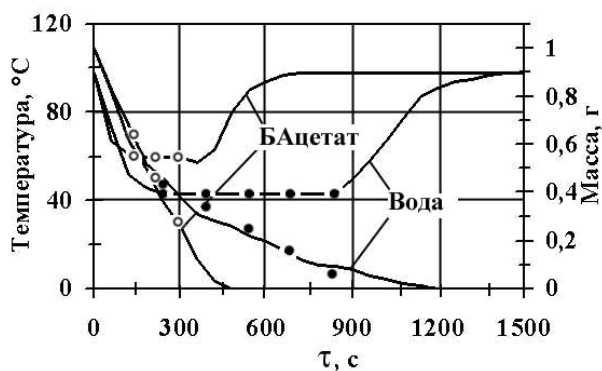


Рис. 2 Сравнение расчетных и экспериментальных данных при испарении растворителей

Необходимые для расчетов переносные теплофизические характеристики растворителей сведены в базу данных, представляющую самостоятельное значение.

На рис. 1 показан интерфейс программы расчета основных характеристик процесса испарения растворителей.

Экспериментальные исследования с определением в качестве базовых характеристик интенсивности испарения m и температуры площадки в области T_{MT} проводятся на специально разработанной психро-эвапорометрической установке [5, 6]. При обработке экспериментальных данных величина $m_{\text{исп}}$ находилась графически по наклону весовых кривых $g(\tau)$, величина T_{MT} – по температуре площадки на кривых $T(\tau)$.

НА РИС. 2 ПРИВЕДЕН ПРИМЕР СРАВНЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ.

Задачей дальнейших исследований является расширение диапазона органических растворителей и поиск наилучших универсальных корреляций, если уравнения (5) будут для некоторых жидкостей или условий приводить к возрастанию погрешностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Дринберг С.А., Ицко Э.Ф. Растворители для лакокрасочных материалов. Л.: Химия, 1986. 208 с.
- 2 Archer W.E. Industrial Solvents Handbook. New York: Dekker, 1996. 328 p.
- 3 **КОНОВАЛОВ В.И. К РАСЧЕТУ ВНЕШНЕГО ТЕПЛО- И МАССООБМЕНА ПРИ СУШКЕ И НАГРЕВЕ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ // ВЕСТНИК ТАМБОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА, 1997. Т. 3. № 1 – 2. С. 47 – 60.**
- 4 Рид Р., Праусниц Дж., Шервуд Т.К. Свойства газов и жидкостей. Л.: Химия, 1982. 592 с.
- 5 Коновалов В.И., Гатапова Н.Ц., Козлов Д.А. и др. Устройство для измерения скорости испарения и температуры испарения растворителей ("психро-эвапорометр") // Решение ФИПС РФ о выдаче патента на изобретение от 21.12.2004 по заявке № 20031125681 от 20.08.2003.
- 6 **ГАТАПОВА Н.Ц., КОЗЛОВ Д.В., КОЛИУХ А.Н. И ДР. УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ПСИХРО-ЭВАПОРОМЕТР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КИНЕТИКИ ПРОЦЕССОВ СУШКИ И ИСПАРЕНИЯ РАСТВОРИТЕЛЕЙ // ТРУДЫ ТГТУ. ТАМБОВ: ИЗД-ВО ТАМБ. ГОС. ТЕХН. УН-ТА, 2004. ВЫП. 15. С. 53 – 57.**

КАФЕДРА "ХИМИЧЕСКАЯ ИНЖЕНЕРИЯ"
АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УДК 539.219.3:001.891.573

С.Г. Толстых, С.В. Пономарев

ПОИСК ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ДИФФУЗИИ ВЛАГИ В КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ И КОЛЛОИДНЫХ МАТЕРИАЛАХ

В работах [1-2] сформулированы основные результаты разработки метода измерения коэффициента диффузии влаги в капиллярно-пористых и коллоидных материалах (КПКМ):

- двухэтапная физическая модель эксперимента, в соответствии с которой три образца прямоугольной формы выдерживаются в эксикаторах для достижения равномерного распределения влаги по их объему (№ 1 – увлажняется, № 2 и № 3 – сушатся, в образце № 2 на расстоянии x от поверхности контакта образцов заранее монтируется гальванопара Zn–Cu, имеющая монотонную зависимость гальвано-ЭДС от влагосодержания); на первом этапе эксперимента приводятся в плотное соприкосновение образцы № 1 и № 2, влагосодержание в последнем возрастает; на втором этапе образец № 1 заменяется на образец № 3, влагосодержание в образце № 2 продолжает некоторое время возрастать, а затем падает;

- математическая модель процесса влагопереноса в образцах из исследуемого материала, основанная на линейном уравнении диффузии и используемая для нахождения коэффициента диффузии a_m по времени $\tau_{2\max}$ наступления максимального влагосодержания U_2 в образце № 2 на втором этапе эксперимента;

- оценка относительной погрешности δa_m измерения коэффициента диффузии влаги по предлагаемому методу.

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ δa_m ЯВЛЯЕТСЯ ФУНКЦИЕЙ КОНСТРУКТИВНОГО И РЕЖИМНОГО ПАРАМЕТРОВ: x И τ_{1k} . РАСЧЕТЫ НА ЭВМ ПОКАЗАЛИ,

ЧТО ПРИ МОНОТОННОМ УВЕЛИЧЕНИИ ПАРАМЕТРОВ x И τ_{1k} ПРОИСХОДИТ АСИМПТОТИЧЕСКОЕ УМЕНЬШЕНИЕ $\delta a_m \rightarrow 0$, ПОЭТОМУ ДЛЯ ОБОСНОВАННОГО ВЫБОРА КОНКРЕТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ИСКОМЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭКСПЕРИМЕНТА НЕОБХОДИМО НАЙТИ СНАЧАЛА ОБЛАСТЬ ИХ ВОЗМОЖНОГО ИЗМЕНЕНИЯ, А ЗАТЕМ ВЫБРАТЬ ТОЧКУ С МАКСИМАЛЬНЫМИ x И τ_{1k} НА ГРАНИЦЕ ЭТОЙ ОБЛАСТИ. БЫЛИ ПРЕДЛОЖЕНЫ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ КРИТЕРИИ ОПТИМИЗАЦИИ, ПО СОВОКУПНОСТИ КОТОРЫХ ПРОИЗВОДИТСЯ РЕШЕНИЕ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ЗАДАЧИ. В РЕЗУЛЬТАТЕ ОБРАЗУЕТСЯ ОБЛАСТЬ КОМПРОМИССНЫХ (ПАРЕТО-ОПТИМАЛЬНЫХ) РЕШЕНИЙ. ИМЕННО В ЭТОЙ ОБЛАСТИ И ПРОИЗВОДИТСЯ ОКОНЧАТЕЛЬНЫЙ ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМНЫХ И КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО МИНИМУМУ δa_m .

Первый вспомогательный критерий – среднеквадратичное отклонение коэффициента диффузии. Полагаем, что коэффициент диффузии нам известен и требуется найти такие параметры эксперимента, которые обеспечивают максимальную воспроизводимость измерений. Производится компьютерная имитация однотипных экспериментов с наложением случайных помех на параметры эксперимента.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ПО СРЕДНЕКВАДРАТИЧНОМУ ОТКЛОНЕНИЮ ИМЕЕТ ВИД

$$\sigma a_m = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \left(\tilde{a}_m^{(i)} - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \tilde{a}_m^{(j)} \right)^2} \xrightarrow{\tau_{1k}, x} \min, \quad (1)$$

ГДЕ $\tilde{a}_m^{(i)} = F(\tilde{\tau}_{2\max}^{(i)}, \tilde{\tau}_{1k}^{(i)}, \tilde{x}^{(i)})$ – КОЭФФИЦИЕНТ ДИФФУЗИИ, ВЫЧИСЛЯЕМЫЙ АЛГОРИТМИЧЕСКИ [1]; $\tilde{\tau}_{1k}^{(i)} = \tau_{1k} + \zeta^{(i)}(\tau_{1k}, \Delta\tau_{1k})$ И $\tilde{x}^{(i)} = x + \zeta^{(i)}(x, \Delta x)$ – СООТВЕТСТВЕННО, ЗНАЧЕНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ τ_{1k} И x СО СЛУЧАЙНЫМИ ПОМЕХАМИ; $\zeta(\mu, \sigma)$ – ГЕНЕРАТОР НОРМАЛЬНО-РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ С МАТЕМАТИЧЕСКИМ ОЖИДАНИЕМ μ И СРЕДНЕКВАДРАТИЧНЫМ ОТКЛОНЕНИЕМ σ ; i – НОМЕР ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА; $\Delta\tau_{1k}$ И Δx – АБСОЛЮТНЫЕ ПОГРЕШНОСТИ СООТВЕТСТВУЮЩИХ НЕПОСРЕДСТВЕННО ИЗМЕРЯЕМЫХ ВЕЛИЧИН; $\tilde{\tau}_{2\max}^{(i)}$ – ВЕЛИЧИНА, ПОЛУЧЕННАЯ ПУТЕМ КОМПЬЮТЕРНОЙ ИМИТАЦИИ i -ГО ЭКСПЕРИМЕНТА С ПАРАМЕТРАМИ $\tilde{\tau}_{1k}^{(i)}$ И $\tilde{x}^{(i)}$ ПРИ ИЗВЕСТНОМ a_m .

СЛЕДУЮЩИЕ ТРИ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ КРИТЕРИЯ, НИЖЕ ОБОЗНАЧЕННЫЕ СООТВЕТСТВЕННО (2), (3) И (4), ПОЛУЧИЛИ НАЗВАНИЯ КРИТЕРИЕВ "ИНФОРМАТИВНОСТИ", "НАБЛЮДАЕМОСТИ" И "СОПОСТАВИМОСТИ ВРЕМЕН" [3]:

$$J(\tau_{1k}, x) = - \frac{\partial^2 \theta(Fo_2; Fo_{1k}(\tau_{1k}, x))}{\partial Fo_2^2} \Big|_{Fo_2 = Fo_{2\max}} \times \int_0^{Fo_{2\max}} [\theta(\xi; Fo_{1k}(\tau_{1k}, x)) - \theta(0; Fo_{1k}(\tau_{1k}, x))] d\xi \xrightarrow{\tau_{1k}, x} \max; \quad (2)$$

$$S(\tau_{1k}, x) = - \frac{\partial^2 \theta(Fo_2; Fo_{1k}(\tau_{1k}, x))}{\partial Fo_2^2} \Big|_{Fo_2 = Fo_{2\max}} \times \min \{ [\theta(Fo_{2\max}; Fo_{1k}(\tau_{1k}, x)) - \theta(0; Fo_{1k}(\tau_{1k}, x))]^2, Fo_{2\max}^2 \} \xrightarrow{\tau_{1k}, x} \max; \quad (3)$$

$$E_S(\tau_{1k}, x) \equiv \frac{\tau_{2\max}(\tau_{1k}, x)}{\tau_{\exp}(\tau_{1k}, x)} \int_0^{\alpha\tau_R/x^2} [\theta(\xi; Fo_{1k}(\tau_{1k}, x)) - \theta(0; Fo_{1k}(\tau_{1k}, x))] d\xi \xrightarrow{\tau_{1k}, x} \max. \quad (4)$$

В ФОРМУЛАХ (2) – (4) ИСПОЛЬЗУЮТСЯ: $Fo = \alpha\tau/x^2$ – ЧИСЛО ФУРЬЕ (С СООТВЕТСТВУЮЩИМИ ИНДЕКСАМИ); τ_{\exp} – ОБЩЕЕ ВРЕМЯ АКТИВНОЙ СТАДИИ ЭКСПЕРИМЕНТА; θ – БЕЗРАЗМЕРНОЕ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЕ. ПЕРВЫЕ ДВА КРИТЕРИЯ СЛУЖАТ ДЛЯ ОТСЕВА ТАКИХ СОЧЕТАНИЙ ВАРЬИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ, ПРИ КОТОРЫХ МАКСИМУМ ГАЛЬВАНО-ЭДС СОДЕРЖИТ МАЛО ПОЛЕЗНОЙ ИНФОРМАЦИИ (ИЗЛИШНЕ РАН-

НИЙ ИЛИ ПОЗДНИЙ: КРИТЕРИЙ (2)), СЛАБО ВЫРАЖЕННЫЙ (КРИТЕРИЙ (3)). КРИТЕРИЙ (4) СПОСОБСТВУЕТ СОКРАЩЕНИЮ ВРЕМЕНИ АКТИВНОЙ СТАДИИ ЭКСПЕРИМЕНТА $\tau_{\text{exp}} = \tau_{1k} + (\tau_2 : U_2(\tau_2) = U_2(0))$.

РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ (1) – (4) ДЛЯ $a_m = 1 \cdot 10^{-9} \text{ М}^2/\text{С}$ ПОМЕЩЕНЫ В ТАБЛ. 1.

1 РЕЗУЛЬТАТЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПО КРИТЕРИЯМ (1) – (4)

$\tau_{1k}^*, \text{ с}$	$x^*, \text{ мм}$	$\sigma a_m \cdot 10^{10}$	$J \cdot 10^3$	$S \cdot 10^3$	$E_S \cdot 10^3$
1049	1,84	0,789923	10,4691	8,0327	2,4097
1050	2,24	0,796417	19,3266	8,3458	4,9483
675	2,25	2,865127	3,7812	1,75205	3,0873
750	2,23	0,810796	11,0364	10,3212	6,0234

ИССЛЕДОВАНИЯ НА ЭВМ ПОКАЗАЛИ, ЧТО КРИТЕРИИ (1) – (4) ЯВЛЯЮТСЯ СЛОЖНО-ЗАВИСИМЫМИ И КОНКУРИРУЮЩИМИ. ЭТО ПОДТВЕРЖДАЕТ ВОЗМОЖНОСТЬ ОБЪЕДИНЕНИЯ ИХ В ВЕКТОРНЫЙ КРИТЕРИЙ. РЕШАЕТСЯ СЛЕДУЮЩАЯ ЗАДАЧА МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

$$\begin{cases}
 \sigma a_m(\tau_{1k}, x) \xrightarrow{\tau_{1k}, x} \min; \\
 -J(\tau_{1k}, x) \xrightarrow{\tau_{1k}, x} \min; \\
 -S(\tau_{1k}, x) \xrightarrow{\tau_{1k}, x} \min; \\
 -E_S(\tau_{1k}, x) \xrightarrow{\tau_{1k}, x} \min; \\
 \tau_{\text{exp}}(\tau_{1k}, x) \leq \tau_{\text{exp, max}}; \\
 \tau_{1k, \min} \leq \tau_{1k} \leq \tau_{1k, \max}; \\
 x_{\min} \leq x \leq x_{\max}.
 \end{cases} \quad (5)$$

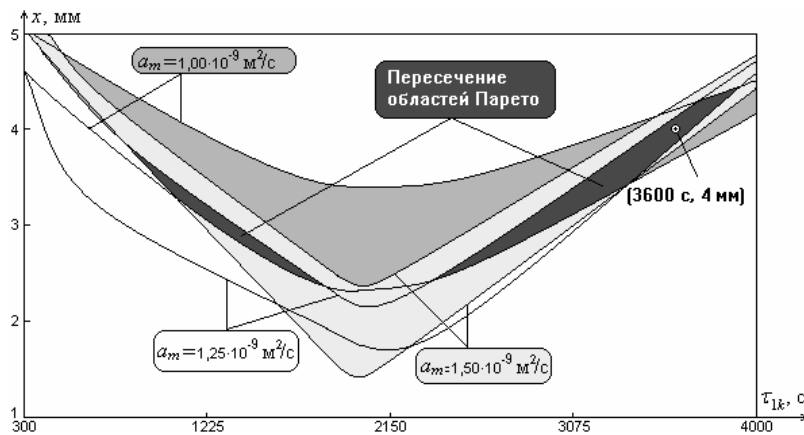


РИС. 1 РЕЗУЛЬТАТЫ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ:

$a \in [1,0 \cdot 10^{-9} \dots 1,5 \cdot 10^{-9}] \text{ М}^2/\text{С}, \tau_{\text{exp, max}} = 3 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ С},$

$\tau_{1k, \min} = 300 \text{ С}, \tau_{1k, \max} = 2000 \text{ С}, x_{\min} = 1 \text{ мм}, x_{\max} = 5 \text{ мм}$

Для нахождения приближенного решения задачи (5) в виде множества Парето использовалось равнообъемное заполнение пространства допустимых решений $[\tau_{1k, \min}, \tau_{1k, \max}] \times [x_{\min}, x_{\max}]$ точками LP_{τ} — последовательности с итерационным отсеком наименее перспективных вариантов. Решение задачи (5) проводилось для диапазона измерения коэффициента диффузии, свойственного древесным породам средней полосы России. Было получено пересечение множеств Парето, где любая точка (τ_{1k}, x) по отношению к любой другой из этой области — равно приоритетная для диапазона измерения коэффициента диффузии (рис. 1).

Список Литературы

1 Толстых С.Г. Математическая модель метода измерения коэффициента диффузии // Труды ТГТУ: Сб. науч. ст. молодых ученых и студентов. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2001. Вып. 8. С. 3 – 11.

2 Мищенко С.В., Пономарев С.В., Толстых С.Г., Толстых С.С.
К вопросу о погрешностях измерения коэффициента диффузии пористых материалов // Вестник Тамбовского государственного технического университета, 2003. Т. 9. № 2. С. 150 – 165.

3 Толстых С.Г., Толстых С.С., Пономарев С.В. Метрологическая оптимизация параметров эксперимента по определению коэффициента диффузии влаги в капиллярно-пористых материалах // Деп. в ВИНТИ 21.04.04 № 667 – В2004.

Кафедра "Автоматизированные системы и приборы"

УДК 536.24:517.967

Л.Л. АНТОНОВА, А.А. ЧУРИКОВ

МЕТОД НЕРАЗРУШАЮЩЕГО ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Специфические свойства многостадийного производства и эксплуатации изделий из керамических электроизоляционных материалов накладывает определенные требования к методам и устройствам для измерения их теплофизических свойств (ТФС). Прежде всего, должна быть обеспечена возможность измерений без нарушения целостности и эксплуатационных характеристик образцов и готовых изделий различных и весьма малых размеров. Особое значение при междустадийном теплофизическом контроле данных материалов, когда они представляют собой влажную мелкодисперсную среду, приобретает уменьшение времени процесса измерения с целью сохранения их первоначальных свойств. Данным требованиям в наибольшей степени отвечают методы неразрушающего контроля ТФС неоднородных твердых материалов, разработанные ранее и приведенные в [1]. Математические модели существующих методов предполагают, что исследуемое тело по отношению к тепловому воздействию является полуограниченным, а тепловое воздействие осуществляется тепловым потоком через круглый участок поверхности исследуемого образца. Плотность теплового потока во время эксперимента остается постоянной и равной $q(t) \equiv q_1 = \text{const}$, благодаря чему температура нагреваемой поверхности исследуемого тела достигает стационарного значения. В этих методах основным экспериментальным параметром является временная интегральная характеристика температуры поверхности нагреваемого образца вида

$$S_1^*(p) = \int_0^{\infty} e^{-pt} S_1(t) dt, \quad p > 0, \quad (1)$$

где p - параметр преобразования Лапласа; $S_1(t)$ – измеряемая средне- интегральная температура нагреваемого круга

$$S_1(t) = \frac{2}{R^2} \int_0^R U_1(t, r, 0) r dr. \quad (2)$$

Как видно из графической иллюстрации (рис. 1, а), где $f_1(t) = S_1(t)e^{-pt}$, для точного определения характеристики (1) необходимо измерять температуру $S_1(t)$ до момента времени $t \rightarrow \infty$. Применение квадратурных формул Чебышева-Лагерра позволяет находить приближенное значение данного интеграла с достаточной погрешностью за небольшой временной интервал $t_1 \approx 300$ с. Однако для реализации рассматриваемых методов необходимо постоянное во времени действие источника тепла, что приводит к нарушению условий полуограниченности образцов небольших изделий. Нами предлагается ограничить время действия теплового потока до момента времени t_2 , причем $t_2 \ll t_1$. Тогда $S_2(t)$ будет иметь вид, представленный на рис. 1, б, а подынтегральная функция $f_2(t)$ будет намного быстрее стремиться к нулю, что позволяет значительно сократить эксперимент, а также повысить точность расчета интегральных характеристик температуры и теплового потока.

При этом температурное поле в полуограниченном теле при плоском круглом нагревателе радиусом R будет описываться решением следующей краевой задачи для абсолютного метода:

$$\frac{1}{a} \frac{\partial U_2(t, r, z)}{\partial t} = \frac{\partial^2 U_2(t, r, z)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U_2(t, r, z)}{\partial r} + \frac{\partial^2 U_2(t, r, z)}{\partial z^2}; \quad (3)$$

$$(t > 0, 0 \leq r < \infty, 0 \leq z < \infty);$$

$$U_2(0, r, z) = 0; \quad (4)$$

$$U_2(t, r, z) = 0 \text{ при } r, z \rightarrow \infty; \left. \frac{\partial U_2(t, r, z)}{\partial r} \right|_{r=0} = 0; \quad (5)$$

$$\lambda \left. \frac{\partial U_2(t, r, z)}{\partial z} \right|_{z=0} = \begin{cases} -q_2(t, r) & \text{при } 0 \leq r \leq R; \\ 0 & \text{при } r > R, \end{cases} \quad q_2(t, r) = \begin{cases} q_2(t, r) & \text{при } t \leq t_2; \\ 0 & \text{при } t > t_2. \end{cases} \quad (6)$$

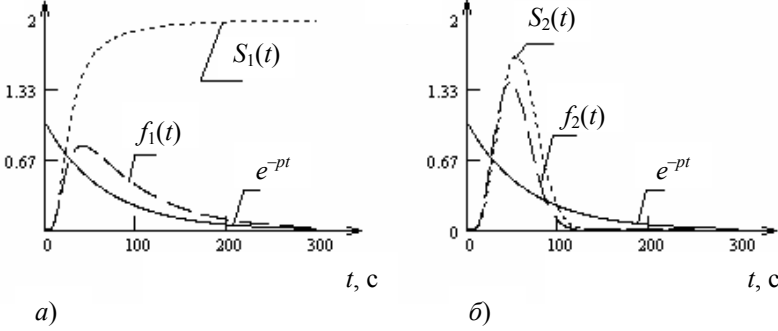


РИС. 1

Применяем последовательно к (3) – (6) интегральное преобразование Лапласа по времени и интегральное преобразование Ханкеля по координате r . Затем, используя обратное преобразование Ханкеля и учитывая, что основная информация о температуре поверхности снимается в виде (2), находим связь временной интегральной характеристики (ВИХ) температуры круга радиусом R поверхности исследуемого тела $S_2^*(p)$ с ВИХ теплового потока $q_2^*(p)$

$$S_2^*(p) = \frac{2q_2^*(p)(1 - e^{-pt_2})}{\lambda} \int_0^\infty \frac{1}{b\xi} J_1^2(R\xi) d\xi, \quad (7)$$

где p и ξ – параметры интегрального преобразования Лапласа и Ханкеля соответственно; $b = \sqrt{\xi^2 + \frac{p}{a}}$; J_1 – функция Бесселя первого рода первого порядка.

Для нахождения расчетных формул вводим в зависимость (7) безразмерные переменные $g(p) = \frac{pR^2}{a}$ и $\tau = pt_2$, а также функцию

$$W(g(p), \tau) = (1 - e^{-\tau}) \cdot V(g(p)), \quad (8)$$

где $V(g(p)) = \int_0^\infty \frac{J_1^2(\mu) d\mu}{\sqrt{\mu^2 + g(p)} \mu}$; $\mu = R\xi$. После чего выражение (7) преобразуется в следующее

$$S_2^*(p) = \frac{2q_2^*(p)}{\lambda} W(g(p), \tau). \quad (9)$$

По методике, используемой в [1], для двух значений параметра интегрирования p и kp , ($k > 1$), получаем уравнение неразрушающего контроля параметра $g(p)$

$$\frac{S_2^*(p)q_2^*(kp)}{S_2^*(kp)q_2^*(p)} = \frac{W(g(p), \tau)}{W(g(kp), k\tau)} \equiv \Phi(g, k, \tau). \quad (10)$$

Левая часть уравнения (10) определяется расчетным путем на основании данных, полученных из результатов экспериментальных измерений. Функция $\Phi(g, k, \tau)$ рассчитывается заранее для определенных k и τ , и из зависимости $\Phi = \Phi(g, k, \tau)$ при заданных фиксированных k и τ определяется g , по численному значению которого находится величина теплопроводности

$$a = \frac{pR^2}{g}.$$

Величину теплопроводности материала находим из (9)

$$\lambda = \frac{2Rq_2^*(p)}{S_2^*(p)} W(g(p), \tau).$$

Отличие полученных расчетных зависимостей от приведенных в работе [1] состоит в появлении параметрической функции $W(g, \tau)$ или $W(g, k\tau)$ вида (8), содержащей множителя $(1 - e^{-\tau})$ или $(1 - e^{-k\tau})$, которые весьма просто могут быть рассчитаны, не усложняя математическую часть методов при решении многомерных задач теплопроводности, но при этом позволяют исследовать малые образцы и сократить активную стадию эксперимента [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 ЧУРИКОВ А.А. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИЗДЕЛИЙ И ОБРАЗЦОВ ИЗ НЕОДНОРОДНЫХ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ: ДИС. ... Д-РА ТЕХН. НАУК. ТАМБОВ, 2000. 650 С.

2 Антонова Л.Л., Чуриков А.А. Совершенствование методов неразрушающего контроля теплофизических свойств твердых материалов // Теплофизические измерения при контроле и управлении качеством: Материалы Пятой Междунар. теплофизической школы: В 2 ч. Тамбов, 2004. Ч. 1. С. 137 – 139.

Кафедра "Автоматизированные системы и приборы"

УДК 667.287.5-44

Е.Ю. Харченко, Ю.М. Рапопорт, А.Б. Килимник

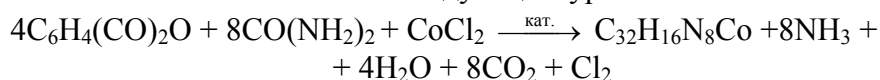
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ДЕРИВАТОГРАФИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СИНТЕЗА ФТАЛОЦИАНИНОВ МЕТАЛЛОВ

Фталоцианины металлов и соединения на их основе находят широкое применение в разных отраслях химической промышленности в качестве основы при производстве пигментов и красителей, полупроводников, присадок к термоустойчивым смазкам и в лазерной технике.

Начиная с семидесятых годов прошлого столетия ведутся интенсивные исследования по использованию фталоцианинов металлов в процессах очистки нефти, газовых конденсатов и сточных вод от меркаптанов и других серосодержащих веществ [1]. К настоящему времени изучена и опробована в опытно-промышленном и промышленном масштабах возможность использования фталоцианиновых катализаторов для этих целей. Установлено, что в процессах демеркаптанизации нефти и очистки сероводородных сточных вод фталоцианин кобальта, имеющий определенные заместители в бензольных ядрах, как катализатор, на порядок эффективнее других фталоцианинов переходных металлов [2, 3]. Ценность фталоцианиновых катализаторов наряду с высокой каталитической активностью заключается в их относительной доступности, высокой термической и химической стойкости. Однако широкому использованию препятствует отсутствие достаточно простой технологии его производства, обеспечивающей получение высокоэффективного и стабильного катализатора.

Методики оценки активности катализатора для процессов демеркаптанализации нефти были рассмотрены ранее [4], что дало возможность приступить к исследованию синтеза и технологии получения катализатора определенного качества.

Синтез фталоцианина кобальта описывается следующим уравнением



В синтезе вместо фталевого ангидрида могут использоваться соли фталевой кислоты, а вместо хлорида кобальта – его сульфаты, ацетаты и другие соли. Катализатором может быть молибдат аммония, борная кислота, трихлорбензол.

Существует несколько методов получения фталоцианина кобальта, начиная от сухого запекания предварительно смешанных компонентов, до многостадийного процесса в среде различных органических веществ с высокой температурой кипения. Общей чертой всех методов является высокая температура проведения реакций. В связи с этим важно исследовать поведение исходных компонентов, промежуточных продуктов, конечного вещества и их взаимодействия в реакционной массе при повышенных температурах.

Исследования проводили на дериватографе фирмы "МОМ" (Венгрия) в динамическом режиме нагрева со скоростями 5 и 10 град/мин от комнатной температуры до 500 °С в керамических тиглях в атмосфере воздуха. Чувствительность гальванометров DTG – 1/15 – 1/20; DTA – 1/10 – 1/5. Шкала TG – 200 мг и 500 мг.

В настоящей статье рассмотрены результаты термогравиметрического исследования карбамида, фталевого ангидрида, продукта взаимодействия карбамида с фталевым ангидридом – фталимида.

На кривой 1 дифференциального термического анализа (DTA) карбамида (рис. 1) отмечается эндотермический эффект с минимумом при температуре 127 °С, соответствующий физическому изменению состояния продукта, так как на кривой 1* термогравиметрического анализа (TG) при указанной температуре отсутствует эффект изменения массы. Наличие пика на кривой DTA соответствует температуре плавления карбамида (температура плавления химически чистого карбамида – 131,6 °С).

На кривой 1 DTA карбамида отмечаются еще два интенсивных эндотермических эффекта с минимумами при 230 °С и 375 °С, которым на кривой 1* TG соответствуют участки с интенсивной убылью массы, имеющие точки перегиба при температурах 175 °С и 190 °С, что, вероятно, связано с разложением карбамида до биурета и далее до циануровой кислоты. Проведенные анализы подтвердили присутствие обоих этих веществ в реакционной массе при синтезе фталоцианина кобальта.

На кривой 2 DTA фталевого ангидрида (см. рис. 1) отмечается два эндотермических эффекта с минимумами при температурах 129 °С и 270 °С, которые после анализа в совокупности с кривой 2* TG, можно интерпретировать как его плавление и разложение.

Кривые 3 и 3* представляют собой результат дериватографического анализа фталимида – возможного продукта взаимодействия карбамида и фталевого ангидрида.

Кривые 4 и 4* получены для механической смеси в соотношении 0,51 М карбамида и 1,0 М фталевого ангидрида. Анализ совокупности всех кривых показывает, что смесь плавится при температуре 115 °С, т.е. раньше, чем составляющие ее компоненты. За плавлением следует экзоэффект с максимумом при температуре 150 °С, отсутствующий на кривых DTA других веществ. На кривой 4* отмечается потеря массы, равная массе газов, выделяющихся при взаимодействии карбамида и фталевого ангидрида. При температуре выше 170 °С кривые 3 и 4, а также 3* и 4* аналогичны, что подтверждает образование фталимида в результате взаимодействия карбамида и фталевого ангидрида.

Аналогично были исследованы взаимодействия других веществ, участвующих в синтезе фталоцианина кобальта, что позволило определить оптимальное соотношение компонентов и температурный режим ведения процесса.

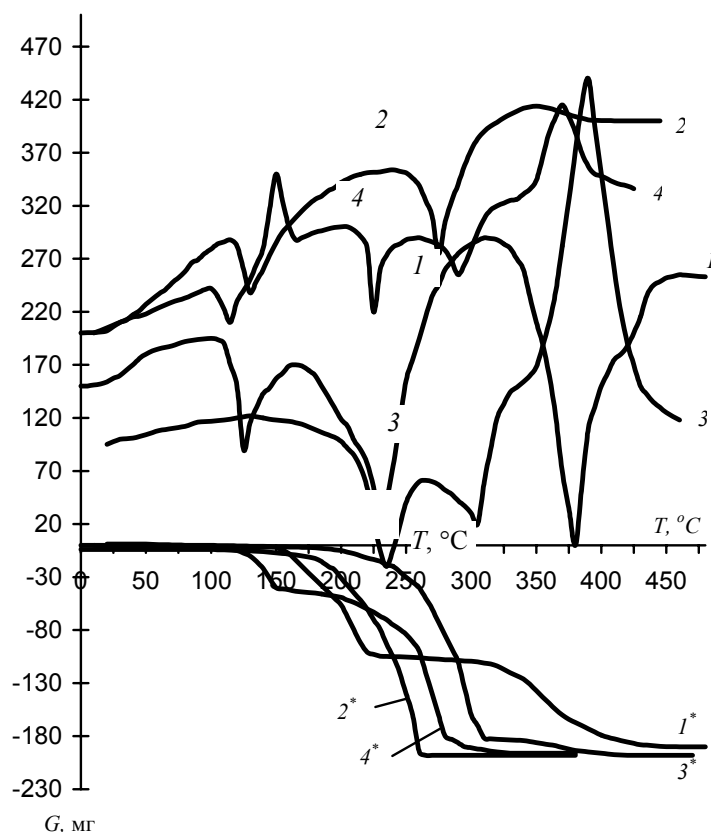


Рис. 1 Результаты дифференциального термического анализа (DTA) и термогравиметрического анализа (TG):
 1 – карбамид; 2 – фталевый ангидрид; 3 – фталид; 4 – механическая смесь в соотношении 0,51 М карбамида и 1,0 М фталевого ангидрида

DTA) и термогравиметрического анализа (TG):
 1 – карбамид; 2 – фталевый ангидрид; 3 – фталид; 4 – механическая смесь в соотношении 0,51 М карбамида и 1,0 М фталевого ангидрида

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Мазгаров А.М. Очистка легкого углеводородного сырья от меркаптанов // Нефтепереработка и нефтехимия, 1975. № 5. С. 28 – 30.
- 2 Майзлиш В.Е. Синтез и исследование новых гомогенных катализаторов процессов сероочистки // Журнал прикладной химии, 1999. Т. 72. № 11. С. 1827 – 1832.
- 3 Мазгаров А.М., Вильданов А.Ф. Фталоцианин. Химические основы процесса демеркаптанации // Транспорт, хранение и переработка меркаптансодержащих нефтей и газоконденсатов. Казань: ВНИИУС, 1993. 321 с.
- 4 Харченко Е.Ю., Рапопорт Ю.М. Разработка методики определения каталитической активности водорастворимых производных фталоцианина кобальта // Труды ТГТУ: Сб. науч. ст. молодых ученых и студентов. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. Вып. 15. С. 9 – 12.

Кафедра "Химия"

УДК 658.012.011.56.001.2

А.В. МАЙСТРЕНКО, Н.В. ИГНАТЬЕВА

ПРОДУКЦИОННО-ФРЕЙМОВОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗНАНИЙ В ИНТЕРАКТИВНОЙ СИСТЕМЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ОСНОВЕ ПРЕДИКАТНО-ФРЕЙМОВОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПРЕДМЕТНЫХ ОБЛАСТЕЙ ПОЗВОЛЯЮТ ЗНАЧИТЕЛЬНО ИНТЕНСИФИЦИРОВАТЬ ПРОЦЕСС РЕШЕНИЯ ТРАДИЦИОННЫХ ЗАДАЧ МА-

ТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ, ОПТИМИЗАЦИИ И ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ И АППАРАТОВ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ.

Все знания K о химическом производстве, представленные в интерактивной системе компьютерного моделирования и проектирования можно разделить на статические K_S , служащие для представления состояния предметной области в некоторый момент времени (технологические процессы и оборудование, их свойства и параметры и др.), и динамические K_D , описывающие множество возможных правил перехода по графу состояний, вершинами которого являются элементы K_S и приводящие к изменению статических знаний K_S . В классической производственной системе K_D описывается множеством производственных правил, образующих базу знаний, а K_S представляет собой множество атрибутов, которое формируется и пополняется в процессе решения конкретной задачи.

В предлагаемой модели описания химического производства ситуация осложняется фреймовым представлением предметной области, которому присущи операции наследования (см. рис. 1), вследствие чего статические знания K_S могут изменяться в процессе функционирования интерактивной системы. Поэтому предлагается разбить K_S на структурные знания K_{SS} , называемые фреймами-прототипами, и множество значений слотов K_{SR} (рабочие фреймы).

Статические знания в производственно-фреймовой системе, представленные в основном составляющей K_{SR} , образованы множеством

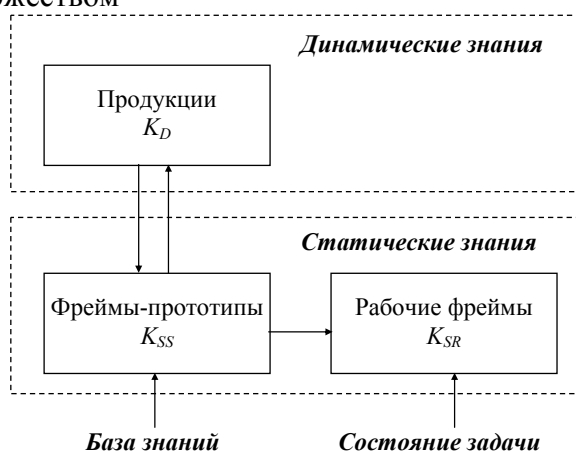


Рис. 1 Различные типы знаний в производственно-фреймовой системе

значений слотов всех фреймов. Свои значения слоты могут принимать из некоторого множества типов, определенных в интерактивной системе (например, вычисляться с помощью присоединенных процедур).

Фреймы-прототипы (K_{SS}) используются для представления, переработки и накопления знаний (технологические режимы, оборудование в котором протекает процесс и его параметры, физико-химические свойства участников процесса и др.), а присоединенные процедуры (K_D) дают возможность автоматического составления рабочих программ, при условии, что эти процедуры имеют программную реализацию.

Для описания фреймовой структуры необходимо ввести функцию состояния $W: I \rightarrow F$, которая отображает множество идентификаторов I в множество фреймов F . Каждый фрейм f представляет собой функцию $f: I_f \rightarrow S$, отображающую множество идентификаторов слотов данного фрейма в множество слотов (структура слотов может быть различной в зависимости от сложности рассматриваемой модели).

В ДАННОЙ ИНТЕРАКТИВНОЙ СИСТЕМЕ БУДЕМ РАССМАТРИВАТЬ МНОЖЕСТВО СЛОТОВ ВИДА

$$S = \{ \langle v, u, \{Q_i\}, \{D_i\}, \{C_i\}, \alpha \rangle \},$$

где v – текущее значение слота или неопределенность (\perp), если значение не определено; u – значение слота по умолчанию; $\{Q_i\}$ – множество присоединенных к слоту процедур; $\{D_i\}$ – множество процедур-демонов, срабатывающих при присваивании слоту некоторого значения; $\{C_i\}$ – множества ограничений на значения слота, сформулированных в виде выражений-предикатов; α – флаг, указывающий на участие слота в процессе рекуррентного обратного вывода и служащий для предотвращения бесконечного закливания.

Будем обозначать имя фрейма как $f.s = \langle f.s \rangle$, а доступ к слоту через $W.f.s = W(f.s)$.

Также необходимо ввести функцию присваивания значения слоту $write$, формирующую новое состояние

$$W[f.s \leftarrow v] = write(\langle f.s \rangle, v, W).$$

Эту функцию определим следующим образом

$$W[f.s \leftarrow x] = \langle f.s \rangle \rightarrow W(f.s[n \leftarrow x]).$$

Здесь через $s[n \leftarrow x]$ обозначена процедура замены n -го компонента кортежа s на x .

Функция состояния W описывает не только текущее состояние фрейма в процессе логического вывода, но и множество правил перехода из одного состояния в другое, которое в данной продукционно-фреймовой системе будем считать постоянным.

Множество состояний интерактивной системы Ω можно представить в виде бесконечного графа, вершинами которого будут различные состояния $W \in \Omega$, а дуги будут задаваться правилами логического вывода. Бесконечность графа будет, в первую очередь, вызвана потенциальной бесконечностью множества значений каждого из слотов. Однако, конечно же, число различных состояний в каждой базе знаний будет конечно, так как во множестве посылок всех правил базы знаний содержится конечное число сравнений.

Определим, каким образом в описанной семантике осуществляется получение значений слотов.

Обозначим через $W \rightarrow W'$ переход из одного состояния фрейма в другое, а через $\| \bullet \|$ – операцию вычисления значений слота, тогда значения слотов фрейма можно вычислить следующим образом:

$$\| f.s \|_{W \rightarrow W'} = \begin{cases} W(f.s)v, W(f.s) \neq \perp \text{ (при этом } W = W'); \\ \perp, W(f.s)\alpha = true; \\ x = \mu_{W \rightarrow W'}(\langle W(f.s)Q \rangle), (x \neq \perp); \\ y = \mu_{W' \rightarrow W'}(\{ \rho.s \mid \rho \in \| f.parent \|_{W \rightarrow W'} \}), (y \neq \perp, x = \perp); \\ \perp, \text{ в противном случае.} \end{cases}$$

Здесь $\mu_{W \rightarrow W'}(A)$ – функция последовательного вычисления упорядоченного семейства выражений A (конечного упорядоченного множества) в начальном состоянии. Эту функцию определим как:

$$\mu_{W \rightarrow W'}(A) = \begin{cases} \| \inf A \|_{W \rightarrow W'}, \| \inf A \|_{W \rightarrow W'} \neq \perp; \\ \mu_{W' \rightarrow W'}(\tilde{A}), \| \inf A \|_{W \rightarrow W'} = \perp; \\ \perp, A = \emptyset (W' = W). \end{cases}$$

где $\tilde{A} = A \setminus \{ \inf A \}$.

Значения слота фрейма в продукционно-фреймовой системе можно вычислить следующим образом:

- если по сути перехода из одного состояния в другое не произошло, то фрейм остается неизменным;
- если происходит рекурсивное заикливание, то слоты фрейма не определяются;
- если присутствуют присоединенные процедуры, то значения слотов определяются с их помощью;
- если присоединенные процедуры не определены, но присутствуют порожденные фреймы, то значения слотов фрейма-родителя можно определить по фреймам-потомкам.

Так для фрейма-прототипа процесса диазотирования, рассмотренного в [1], заполнение значений слотов рабочего фрейма может осуществляться несколькими способами: задаваться пользователем, выбираться из имеющихся баз данных, вычисляться в результате выполнения присоединенных процедур или процедур-демонов.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ИНТЕРАКТИВНОГО ДИАЛОГА С СИСТЕМОЙ, ПРИ ЭТОМ СИСТЕМОЙ ФОРМИРУЕТСЯ ЗАПРОС И ПОСЛЕ ОТВЕТА НА НЕГО ОПРЕДЕЛЕННЫЙ СЛОТ ФРЕЙМА МОЖЕТ ПОМЕНЯТЬ СВОЕ ЗНАЧЕНИЕ.

Присоединенные процедуры, используя уравнения математической модели процесса диазотирования, позволяют вычислить выходные параметры процесса (выходные концентрации, конструктивные параметры – в случае решения задачи оптимального проектирования и т.п.), а процедуры-демоны срабатывают при нарушении технологических ограничений процесса (проскок амина, концентрация нитро-зных газов и диазосмол и др.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Игнатьева Н.В. Интеллектуальный интерфейс системы математического моделирования, оптимизации и проектирования // Труды ТГТУ: Сб. науч. ст. молодых ученых и студентов. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2001. Вып. 8. С. 161 – 166.

Кафедра "Технологическое оборудование и пищевые технологии"

УДК 681.2:63

В.М. Жилкин, С.А. Илясова

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЙ СТЕПЕНИ ПОВРЕЖДЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Автоматизированная система измерений (АСИ) степени повреждения растительных материалов разработана для оперативной оценки эффективности разрушения биологических форм связи внутриклеточной влаги с растительным материалом на стадии его предварительной обработки с целью интенсификации последующего процесса сокоизвлечения. В основу работы АСИ положен метод измерения электрических свойств растительных материалов, в которых имеет место изменение параметров электрического активного сопротивления и емкости при повреждении клеточных мембран в процессе специальной технологической обработки.

Автоматизированная система измерений степени повреждения растительных материалов представляет собой комплекс, включающий в себя: контактный двухэлектродный первичный измерительный преобразователь (ПИП), измерительный блок (ИБ), блок обработки растительного материала (БО), персональный компьютер (ПК), периферийные устройства (ПУ) и программное обеспечение (ПО). Структурная схема АСИ степени повреждения растительных материалов изображена на рис. 1.

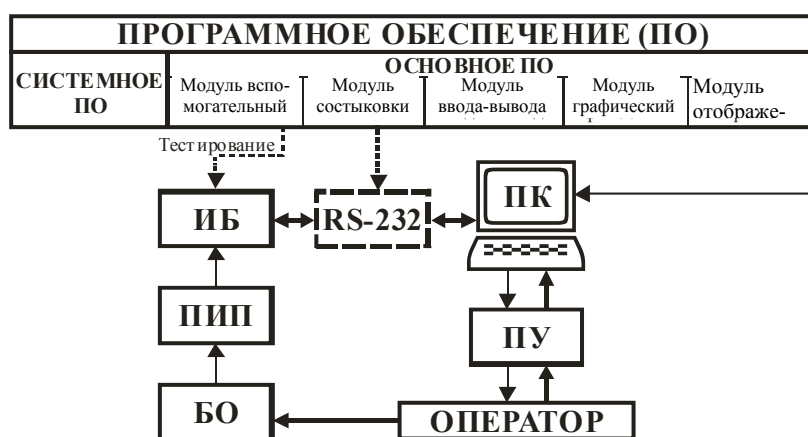


Рис. 1 Структурная схема автоматизированной системы измерений

степени повреждения растительных материалов

В качестве ПИП используется один из вариантов набора контактных двухэлектродных преобразователей (валковые, штырьковые, пластинчатые, планарные), конструкция которых определяется видом и физико-механическими свойствами обрабатываемого растительного материала (травы, корнеплоды, ягоды, фрукты). Исследуемый образец растительного материала повреждается электрическим током с помощью блока обработки БО, который представляет собой регулируемый источник электрического питания, позволяющий подавать на исследуемый образец растительного материала необходимое напряжение в диапазонах от 5 до 45 В, и от 50 до 250 В.

Измерительный блок ИБ представляет собой цифровой LCR-метр АКТАКОМ АМ-3001. Прибор выполняет команды установок и передает данные произведенных измерений по интерфейсу RS-232 на ПК (IBM-совместимый персональный компьютер).

Программное обеспечение подразделяется на системное и основное.

Системное ПО обеспечивает начало работы основной программы и ее последовательное выполнение, взаимодействие оператора с ИБ, позволяет управлять работой ИБ и отображать на дисплее результаты выполнения программы измерения, расчетов и графической интерпретации и представлено операционной системой Windows XP.

Основное ПО представляет собой совокупность следующих программных модулей:

- модуль состыковки служит для организации обмена данными между ПК и ИБ посредством интерфейса RS-232, позволяющий передавать команды управления в ИБ, принимать результаты измерений в виде большого массива данных и записывать полученную информацию в специально сформированную папку на диск ПК;

- модуль отображения измеряемой информации организует многоуровневое меню, обеспечивающее удобное и эффективное взаимодействие оператора и ИБ посредством ПК, включая выбор различных условий проведения измерений;

- графический модуль позволяет строить графики по результатам проведенных измерений;

- модуль ввода-вывода позволяет выполнять ввод исходных данных с клавиатуры ПК, а также вывод на дисплей результатов измерений, а именно, позволяет задавать временной интервал между двумя соседними измерениями, количество исследуемых образцов растительного материала, количество обработок каждого исследуемого материала в отдельности, количество измерений образца в единицу времени и предусматривает проведение измерений на пяти частотах в диапазоне от 100 Гц до 100 кГц;

- вспомогательный модуль производит тестирование ИБ перед началом работы, организует обработку и хранение измерительной информации на ПК.

Основное ПО реализовано с помощью языка программирования Borland Delphi версии 5.

К периферийным устройствам ПУ относятся дополнительные средства вывода, такие как дисплей, принтер и т.п.

Кафедра "Автоматизированные системы и приборы"

УДК 66.011.001.57:677.842.41

*Д.С. Дворецкий, Е.В. Пешкова**

СИНТЕЗ ГИБКИХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВ: СТРАТЕГИЯ, МЕТОДЫ, РЕАЛИЗАЦИЯ

Одним из наиболее эффективных путей решения проблемы повышения эффективности использования материальных и энергетических ресурсов производства и капитальных вложений является создание, внедрение и развитие гибких автоматизированных производств, в которых полностью или в значительной степени автоматизированы процессы: 1) планирования производства, комплектования технологических маршрутов и оптимизации расписания работы оборудования; 2) перехода с выпуска одного ассортимента на другой; 3) подготовки и подачи сырья в аппараты, упаковки и складирования готовых форм; 4) контроля и управления технологическими процессами; 5) диагностики аварийных ситуаций и выхода из них; 6) ремонта, очистки и подготовки к работе технологического оборудования; 7) монтажа и демонтажа оборудования.

Производство будем называть работоспособным (гибким), если на этапе эксплуатации условия его осуществления, задаваемые технологическим регламентом, выполняются независимо от случайного изменения неопределенных параметров в заданной области за счет соответствующего выбора на этапе проектирования векторов конструктивных параметров и управляющих воздействий или соответствующей подстройки управляющих воздействий на этапе эксплуатации производства. Таким образом, гибкость производства в статике и динамике определяется конструктивными и режимными переменными и

*Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. С.И. Дворецкого и при финансовой поддержке гранта Минобразования РФ.

обеспечивается за счет соответствующего выбора управляющих воздействий, реализуемых системой автоматического управления (САУ). При этом должен соблюдаться компромисс между вполне определенной избыточностью аппаратного оформления и его технического ресурса и риском потерь из-за невозможности производства востребованного ассортимента продукции или низкой рентабельности производства. Такое свойство объекта должно закладываться при интегрированном проектировании, включающем совместный синтез технологических процессов, аппаратов и САУ.

В соответствии с разработанной нами методологией интегрированного проектирования итерационно решаются три основные задачи: 1) генерирование альтернативных вариантов производства, удовлетворяющих условиям гибкости в жесткой и/или мягкой форме; 2) выбор альтернативных классов и структур систем автоматического управления производством, удовлетворяющих условиям структурной наблюдаемости и управляемости производства с заданными динамическими свойствами по каналам управления; 3) решение одно- или двухэтапной задач оптимизации конструктивных и режимных (управляющих) переменных комплекса "производство – САУ" в условиях неопределенности по векторному критерию, включающему показатели качества производимой продукции, энерго- и ресурсосбережения, а также технико-экономические показатели производства.

ДЛЯ ФОРМУЛИРОВКИ ЗАДАЧИ СИНТЕЗА ГИБКОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА С УЧЕТОМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ НЕОБХОДИМО ЗАДАТЬ ФОРМУ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ И ОПРЕДЕЛИТЬ ОГРАНИЧЕНИЯ. ПРИ ЭТОМ ВОЗМОЖНЫ СЛЕДУЮЩИЕ СЛУЧАИ.

СЛУЧАЙ 1. НА ЭТАПЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ХТП ОБЛАСТЬ НЕОПРЕДЕЛЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ТА ЖЕ, ЧТО И НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ.

СЛУЧАЙ 2. НА ЭТАПЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕОПРЕДЕЛЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ МОГУТ БЫТЬ ОПРЕДЕЛЕНЫ В КАЖДЫЙ МОМЕНТ ВРЕМЕНИ И УПРАВЛЯЮЩИЕ ПЕРЕМЕННЫЕ МОГУТ БЫТЬ ИСПОЛЬЗОВАНЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ОГРАНИЧЕНИЙ.

СЛУЧАЙ 3. ВЕКТОР НЕОПРЕДЕЛЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ СОСТОИТ ИЗ ДВУХ ПОДВЕКТОРОВ. В ПЕРВЫЙ ПОДВЕКТОР ВХОДЯТ ПАРАМЕТРЫ, КОТОРЫЕ МОГУТ БЫТЬ ИДЕНТИФИЦИРОВАНЫ НА ЭТАПЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ХТП, А ВО ВТОРОЙ ПОДВЕКТОР – ПАРАМЕТРЫ, ИМЕЮЩИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ НА ЭТАПЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕ ЖЕ, ЧТО И НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ.

ТАКИМ ОБРАЗОМ, ОПТИМИЗАЦИОННАЯ ЗАДАЧА СИНТЕЗА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА МОЖЕТ БЫТЬ СФОРМУЛИРОВАНА С УЧЕТОМ РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЕЙ ИНФОРМАЦИИ О ПРОИЗВОДСТВЕ, ДОСТУПНОЙ НА ЭТАПЕ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ. КАЖДОЕ РЕШЕНИЕ ДАЕТ ОПТИМАЛЬНЫЙ ВАРИАНТ ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ДАННОГО УРОВНЯ ИНФОРМАЦИИ. СЛЕДОВАТЕЛЬНО, ПРИ СИНТЕЗЕ НУЖНО УЧИТЫВАТЬ, ЧТО САМО ПОЛУЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ СВЯЗАНО С ОПРЕДЕЛЕННЫМИ ЗАТРАТАМИ. РАЗРАБОТКА БОЛЕЕ ТОЧНЫХ МОДЕЛЕЙ, УСТАНОВКА НОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ И СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ НЕОПРЕДЕЛЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОВЫШАЮТ УРОВЕНЬ ДОСТУПНОЙ ИНФОРМАЦИИ О ПРОИЗВОДСТВЕ, НО ТРЕБУЮТ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЗАТРАТ. ПРИ ЭТОМ ВОЗНИКАЕТ ВАЖНАЯ ПРОБЛЕМА ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО (ИЛИ РАЗУМНОГО) УРОВНЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ В КАЧЕСТВЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ СИНТЕЗА ПРОИЗВОДСТВА.

Оценка эффективности функционирования гибкого автоматизированного производства проводится методом имитационного моделирования и попарного сравнения альтернативных вариантов по векторному критерию. В качестве составляющих векторного критерия использовали: капитальные затраты, удельную стоимость сырья, материалов и покупных полуфабрикатов (критерий ресурсосбережения); удельные затраты на энергоносители (критерий энергосбережения); индекс гибкости производства; регулируемость по каналам управления качеством выпускаемой продукции.

В качестве примера реализации нашей методологии, методов и алгоритмов интегрированного проектирования решается задача синтеза реакторного отделения гибкого автоматизированного непрерывного производства азокрасителей (алого концентрированного, лакокрасочного и желтого светопрозрачного), обеспечивающее безопасное и качественное осуществление процессов тонкого органического синтеза с высоким уровнем энерго- и ресурсосбережения и экологической чистоты. В качестве аппаратного оформления процессов тонкого органического синтеза использовали оригинальные конструкции малогабаритных высокопроизводительных турбулентных трубчатых реакто-

ров с устройствами турбулизации потока диффузор-конфузорного типа, а в качестве класса САУ экономически целесообразным оказался класс системы автоматической стабилизации с оптимальными заданиями регуляторам (рис. 1).

Система автоматической стабилизации режимных переменных реакторного отделения непрерывного производства азопигментов включает следующие контуры: регулирование соотношения расходов суспензии амина и нитрита натрия с коррекцией по содержанию диазотирующего агента в диазорастворе (датчики FE 1, FE 4, QE 7; регуляторы FC 2, FF 5, QC 8; и регулирующие клапаны V3, V6); регулирование pH -среды в 1-ой и 2-ой зоне реактора азосочетания (датчики QE 9, QE 12, QE 15; регуляторы QC 10, QC 13 и регулирующие клапаны V 11, V 14); регулирование соотношения расходов диазосоединения и 2-нафтолята в 1-ю и 2-ю зоны реактора азосочетания с коррекцией по концентрации 2-нафтолята в 1-ой и 2-ой зонах реактора азосочетания (1-зона – датчики FE 16, FE 17, QE 20; регуляторы FF 18, QC 21 и

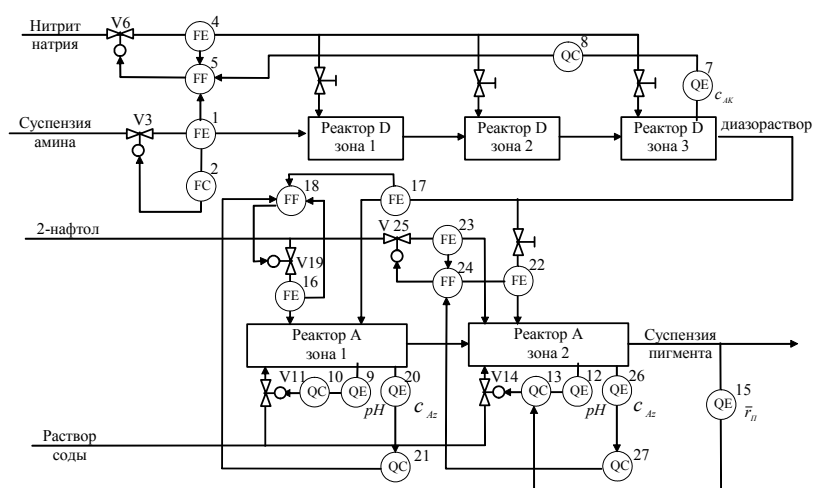


РИС. 1 АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕАКТОРНОГО ОТДЕЛЕНИЯ производства азопигментов

регулирующий клапан V 19; 2-зона датчики FE 22, FE 23, QE 26; регуляторы FF 24, QC 27 и регулирующий клапан V 25).

Необходимость распределения подачи азосоставляющей (2-нафтолята) по зонам реактора азосочетания объясняется тем, что диазосоединение и азосоставляющая реагируют между собой в эквимольных соотношениях.

Подача всего количества азосоставляющей в 1-ю зону реактора азосочетания приводит к увеличению его размеров, а следовательно, к увеличению инерционности и, как следствие, к ухудшению качества регулирования по каналу "расход 2-нафтолята – концентрация 2-нафтолята" во 2-ой зоне реактора азосочетания. Распределение диазосоединения по зонам реактора азосочетания необходимо для предотвращения избытка диазосоединения в 1-ой зоне реактора азосочетания, что неблагоприятно сказывается на качестве азопигментов из-за разложения диазосоединения и образования диазосмол. Наконец, распределение подачи щелочного агента (раствора углекислого натрия) по зонам реактора дает возможность регулирования в широком диапазоне величины pH -среды, что необходимо для получения высококачественных красителей с разнообразными оттенками. В результате выполненного исследования разработаны практические рекомендации по целесообразности внедрения в анилинокрасочных производствах малогабаритных высокопроизводительных турбулентных трубчатых реакторов комбинированного типа и с устройствами турбулизации потока диффузор-конфузорного типа, обеспечивающие в сочетании с системой автоматического управления безопасное и качественное осуществление процессов тонкого органического синтеза с высоким уровнем энерго- и ресурсосбережения и экологической чистоты. Спроектированное нами гибкое автоматизированное производство азопигментов имеет следующие характеристики: диапазон производительности установки – от 100 до 5000 т/г по сухому красителю; 98...99 %, что на 2...3 % выше действующих периодических производств; снижение энергозатрат – примерно на 10...15 % и металлоемкости производства – в среднем на 20 %; повышение коэффициен-

та использования оборудования – на 30 %; сокращение сроков освоения новой продукции – в 2...3 раза; снижение потребности в обслуживающем персонале – на 30 % (за счет высокого уровня автоматизации производства). Гибкие производства подобного класса позволяют интегрировать на одной установке традиционные периодические, полунепрерывные и прогрессивные непрерывные процессы получения органических полупродуктов и красителей, осуществлять одновременно производство нескольких красителей и существенно сократить сроки переналадки и промывки технологического оборудования.

*Кафедры "Машины и аппараты химических производств",
"Технологическое оборудование и пищевые технологии"*

УДК 621.391

А.Н. Пчелинцев, И.А. Дьяков

ПРИМЕНЕНИЕ КОСИНУС-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ В ТЕХНОЛОГИИ РЕЧЕВОЙ ПОДПИСИ

В настоящее время активно развивается направление распознавания голоса. Для систем контроля доступа предлагается метод голосовой аутентификации. Основная задача состоит в преобразовании голоса как функции амплитуды от времени в функцию частоты, что значительно облегчает аутентификацию. В данной работе изложены результаты исследований применения косинус-преобразования Фурье.

1 Понятие косинус-преобразования Фурье.

Пусть функция $f(x)$ определена на всей числовой оси, удовлетворяет условиям Дирихле (условия, при которых эта функция может быть разложена в ряд Фурье) на любом конечном интервале и абсолютно интегрируема по всей оси (т.е. сходится несобственный интеграл $\int_{-\infty}^{+\infty} |f(x)| dx$). Тогда справедливо следующее представление функции $f(x)$ интегралом Фурье [1]

$$f(x) = \frac{1}{\pi} \int_0^{+\infty} \left\{ \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \cos[\omega(t-x)] dt \right\} d\omega .$$

Если $f(x)$ – четная функция, то ее представление интегралом Фурье может быть переписано в виде

$$f(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^{+\infty} \left[\sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^{+\infty} f(t) \cos \omega t dt \right] \cos \omega x d\omega .$$

Полагая

$$F(\omega) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^{+\infty} f(t) \cos \omega t dt , \quad (1)$$

получим

$$f(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^{+\infty} F(\omega) \cos \omega x d\omega .$$

Функция $F(\omega)$ называется косинус-преобразованием Фурье функции $f(t)$. Приведенная пара формул устанавливает закон взаимности: если $F(\omega)$ – косинус-преобразование Фурье четной функции $f(x)$, то $f(x)$ есть косинус-преобразование Фурье функции $F(\omega)$.

Косинус-преобразование Фурье можно использовать как инструмент спектрального анализа непериодических сигналов, т.е. это преобразование ставит в соответствие функции $f(t)$ времени функцию $F(\omega)$ частоты.

ТАКОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЯВЛЯЕТСЯ ВЗАИМНО ОДНОЗНАЧНЫМ, ПОЭТОМУ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СИГНАЛА В ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТИ СОДЕРЖИТ РОВНО СТОЛЬКО ЖЕ ИНФОРМАЦИИ, СКОЛЬКО И ИСХОДНЫЙ СИГНАЛ, ЗАДАННЫЙ ВО ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ.

2 Поиск частотной характеристики.

Пусть функция $f(t)$ задана на отрезке $[0; T]$ в виде совокупности из N_t точек (звуковых отсчетов или сэмплов), полученных после прочтения WAV-файла (положим Δt – отрезок между двумя соседними точками; $T = (N_t - 1)\Delta t$). В каждом таком отрезке построим на левом значении функции прямоугольник. В интервале $(T; +\infty)$ $f(t) = 0$. Четным образом продолжим эту функцию на отрицательную полуось. Тогда имеет место преобразование (1):

$$F(\omega) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^{+\infty} f(t) \cos \omega t dt = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \left(\int_0^T f(t) \cos \omega t dt + \int_T^{+\infty} f(t) \cos \omega t dt \right) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^T f(t) \cos \omega t dt = \Delta t \sqrt{\frac{2}{\pi}} \sum_{i=1}^{N_t-1} f_i \cos(\omega(i-1)\Delta t). \quad (2)$$

Отведем в памяти одномерный массив zf вещественных чисел размером $N_\omega = 7000$. Выбирать это значение необходимо исходя из того, что говорящие люди имеют голоса с основными частотами $\nu < 1000$ Гц; $\omega = 2\pi\nu$ – циклическая частота.

Элемент массива zf с индексом j как следствие из выражения (2) с учетом нормировки будет рассчитываться следующим образом:

$$zf_j = \frac{\sum_{i=1}^{N_t-1} f_i \cos(j(i-1)\Delta t)}{\max_j \left| \sum_{i=1}^{N_t-1} f_i \cos(j(i-1)\Delta t) \right|}, \quad j = \overline{0, N_\omega - 1}.$$

3 Алгоритм распознавания голоса:

- при обучении системы записываем голос одного лица, который проговаривает букву, преобразуя каждый раз функцию $f(t)$ по Фурье;
- первый раз частотная характеристика голоса заносится в массив zf_0 , потом – в массив zf ;
- каждый раз при обучении мы смотрим различие данных в двух массивах, как $\sum_j |zf_j - zf_0_j| = \varepsilon$. Из всех ε выбираем максимальное значение ε_{\max} и принимаем его за интервал (коридор) для данного голоса;
- при входе в систему программа смотрит различие голосов ε_{\max} и если $\varepsilon \leq \varepsilon_{\max}$, то пропускает входящее лицо, иначе – нет.

Кафедра "Системы автоматизированного проектирования"
УДК 621.3.032:539.23

Д.В. Образцов, Д.А. Шеришорин,

М.В. Макарчук, В.П. Шелохвостов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СООТНОШЕНИЙ В НАНОРАЗМЕРНЫХ КВАНТОВЫХ СТРУКТУРАХ

В настоящее время уделяется достаточно много внимания исследованию систем, некоторые составляющие которых находятся в диапазоне 1...100 нм. В них нередко проявляются квантовые эффекты, существенно изменяющие макросвойства. К таким системам можно отнести и водные растворы высокой степени разведения (РВСР) при концентрации примеси $< 10^{-8}$ %. Их изучение представляет интерес из-за нелинейного характера изменения свойств при уменьшении концентрации растворимого компонента. В этой связи исследовали водные РВСР меди.

Анализировали раствор как квазистационарную систему из свободных молекул, случайных ассоциаций и кластеров, сформированных с участием растворимого объекта (меди). Каждый из кластеров считали неоднородной составляющей, которая определяется возможностями водных молекул как диполей компенсировать оборванные связи поверхности растворимого объекта. Энергетическое состояние воды вокруг примеси представляли в виде чередующихся слоев с различной поляризацией (рис. 1) и оценивали с использованием волнового уравнения Шредингера [1]

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\psi'' + (U(x) - E)\psi = 0, \quad (1)$$

ЗДЕСЬ \hbar – ПОСТОЯННАЯ ПЛАНКА; m – МАССА ЧАСТИЦЫ; E – ПОЛНАЯ ЭНЕРГИЯ ЧАСТИЦЫ; ψ – ВОЛНОВАЯ ФУНКЦИЯ; U – ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ.

НАИБОЛЬШИЕ РАЗМЕРЫ СЛОЕВ, ПРИ КОТОРЫХ ОНИ МОГУТ СЧИТАТЬСЯ КВАНТОВЫМИ ЯМАМИ (КЯ), И ПОЛОЖЕНИЕ УСТОЙЧИВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ В НИХ РАССЧИТЫВАЛИСЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫВЕДЕННОГО РАНЕЕ [2] СООТНОШЕНИЯ (2)

$$E_n = \frac{\hbar^2}{2m} \left[\frac{\pi}{W} \right]^2 n^2 = 0,3737 \left(\frac{m_0}{m} \right) \left(\frac{n}{W(\text{нм})} \right)^2, \text{ эВ}, \quad (2)$$

ГДЕ m_0 – МАССА СВОБОДНОГО ЭЛЕКТРОНА; m – ЭФФЕКТИВНАЯ МАССА ЭЛЕКТРОНА; n – КВАНТОВОЕ ЧИСЛО ($n = 1, 2, \dots$); W – ШИРИНА КВАНТОВОЙ ЯМЫ (СЛОЯ).

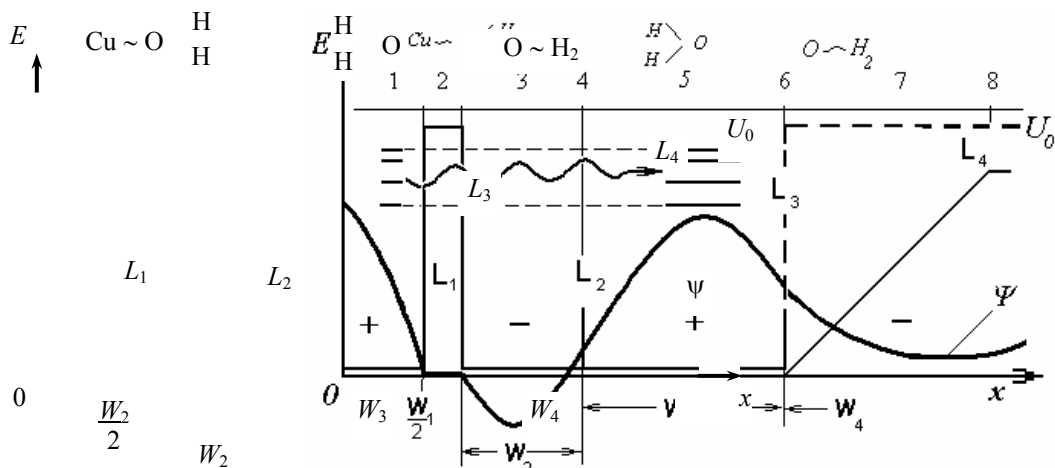


Рис. 1 Структурное состояние меди в растворе высокой степени разведения (вода)

ИЛЛЮСТРАЦИЯ РАСЧЕТНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СООТНОШЕНИЙ E_N И КАЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЭНЕРГИИ (ПО МОДУЛЮ ФУНКЦИИ ψ) ПРИВЕДЕНЫ НА РИС. 1.

ЯДРО КЛАСТЕРА (РИС. 1) СООТВЕТСТВУЕТ $W = 1...50$ НМ (ОБЛАСТЬ 1), ЕГО МОЖНО РАССМАТРИВАТЬ КАК КЯ С ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМ ВНУТРЕННЕ НЕ СКОМПЕНСИРОВАННЫМ ЗАРЯДОМ (ВНСЗ), КОТОРЫЙ ЧАСТИЧНО КОМПЕНСИРУЕТСЯ АДСОРБИРОВАННЫМИ МОЛЕКУЛАМИ ВОДЫ ЗА СЧЕТ СООТВЕТСТВУЮЩЕЙ ИХ ПОЛЯРИЗАЦИИ. ПРИ ЭТОМ НА ПОВЕРХНОСТИ ОБРАЗУЕТСЯ БАРЬЕР 2 КАК ХЕМОСОРБИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ $Cu \sim O \approx 2H$, ПРОТЯЖЕННОСТЬ КОТОРОГО МОЖНО ОЦЕНИТЬ В $1...2$ НМ, И ОБЛАСТЬ 3 ОТРИЦАТЕЛЬНОГО ВНСЗ ВЕЛИЧИНОЙ $3...10$ НМ. ПОСКОЛЬКУ ДИПОЛЬНАЯ КОМПЕНСАЦИЯ ЗАРЯДА НЕ АБСОЛЮТНА, ТО ЧЕРЕЗ БАРЬЕР 4 (~ 1 НМ) ВОЗНИКАЕТ СЛЕДУЮЩИЙ СЛОЙ 5 С ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМ ВНСЗ. ТАКИМ ОБРАЗОМ, МОЖНО ПРЕДСТАВИТЬ ЗНАЧИТЕЛЬНЫЙ ФРАКТАЛЬНЫЙ РЯД КЯ В НАПРАВЛЕНИИ ОТ ПРИМЕСИ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ УМЕНЬШЕНИЕМ ЭНЕРГИЙ ВНСЗ.

ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕННЫХ ИЗ ФИЗИЧЕСКОГО АНАЛИЗА РАЗМЕРОВ КЯ (СЛОЕВ) ВНУТРИ КЛАСТЕРА НА РИС. 1 ПОКАЗАНО ИЗМЕНЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ВОЛНОВОЙ ФУНКЦИИ ψ ДЛЯ НИЗШЕГО КВАНТОВОГО СОСТОЯНИЯ В НАПРАВЛЕНИИ x (ОТ ЯДРА КЛАСТЕРА). КАК ВИДНО ФУНКЦИЯ ТАКЖЕ МЕНЯЕТ И ЗНАК, КОТОРЫЙ ОБУСЛОВЛИВАЕТ СУЩЕСТВОВАНИЕ УСТОЙЧИВЫХ КВАНТОВЫХ УРОВНЕЙ ТОЛЬКО В КЯ С ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМ ЗНАКОМ (1, 5 И Т.Д.). В КАЖДОЙ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ КЯ С ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМ ЗНАКОМ ЭНЕРГИЯ УМЕНЬШАЕТСЯ. ТАК, ДЛЯ ОБЛАСТИ 5 ПРИ РАСЧЕТЕ ПО ФОРМУЛЕ (УПРОЩЕНИЕ ФОРМУЛЫ 2) $E_N \sim N^2/W^2$ ВЕЛИЧИНА ЭНЕРГИИ СОСТАВИТ ПОРЯДОК $0,25E_N$, ДЛЯ ОБЛАСТИ 8 ОНА ИЗМЕНИТСЯ ЕЩЕ НА ПОРЯДОК.

ОСОБЕННОСТЬЮ ВОЗБУЖДЕННЫХ КВАНТОВЫХ СОСТОЯНИЙ ЯВЛЯЕТСЯ ТО, ЧТО ПРИ РАЗМЕРАХ РАСТВОРЯЕМОЙ ПРИМЕСИ МЕНЕЕ 1 НМ (ОБЛАСТЬ 1 РИС. 1) ОСНОВНЫЕ УРОВНИ СТАНОВЯТСЯ МЕНЕЕ УСТОЙЧИВЫМИ (РАВНОМЕРНО УШИРЕННЫМИ) ПО ОТНОШЕНИЮ К ВОЗБУЖДЕННЫМ. ПОСЛЕДНИЕ СРАВНИВАЮТСЯ ПО ЧАСТОТЕ С УСТОЙЧИВЫМИ СОСТОЯНИЯМИ В 5, 8 И Т.Д. ПОСКОЛЬКУ ЭТИ ВОДНЫЕ СЛОИ ФОРМИРОВАЛИСЬ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ МЕДИ, ТО ОНИ, ВПОЛНЕ ВЕРОЯТНО, СООТВЕТСТВУЮТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ СООТНОШЕНИЯМ ИМЕННО МЕДИ. УСЛОВНО ТЕ И ДРУГИЕ СОСТОЯНИЯ ИЗОБРАЖЕНЫ В ВИДЕ ДИСКРЕТНЫХ УРОВНЕЙ В 1 И 5 ОБЛАСТЯХ. УРОВНИ ПРИМЕСИ (ОБЛАСТЬ 1) ИМЕЮТ МАЛОЕ ВРЕМЯ ЖИЗНИ, НО ИХ ЗАПОЛНЕНИЕ ВОЗМОЖНО ОТ ПРЯМОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ ВНЕШНИМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОТОКОМ (СВЕТОМ). ВОДНЫЙ СЛОЙ (ОБЛАСТЬ 5) ОКАЗЫВАЕТСЯ, ПО СУТИ ПРОЗРАЧНЫМ, А СОТВЕТСТВЕННО ВОЗБУЖДЕНИЕ В НЕМ ОБУСЛОВЛИВАЕТСЯ ТУНЕЛЛИРОВАНИЕМ ИЗ ОБЛАСТИ 1 (ПОКАЗАНО ВОЛНИСТОЙ СТРЕЛКОЙ НА РИС. 1).

ВТОРАЯ ОСОБЕННОСТЬ – БОЛЬШЕЕ ВРЕМЯ ЖИЗНИ ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ В ВОДНЫХ КВАНТОВЫХ СЛОЯХ (КЯ) И ПО ЭТОЙ ПРИЧИНЕ НАКОПЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ С ЕЕ ПЕРЕИЗЛУЧЕНИЕМ В ПРОХОДЯЩИЙ ПОТОК И УСИЛЕНИЕМ ЭТОГО ПОТОКА.

ВЫПОЛНЕННЫЙ АНАЛИЗ И ЕГО РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЗВОЛЯЮТ СЧИТАТЬ ВОЗМОЖНЫМ ОБНАРУЖЕНИЕ В ДАННОМ СЛУЧАЕ МЕДИ В ЧРЕЗВЫЧАЙНО МАЛЫХ КОНЦЕНТРАЦИЯХ (МЕНЕЕ $10^{-17} \dots 10^{-28} \%$).

Экспериментальная проработка изложенных идей проводилась спектроскопией РВСП меди по методике, предложенной в работе [2].

Выделяли каждую из длин волн лазерного луча (лазер на парах меди) с помощью дифракционной решетки, пропускали через кювету с дистиллированной водой и растворами РВСП меди-алюминия, меди-никеля, никеля-алюминия. Интенсивность луча на выходе из каждой кюветы воспринималась раздельно чувствительными диодами и регистрировалась осциллографом. Результаты эксперимента показаны на рис. 2 в координатах интенсивность – длина волны.

На графиках измерялись интенсивность, положение максимума интенсивности, полуширина пика на половине его высоты. Как следует из визуальной оценки, полуширина полосы поглощения от РВСП меди меньше, а высота (интенсивность) больше (кривые 3, 4). В растворах, в которых отсутствовала медь (кривые 2, 5 – исходная среда и РВСП Ni–Al соответственно), наблюдалось увеличение полуширины полосы поглощения и уменьшение интенсивности.

Описанные исследования позволяют определять воздействие меди на водную среду по уменьшению полуширины полосы поглощения и увеличению интенсивности в положении максимума полосы поглощения (в сравнении с исходной средой) проходящего светового потока даже в присутствии подобного воздействия со стороны других элементов. Это можно интерпретировать как резонансное прохождение электромагнитного потока (с минимальным коэффициентом поглощения).



Рис. 2 Спектр поглощения в РВСП:

1 – исходный лазерный луч; 2 – дистиллированная вода;

3 – РВСП Cu–Ni; 4 – Cu–Al; 5 – Ni–Al

Таким образом, разработан резонансный метод спектрального анализа обнаружения меди в РВСП по структурным изменениям среды. Дальнейшее исследование и развитие метода позволит осуществлять контроль на присутствие и других примесей сверхмалых концентраций (диапазон менее $10^{-17} \%$).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Драгунов В.П., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Основы наноэлектроники: Учебное пособие. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. С. 109 – 114.

2 Шелохвостов В.П., Макачук М.В., Шеришорин Д.А., Чернышов В.Н. Структура и свойства растворов высокого разбавления // Вестник Тамбовского государственного университета, 2003. Т. 8. Вып. 4. С. 698 – 701.

В.Г. МОКРОЗУБ, М.П. МАРИКОВСКАЯ

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЕМКОСТНЫХ АППАРАТОВ

В современных экономических условиях коммерческий успех машиностроительных предприятий во многом определяется качеством выпускаемой продукции и сроками подготовки новых моделей оборудования, которые в значительной степени зависят от возможностей информационных систем, применяемых при проектировании.

Если раньше программное обеспечение позволяло создавать в автоматизированном режиме плоские, двумерные чертежи деталей и сборочных единиц, теперь все чаще используется трехмерное проектирование. Такие программные продукты как SolidWorks, Inventor, Компас позволяют спроектировать 3D-образы отдельных деталей, собрать из них сборочные единицы и готовые изделия, а после автоматически получить готовую конструкторскую документацию.

Логично предположить, что следующим шагом в развитии автоматизированного проектирования технических объектов будет создание интеллектуальных систем, позволяющих генерировать различные варианты технических решений, которые будут позволять выполнять необходимые действия (функции) в определенных условиях.

Рассмотрим подходы к созданию подобных интеллектуальных автоматизированных систем на примере конструирования емкостных аппаратов с перемешивающим устройством.

Каждый емкостной аппарат состоит из некоторого обязательного набора элементов и, возможно, из каких-либо дополнительных устройств. Так, аппарат должен иметь корпус, состоящий из одной или нескольких, чаще цилиндрических или конических обечаек, эллиптического, торосферического, сферического, плоского или конического днища и крышки. Исполнение аппарата может быть либо вертикальное, либо горизонтальное. Перемешивающее устройство должно состоять из мешалки, вала, привода и электродвигателя. Также аппарат непременно должен иметь штуцера и люки, опоры, строповые устройства.

При этом диаметры обечаек и днищ, размеры фланцевых соединений, детали привода, вид и расположение сварных швов, штуцеров, опор достаточно четко регламентируются параметрическими рядами и нормативными документами.

Учитывая сказанное, постановка задачи проектирования емкостного аппарата с перемешивающим устройством может быть сформулирована следующим образом:

Необходимо найти такой набор элементов $E \{e_i\}$, каждый из которых принадлежит к множеству подобных себе элементов, например, элемент e_k – мотор-редуктор, принадлежащий к множеству существующих мотор-редукторов $e_k \in \{E_k\}$, и такие координаты их взаимного расположения $x_{i,j}$, чтобы выполнялись условия:

- общий объем аппарата должен быть равен заданному объему;
- аппарат должен позволять создавать заданный температурный режим $T = f(\tau)$;
- аппарат должен позволять создавать заданный гидродинамический режим, определяемый, например, критерием Рейнольдса $Re_{\tau} = f(\tau)$;
- допускаемое давление в аппарате $P_{\text{доп}} \geq P_{\text{расч}} \geq P_{\text{раб}}$;
- возможные ограничения по габаритам, массе.

Для решения этой задачи необходимо иметь информационно-логическую модель аппарата, содержащую в себе:

- во-первых: описание набора необходимых и возможных дополнительных элементов аппарата;
- во-вторых: некоторые основные правила, указывающие, как эти элементы соединены между собой и как зависят друг от друга их свойства (например, геометрические размеры);
- и в третьих: модель должна содержать условия, ограничивающие взаиморасположение, конструкцию и размеры элементов.

Рассмотрим подробнее каждый из этих пунктов.

1 Любой емкостной аппарат состоит из ограниченного набора составных элементов (рис. 1).

На рис. 1 толстой линией обведены элементы, присутствующие у всех емкостных аппаратов обязательно, остальные элементы – присутствие которых зависит от технологического назначения аппарата.

Каждый элемент обладает присущим ему набором свойств. Например, элемент "обечайка" обладает свойством "форма", которое может принимать значения "цилиндрическая" или "коническая". Свойства "диаметр" и "длина" взаимосвязаны друг с другом и, при фиксированном суммарном объеме с днищами аппарата, определяются из условия обеспечения минимальной металлоемкости. Свойство обечайки "толщина стенки" может принимать значения из ряда стандартных толщин листовой стали, при этом соблюдая условие $s \geq s_p + c$, где s_p – расчетная толщина стенки из условий прочности и устойчивости; c – компенсационная прибавка к толщине стенки. Также свойством обечайки является наличие или отсутствие на ней колец жесткости, их количество и форма.

Свойство "форма" элемента "днище" определяется из технологических соображений, и из удобства изготовления на выпускающем предприятии. Значение свойства днища "диаметр" будет равно значению диаметра обечайки. Толщина стенки днища выбирается аналогично обечайке.

Рассматривая другие элементы емкостного аппарата, мы увидим, что свойства каждого из них взаимосвязаны со свойствами других элементов, а также зависят от общих параметров аппарата и от исходных данных.

2 Будем называть эти зависимости оператором перехода от элемента E1 к элементу E2 посредством зависимости F12: F12 (E1, E2).

Оператором перехода может быть:

- расчетная методика (например, расчет на прочность по ГОСТ, расчет гидродинамических или тепловых параметров по РД);
- таблица зависимости;

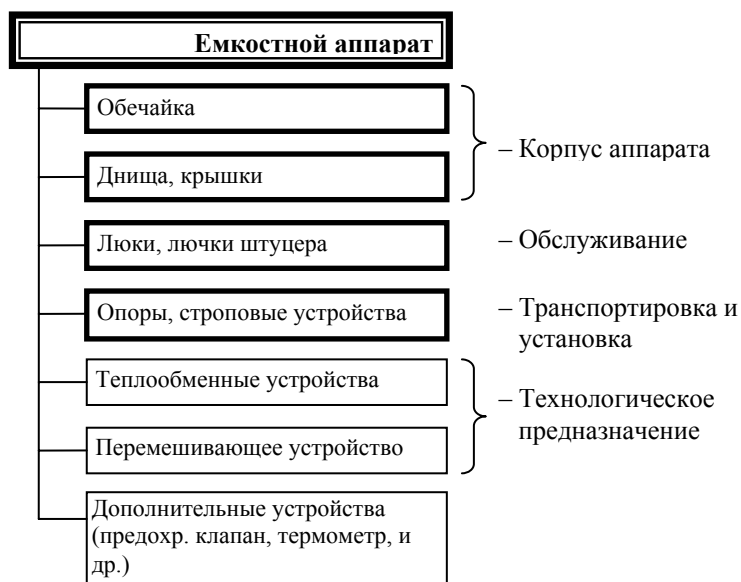


Рис. 1 Схема емкостного аппарата

- математическая функция или условие (например, $D_{обеч} = D_{днища}$);
- какая-либо рекомендация (например, при небольшом давлении и больших диаметрах торосферическое днище предпочтительнее эллиптического, так как проще в изготовлении, или, для вязких жидкостей тип мешалки – рамная).

3 Ограничениями, которые необходимо соблюдать при проектировании, могут быть:

- требования ПБ и ОСТ, ГОСТ;
- ограничения по себестоимости;
- невозможность изготовления;
- свойства имеющихся материалов;
- параметрические ряды, параметры стандартных изделий и комплектующих;
- требования прочности и надежности.

Таким образом, емкостной аппарат, как и практически любой другой технический объект, можно представить в виде его информационно-логической модели или совокупности моделей его основных

составляющих элементов. Информационно-логическая модель должна содержать данные о свойствах элементов емкостного аппарата, зависимостях этих свойств друг от друга и от исходных данных.

Такая информационно-логическая модель емкостного аппарата может быть основой интеллектуальной системы автоматизированного проектирования.

*Кафедра "Автоматизированное проектирование
технологического оборудования"*

УДК 536.24.08

Г.В. Мозгова, С.В. Ходилин

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАВИСИМОСТИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ И РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЖИДКИХ МАТЕРИАЛОВ ОТ СКОРОСТИ СДВИГА

Измерительная установка для определения теплофизических характеристик жидких полимерных материалов при сдвиговом течении выполнена в соответствии со схемой, представленной на рис. 1.

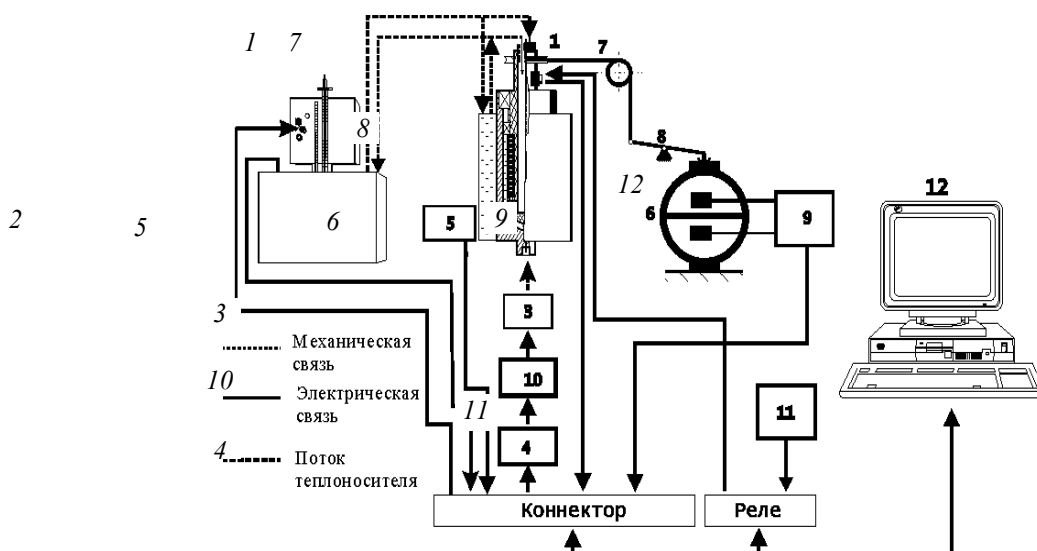


Рис. 1 Функциональная схема измерительной установки

В состав измерительной установки [1, 2] входят:

1 – измерительное устройство; 2 – жидкостный термостат, для задания граничных условий первого рода в соответствии с принятой математической моделью измерительного устройства; 3 – электродвигатель постоянного тока; 4 – усилитель мощности У-13Н; 5 – преобразователь угловой скорости вращения внешнего цилиндра; 6 – виброчастотный преобразователь силы; 7 – трос; 8 – рычажная система; 9 – усилитель; 10 – выпрямитель; 11 – блок питания; 12 – персональный компьютер, оснащенный многофункциональной платой сбора данных.

Измерительное устройство 1 состоит из двух коаксиальных цилиндров [3]. Внешний цилиндр при помощи электропривода постоянного тока способен вращаться с заданной, угловой скоростью. Внутренний неподвижный цилиндр выполнен полым. Через его полость по шлангам непрерывно прокачивается теплоноситель из термостата 2.

В этом цилиндре также расположены электрический нагреватель и термопреобразователь сопротивления, подключенные через разъем к согласующим блокам измерительной установки. Температура внешнего цилиндра поддерживается постоянной за счет теплообменного устройства, представляющего собой водяную рубашку, через которую прокачивается теплоноситель из термостата 2.

Привод внешнего цилиндра представляет собой электродвигатель постоянного тока с редуктором. Изменение угловой скорости вращения цилиндра осуществляется за счет изменения напряжения на об-

мотке якоря электродвигателя, подводимого через выпрямитель 10 и усилитель мощности 4 от цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) платы сбора данных, расположенной в персональном компьютере 12.

Методика проведения эксперимента [4] предусматривает следующие операции:

- 1 Заливка заданного объема исследуемой жидкости в полусферическое углубление внешнего цилиндра.
- 2 Установка и закрепление внутреннего цилиндра.
- 3 Включение термостата.
- 4 Приведение во вращение внешнего цилиндра измерительного устройства с заданной угловой скоростью ω , обеспечивающей создание в слое исследуемой жидкости скорости сдвига

$$\gamma = \frac{R_5 \omega}{\delta},$$

где R_5 – внутренний радиус внешнего цилиндра; $\delta = R_5 - R_4$ – величина зазора между внешним и внутренним цилиндрами; R_4 – внешний радиус внутреннего цилиндра.

- 5 Регистрация установившейся среднеинтегральной температуры в слое нагревателя измерительного устройства и величины касательного напряжения $\sigma_{r\varphi}$ при фиксированной скорости сдвига:

$$\sigma_{r\varphi} = \frac{M}{2\pi\ell R_4^2}, \quad M = FR_{ш},$$

$$F = (0,145\Delta f + 1,74 \cdot 10^{-5} \Delta f^2) (1 + 0,075(t - 20) - 1,25 \cdot 10^{-3} (t - 20)^2),$$

где ℓ – высота погружения внутреннего цилиндра в исследуемую жидкость; M – вращающий момент, действующий на внутренний цилиндр; $R_{ш}$ – радиус шкива на измерительном устройстве 1; F – сила, действующая на виброчастотный преобразователь; Δf – изменение частоты сигнала преобразователя силы; t – температура окружающей среды во время проведения эксперимента.

- 6 Увеличение скорости сдвига в слое исследуемой жидкости на $\Delta\gamma$.
- 7 Выполнение заданного числа k раз пунктов 5 и 6 настоящей методики.
- 8 Определение реологических характеристик – показателя консистенции m и индекса течения n исследуемой жидкости удовлетворяющих условию: $\sum_{i=1}^k (\sigma_{r\varphi_i} - m\gamma_i^n)^2 \rightarrow \min$.

С использованием данной методики получены зависимости касательного напряжения от скорости сдвига в слое синтетического каучука "Структурол" (рис. 2). Кривая 1 получена при температуре каучука 32 °С, кривая 2 при температуре 25 °С и кривая 3 при температуре 18 °С.

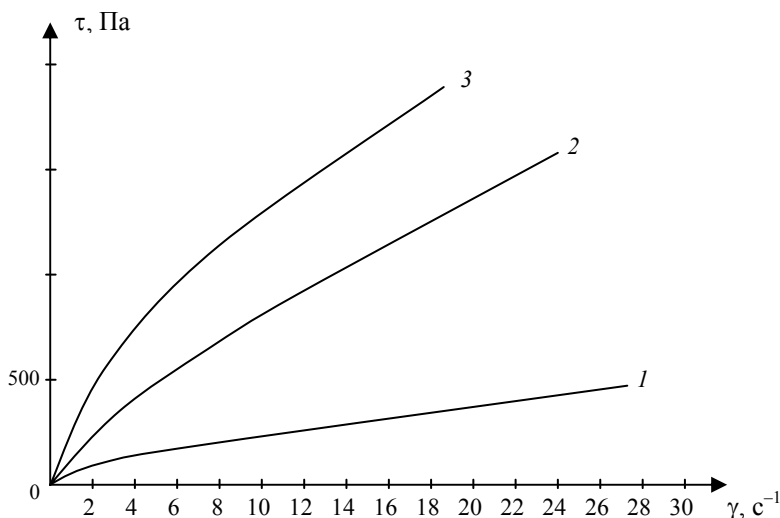


Рис. 2 Зависимость касательного напряжения от скорости сдвига для синтетического каучука "Структурол"

1500 После вычисления коэффициента консистенции m и индекса течения n становится возможным определение теплофизических характеристик в потоке вязкого жидкого неньютоновского материала в кольцевом зазоре между цилиндрами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Дивин А.Г., Мищенко С.В., Пономарев С.В., Мозгова Г.В. Измерительная установка для определения теплофизических и реологических характеристик полимерных материалов при сдвиговом течении // Теплофизические измерения при контроле и управлении качеством: Материалы Пятой Междунар. теплофизической школы: В 2 ч. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. Ч. 1. 298 с.

2 Мозгова Г.В., Дивин А.Г., Ходилин С.В. Измерительная установка для исследования зависимости реологических и теплофизических характеристик жидких полимерных материалов от скорости сдвига // Состояние и проблемы измерений: Сб. материалов 9-й Всерос. науч.-техн. конф. МГТУ им. Баумана. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2004.

3 Мищенко С.В., Пономарев С.В., Дивин А.Г., Мозгова Г.В. Измерительное устройство для определения зависимости реологических и теплофизических характеристик жидких полимерных материалов от скорости сдвига // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации: Труды Междунар. науч.-техн. конф. Пенза: Информационно-издательский центр Пенз. гос. ун-та, 2002. 112 с.

4 Дивин А.Г., Мозгова Г.В. Разработка метрологического обеспечения метода и измерительного устройства для определения теплофизических характеристик полимерных материалов при сдвиговом течении // Метрология, стандартизация, сертификация и управление качеством продукции: Программа, материалы школы-семинара молодых ученых. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2003. 300 с.

5 Пономарев С.В., Мищенко С.В. Методы и устройства для измерения эффективных теплофизических характеристик потоков технологических жидкостей: Учеб. пособие для вузов. Тамбов: ТГТУ, 1997. 248 с.

Кафедра "Автоматизированные системы и приборы"

УДК – 517.518.45 (75)

Е.Н. Туголуков, Е.Ю. Филатова

АНАЛИТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ЗАДАЧ СТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Решение ряда прикладных инженерных задач в области процессов и аппаратов химических технологий может быть основано на математическом моделировании температурных полей в рабочих объемах и конструкционных элементах промышленного оборудования.

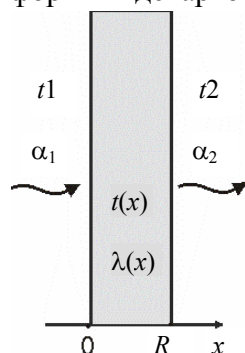
Методология, реализующая представление температурных полей как совокупность полей элементарных областей, моделируемых аналитическими решениями систем линейных дифференциальных уравнений в частных производных, описана в [1, 2].

Использование аналитических решений нелинейных задач теплопроводности существенно расширяет возможности данного подхода и повышает качественные характеристики результатов математического моделирования.

При математическом моделировании температурного поля элементарной области, температурное поле в начале текущего интервала времени известно, поэтому теплопроводность среды, в которой протекает тепловой процесс, формально может быть представлена, как функция пространственных координат, а не температуры. Это дает возможность получить аналитические решения ряда нелинейных задач теплопроводности.

Рассмотрим решение нелинейных задач стационарной теплопроводности для тел канонической формы в декартовых и цилиндрических координатах.

Температурное поле неограниченной пластины (рис. 1) описывается решением следующей задачи теплопроводности:



$$\frac{d}{dx} \left(\lambda(x) \frac{dt(x)}{dx} \right) = 0, \quad 0 \leq x \leq R, \quad (1)$$

$$\lambda(0) \frac{dt(0)}{dx} - \alpha_1 (t(0) - t_1) = 0, \quad (2)$$

$$\lambda(R)\frac{dt(R)}{dx} + \alpha_2(t(R) - t_2) = 0. \quad (3)$$

**Рис. 1 Одно-
слойная неог-
раниченная
пластина**

Здесь $t(x)$ – температурное поле пластины; x – пространственная координата; R – толщина пластины; $\lambda(x)$ – коэффициент теплопроводности пластины как функция координаты; α_1, α_2 – коэффициенты конвективной теплоотдачи; t_1, t_2 – температуры окружающей среды.

Решение задачи (1) – (3) осуществляется путем интегрирования (1)

$$\lambda(x)\frac{dt(x)}{dx} = A. \quad (4)$$

Это уравнение, в свою очередь, также может быть проинтегрировано

$$\int_0^x t'(x) dx = A \int_0^x \frac{dx}{\lambda(x)}. \quad (5)$$

Отсюда получаем общее решение уравнения (1)

$$t(x) = t(0) + A \int_0^x \frac{dx}{\lambda(x)}. \quad (6)$$

Используя граничные условия (2) – (3), находим значения $t(0)$ и A .

В результате

$$t(x) = t_1 + \frac{t_2 - t_1}{\frac{1}{\alpha_1} + \int_0^R \frac{dx}{\lambda(x)} + \frac{1}{\alpha_2}} \left(\frac{1}{\alpha_1} + \int_0^x \frac{dx}{\lambda(x)} \right), \quad (7)$$

где $t(x)$ – искомое распределение температуры по толщине пластины.

Аналогично моделируется поле температур в полном неограниченном цилиндре (рис. 2):

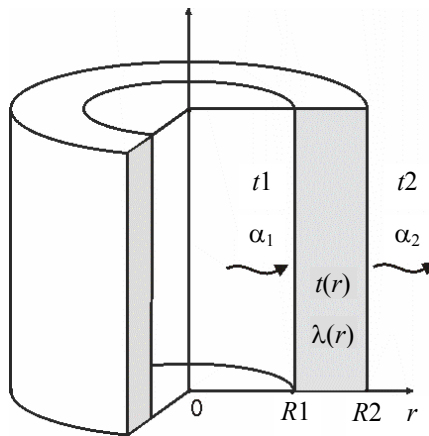
$$\frac{d}{dr} \left(\lambda(r)r \frac{dt(r)}{dr} \right) = 0, \quad (8)$$

$$R_1 \leq r \leq R_2,$$

$$\lambda(R_1)\frac{dt(R_1)}{dr} - \quad (9)$$

$$-\alpha_1(t(R_1) - t_1) = 0,$$

$$\lambda(R_2)\frac{dt(R_2)}{dr} + \alpha_2(t(R_2) - t_2) = 0. \quad (10)$$



Здесь $t(r)$ – температурное поле цилиндра; r – пространственная координата; R_1, R_2 – соответственно внутренний и наружный радиусы цилиндра; $\lambda(r)$ – коэффициент теплопроводности цилиндра как функция координаты; α_1, α_2 – коэффициенты конвективной теплоотдачи; t_1, t_2 – температуры окружающей среды.

Решение задачи (8) – (10) осуществляется путем интегрирования (8)

$$\lambda(r)r \frac{dt(r)}{dr} = A. \quad (11)$$

Это уравнение, в свою очередь, также может быть проинтегрировано

$$\int_{R1}^r t'(r) dr = A \int_{R1}^r \frac{dr}{r\lambda(r)}. \quad (12)$$

Отсюда получаем общее решение уравнения (8):

$$t(r) = t(R1) + A \int_{R1}^r \frac{dr}{r\lambda(r)}. \quad (13)$$

Используя граничные условия (9) – (10), находим значения $t(R1)$ и A .

В результате

$$t(r) = t1 + \frac{t2 - t1}{\frac{1}{\alpha_1 R1} + \int_{R1}^{R1} \frac{dr}{r\lambda(r)} + \frac{1}{\alpha_2 R2}} \left(\frac{1}{\alpha_1 R1} + \int_{R1}^r \frac{dr}{r\lambda(r)} \right). \quad (14)$$

Полученные аналитические решения нелинейных задач стационарной теплопроводности не только имеют самостоятельную прикладную ценность, но и входят в качестве составных частей в аналитические решения соответствующих нелинейных задач нестационарной теплопроводности, работы по получению которых осуществляются авторами в настоящее время.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Туголуков Е.Н. Математическое моделирование термонагруженных процессов и аппаратов многоассортиментных химических производств: Дис. ... д-ра техн. наук. Тамбов, 2004. 400 с.

2 Туголуков Е.Н. Математическое моделирование технологического оборудования многоассортиментных химических производств: Монография. М.: Машиностроение, 2004. 100 с.

*Кафедра "Автоматизированное проектирование
технологического оборудования"
УДК 66.011:678.055.001.24*

*Е.И. Акулинин, А.А. Ермаков**

РЕШЕНИЕ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ МАТЕРИАЛОВ С высоким внутридиффузионным СОПРОТИВЛЕНИЕМ В СРЕДЕ FLEXPDE

МЕТОД МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ШИРОКО ПРИМЕНЯЕТСЯ ДЛЯ РАСЧЕТА И ВЫЯВЛЕНИЯ СПЕЦИФИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ СОРБЦИОННО-ДЕСОРБЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К МАТЕРИАЛАМ С ВЫСОКИМ ВНУТРИДИФФУЗИОННЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ. ОПИСАНИЕ ДИФФУЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ТАКИХ МАТЕРИАЛАХ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ ПУТЕМ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ, ПРЕДСТАВЛЯЮЩЕЙ СОБОЙ СИСТЕМУ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ В ЧАСТНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ, А ОБЩАЯ ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАЧИ ПРОТЕКАНИЯ НЕСТАЦИОНАРНОГО СОРБЦИОННО-ДЕСОРБЦИОННОГО ПРОЦЕССА НА ЕДИНИЧНОМ ОБЪЕКТЕ СВОДИТСЯ К СОВМЕСТНОМУ РЕШЕНИЮ УРАВНЕНИЙ ТЕПЛО- И МАССОПРОВОДНОСТИ, КОТОРЫЕ ФОРМУЛИРУЮТСЯ СЛЕДУЮЩИМ ОБРАЗОМ:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \nabla(D(T, C)\text{grad}(C)); \quad (1)$$

*Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. С.И. Дворецкого и при финансовой поддержке программы Министерства образования и науки РФ и государственного фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере – "Ползуновские гранты".

$$c(T, C)\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla(\lambda(T, C)\text{grad}(T)); \quad (2)$$

с начальными при $\tau = 0$

$$C(r, 0) = C_n; \quad (3)$$

$$T(r, 0) = T_n \quad (4)$$

и граничным условиями при $\tau > 0$ и $l = R$

$$\frac{\partial C}{\partial n}(R, \tau) = \beta(C_n - C); \quad (5)$$

$$\frac{\partial T}{\partial n}(R, \tau) = \alpha(T_n - T), \quad (6)$$

где C – концентрация влаги в материале; T – температура; D – коэффициент диффузии; λ – коэффициент теплопроводности; $c(T, C)$ – удельная теплоемкость; ρ – плотность; R – радиус частицы; C_n – равновесное значение концентрации в материале; T_n – температура на границе частицы; α – коэффициент теплоотдачи; β – коэффициент массоотдачи.

Решение этой задачи в аналитическом виде для материалов с большим внутридиффузионным сопротивлением невозможно, ввиду сложной взаимосвязи $D(T, C)$ и $\lambda(T, C)$ [1, 2]. Поэтому используются численные методы, реализующие конечно-разностные схемы расчета [3, 4].

Наиболее эффективным и производительным методом решения подобных задач и реализации конечно-разностных схем расчета, на наш взгляд, является применение специализированных системных пакетов и в частности, FlexPDE.

FlexPDE – программа, предназначенная для построения сценарных моделей решения дифференциальных уравнений методом Ньютона – Рафсона [3]. По сценарию, написанному пользователем, FlexPDE производит операции, необходимые для преобразования системы дифференциальных уравнений в частных производных в дискретную модель для расчета методом конечных элементов, нахождения решения этой системы и представления результатов в графической форме. Таким образом, FlexPDE выполняет роль вычислительной среды, в которой заключен полный набор функций, необходимых для реализации:

- функции редактирования при подготовке сценариев;
- генератора сеток конечных элементов;
- функции подбора конечных элементов при поиске решения;
- графических функций представления результатов решения.

FlexPDE не ограничивает пользователя заранее заданным списком прикладных задач или видов уравнений. Выбор вида дифференциальных уравнений в частных производных полностью определяется пользователем.

Язык сценария позволяет пользователю формализовать систему дифференциальных уравнений в частных производных и структуру области решений в естественном формате. Реализация метода осуществляется в следующем порядке: 1) задаются переменные задачи (температура и концентрация); 2) вспомогательные переменные задачи (плотность, коэффициенты диффузии, теплопроводности, и т.д.); 3) уравнения, описывающие процесс; 4) область решения; 5) формируются начальные и граничные условия; 6) описывается формат вывода результатов расчета.

Пример реализации решения нестационарной задачи сушки единичной частички зерновой культуры [3] во FlexPDE иллюстрирует ниже приведенный программный код (листинг 1).

Листинг 1.

```
TITLE 'cilindr ' {Заголовок печатаемый на графиках}
COORDINATES cartesian3
```

```

VARIABLES {Переменные задачи} Temp C
DEFINITIONS {Константы и расчетные уравнения} r1=0.002 {Радиус частицы} tempg=45 {темпера-
тура газа} B1=20 ci=884+(31.5*(C/(C+1)))+(0.7*temp)+(0.279*(C/(C+1))*temp) rom=1375
lambda=0.108+(0.00125*(C/(C+1))) Cr=4.1961*exp(-1.1018*ln(temp)) D1=(0.000006*temp*temp)-
(0.0003*temp)+0.0054 D2=(0.0002*temp*temp)-(0.012*temp)+0.2203
D3=(0.0041*temp*temp)-(0.2234*temp)+4.1108
D = 0.00000000001*((D1*(C*C))-(D2*C)+D3) V=(3.14*r1^2)*0.004
INITIAL VALUES {Начальные условия} temp=20 C=0.185
EQUATIONS {расчетные уравнения}
temp: div((lambda/(ci*rom))*grad(temp))=dt(temp)
C: dw(D*grad(C)) = dt(C)
EXTRUSION {Построение области решения}
SURFACE "Bottom" z=0
LAYER "Everything"
SURFACE "Top" z=0.004
BOUNDARIES {Задание граничных условий}
SURFACE "Bottom" natural(C)=Bi*(Cr-C) natural(temp)=Bi*(tempg-temp)
SURFACE "Top" natural(C)=Bi*(Cr-C) natural(temp)=Bi*(tempg-temp)
region 1 start (r1,0)
LAYER "Everything" natural(C)=Bi*(Cr-C) natural(temp)=Bi*(tempg-temp) arc(center=0,0) angle=360
to finish time 0 to 1800
PLOTS for cycle=1 {Вывод промежуточных результатов расчета} contour(C) on Z=0.002 as "Capacity
drying (g/g)"
contour (temp) on Z=0.002 as "Temperature drying (C)"
HISTORIES {Вывод кинетики сушки и нагрева частицы}
history(Vol_INTEGRAL (C/V,1)) as "Capacity drying (g/g)"
history(Vol_INTEGRAL (temp/V,!)) as "Temperature drying (C)"
END

```

В качестве основных выводов по практике применения пакета FlexPDE к решению краевой задачи для материалов с большим диффузионным сопротивлением можно отметить следующее:

- сценарий полностью описывает систему уравнений и область решений, так что нет никакой неопределенности относительно того, какие именно уравнения решаются;
- новые переменные, новые уравнения или новые условия могут легко добавляться в сценарий;
- коэффициенты диффузии и теплопроводности легко задаются в виде функций от концентрации сорбата и температуры материала, в том числе и в случае аномальных зависимостей;
- система дифференциальных уравнений может быть стационарной или зависимой от времени;
- уравнения могут быть линейными или нелинейными;
- может быть задано любое количество геометрических областей для решения с различными свойствами материала;
- сравнение результатов численного эксперимента с экспериментальными данными [2] показывает, что рассогласование не превышает 10 %;

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Рудобашта С.П. Массоперенос в системах с твердой фазой. М.: Химия, 1980. 248 с.
- 2 Дворецкий С.И., Дмитриев В.М., Пестрецов С.И., Кормильцин Г.С., Ермаков А.А. Исследование кинетики сушки зерновых культур: Вестник Тамбовского государственного технического университета, 2002. Т. 8. Вып. 4. С. 228 – 240.
- 3 Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнение математической физики. 6-е изд. М.: Изд-во Моск. гос.

ун-та, 1999. 654 с.

4 Пасконов В.М., Полежаев В.И., Чудов Л.А. Численное моделирование процессов тепло и массо-бомена. М.: Наука, 1978. 543 с.

КАФЕДРА "ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ"

УДК 669.621.041

*С.В.Л. ФРОЛОВ**

МЕТОД МОНТЕ-КАРЛО В ЗАДАЧАХ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛУЧИСТОГО ТЕПЛООБМЕНА

Преобладающим видом теплообмена в топках котлов и в рабочем пространстве высокотемпературных пламенных печей является лучистый теплообмен. Строгое математическое описание процессов лучистого теплообмена возможно на базе интегральных уравнений Фредгольма второго рода, составленных для плотности потока того или иного вида излучения. Точное решение указанных интегральных уравнений даже для сравнительно простых излучающих систем представляет собой трудную задачу, которая в значительной мере усложняется для условий промышленных теплотехнических агрегатов.

Из-за наличия сопутствующих процессов переноса сложный теплообмен обладает большой физической и математической сложностью по сравнению с чисто радиационным переносом: увеличивается число уравнений и число неизвестных величин, описывающих процесс; система уравнений, описывающих теплообмен, становится резко нелинейной. Методы решения нелинейных уравнений недостаточно разработаны в современной математике, что усложняет аналитические исследования сложного теплообмена.

Разработке точных методов расчета препятствует также сложный характер излучаемого спектра участвующих в теплообмене тел, наличие переменных по объему рабочего пространства оптических характеристик и температур. В связи с этим, большое значение приобрели разработка и использование приближенных методов решения задач сложного теплообмена применительно к условиям котельных агрегатов и пламенных печей. Практика показала, что наиболее приемлемым и перспективным с точки зрения расчетно-теоретического анализа тепловой работы теплотехнических установок являются зональные методы. В свое время было разработано несколько схем расчета с целью эффективного применения зонального метода к различным теплотехническим задачам. Эти схемы характеризуются различием математической записи выражений, аппроксимирующих интегральные уравнения излучения, последовательностью и способами их решения [1 – 3]. При определении лучистой составляющей зональных уравнений теплового баланса в нашей стране распространена расчетная схема, использующая введенные Ю.А. Суриновым разрешающие угловые коэффициенты излучения [4]. В общем виде, для каждой из n поверхностных и m объемных зон можно записать соответствующее нелинейное уравнение теплового баланса и теплопередачи

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{n+m-1} A_{ij}^{\Sigma} T_i^4 - A_{jj}^{\Sigma} T_j^4 + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{l_j} g_{ij} T_i - g_{jj} T_j + Q_j = 0. \quad (1)$$

В такой форме запись уравнения впервые была предложена В.Г. Лисиенко [5]. В этом уравнении первые два слагаемых представляют собой результирующий радиационный тепловой поток для зоны j , равный разности между теплом, поглощенным данной зоной j вследствие лучистого переноса из других зон $i Q_{\text{погл } j}$, и собственным излучением $j Q_{\text{погл } j}$. Третье и четвертое слагаемые представляют собой величину результирующего теплообмена данной зоны j с соседними зонами i в результате переноса тепла с движущейся средой, конвективного теплопереноса и теплопередачи через поверхностные зоны; последнее слагаемое – количество тепла подводимое извне. Входящие в уравнение (1) коэффициенты радиационного теплообмена A_{ij}^{Σ} и A_{jj}^{Σ} (Вт/К⁴) между соответствующими зонами могут быть записаны в следующем виде:
для объемных излучающих зон i

*Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. С.В. Фролова.

$$A_{ij}^{\Sigma} = \frac{4V_i}{T_i^4} \int_0^{\infty} K_i^{\lambda} f_{ij}^{\lambda} E_{0i}^{\lambda} d\lambda \quad \text{при } i \neq j;$$

$$A_{jj}^{\Sigma} = \frac{4V_j}{T_j^4} \int_0^{\infty} K_j^{\lambda} (1 - f_{jj}^{\lambda}) E_{0j}^{\lambda} d\lambda \quad \text{при } i = j;$$

для поверхностных излучающих зон i

$$A_{ij}^{\Sigma} = \frac{F_i}{T_i^4} \int_0^{\infty} \varepsilon_i^{\lambda} f_{ij}^{\lambda} E_{0i}^{\lambda} d\lambda \quad \text{при } i \neq j;$$

$$A_{jj}^{\Sigma} = \frac{F_j}{T_j^4} \int_0^{\infty} \varepsilon_j^{\lambda} (1 - f_{jj}^{\lambda}) E_{0j}^{\lambda} d\lambda \quad \text{при } i = j.$$

Здесь f_{ij}^{λ} – доля энергии излучения, перенесенной из зоны i в зону j в узком интервале длин волн $d\lambda$ в окрестности длины волны λ с учетом возможного многократного переизлучения энергии поверхностными зонами и поглощения в объемных.

Особенностью системы уравнений с разрешающими угловыми коэффициентами излучения является простота формы записи и универсальность уравнений. Взаимный баланс лучистых и конвективных членов в выражении (1) позволяет учесть совместное тепловое взаимодействие конвекции и излучения. Точность такого подхода исследовалась относительно точной постановки задачи радиационно-конвективного теплообмена [6], где было показано, что погрешность зонального расчета на участках, где наиболее сильно проявляется взаимодействие конвекции и излучения, не превышает 7 % при определении результирующих потоков и 2 % при нахождении распределений температуры.

Существующие методы расчета теплообмена в некоторых практически важных случаях не позволяют детально проанализировать влияние тех или иных параметров теплового режима и конструкции энергоустановки на процессы теплопередачи. В этих условиях использование приближенных зональных методов наталкивается на ряд трудностей, связанных с учетом неоднородности оптических характеристик среды, а также сложной геометрии поверхностей и объемов при вычислении коэффициентов радиационного теплообмена. Большими возможностями при разрешении указанных трудностей обладает метод статистических испытаний (Монте-Карло). Приоритет статистическому методу обеспечивают возможности отказа от многих допущений типа предположений о черных, серых, диффузионных или зеркальных поверхностях, а также о прозрачных, серых или изотермических газах. Преимущества метода Монте-Карло перед другими методами при исследовании геометрически сложных систем сводятся к двум основным: менее сложен математический аппарат геометрических преобразований; ясная физическая интерпретация рассматриваемых задач делает процесс программирования более наглядным и легко контролируемым в стадии отладки программы.

При изучении и совершенствовании алгоритма было показано [7], что при задании в модели диффузионного закона излучения и отражения, а также при условии изотропности излучения в объеме с целью экономии машинного времени целесообразно использовать метод Монте-Карло лишь для определения обобщенных угловых коэффициентов ψ_{ij} , осуществляя последующий переход к разрешающим угловым коэффициентам f_{ij}^{λ} с помощью решения системы линейных алгебраических уравнений. Обобщенный угловой коэффициент излучения ψ_{ij} определяет долю лучистого потока, попадающего на облучаемую зону j , от всего лучистого потока, излучаемого i -ой зоной. Такой двухэтапный подход к определению разрешающих угловых коэффициентов дает высокую эффективность использования метода Монте-Карло.

Метод статистических испытаний заключается в проведении серии расчетов: частную выборку из всей совокупности случайных процессов излучения, переноса и поглощения энергии. Один расчет будет состоять из следующих основных этапов:

- 1 Случайный выбор излучающей точки внутри излучающей зоны.
- 2 Случайный выбор направления излучения.
- 3 Определение отрезков траектории потока выбранного направления до встречи с ограничивающей поверхностью.
- 4 Определение доли лучистой энергии, дошедшей до облучаемой зоны.

Подходя к вопросу программной реализации данного метода, в настоящее время необходимо опираться на достижения в области систем компьютерной математики (СКМ). Здесь, работа с большим

объемом однотипных данных в процессе расчета и их представление в матричной форме, а также, решение линейных и нелинейных уравнений наталкивают нас на выбор соответствующей системы – Mat- Lab. Он представляет собой хорошо апробированную и надежную СКМ, рассчитанную на решение самого широкого круга математических задач с представлением данных в универсальной матричной форме, предложенной фирмой Math Works, Inc. Имея в настоящее время достаточные вычислительные ресурсы, гибкие и универсальные средства написания алгоритмов, задача такого класса эффективно реализуется на ЭВМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Невский А.С. Лучистый теплообмен в печах и топках. 2-е изд., испр. и доп. М.: Metallurgy, 1971. 440 с.
- 2 Спэрроу Э.М., Сесс Р.Д. Теплообмен излучением. Л.: Энергия, 1971. 296 с.
- 3 Зигель Р., Хауэлл Дж. Теплообмен излучением. М.: Мир, 1975. 936 с.
- 4 Суринов Ю.А. Об итерационно зональном методе исследования и расчета локальных характеристик лучистого теплообмена. Теплофизика высоких температур // Инженерно-физический журнал, 1972. Т. 10. № 4. С. 844 – 852.
- 5 Лисиенко В.Г., Волков В.В., Гончаров А.Л. Математическое моделирование теплообмена в печах и агрегатах. Киев: Наук. думка, 1984. 232 с.
- 6 Щербинин В.И., Боковикова А.Х., Шкляр Ф.Р. Взаимодействие излучения и конвекция при сложном теплообмене в коротком канале // Инженерно-физический журнал, 1974. Т. 26. № 2. С. 238 – 244.
- 7 Журавлев Ю.А., Лисиенко В.Г., Китаев Б.И. Совершенствование алгоритма зонального расчета теплообмена в пламенной печи // Инженерно-физический журнал, 1971. Т. 21. № 5. С. 829 – 835.

Кафедра "Информационные процессы управления"

УДК 621.3.019.3 + 303.064

*Д.В. Игнатов**

ЗАДАЧА АВТОМАТИЗАЦИИ ОЦЕНКИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ПРОЦЕССОРНЫХ СРЕДСТВ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Одной из важнейших характеристик качества любого устройства является его надежность. Для средств измерений, и в том числе для процессорных средств (ПрС) теплофизических измерений (ТФИ), особое значение имеет обеспечение их метрологической надежности (МН). Причиной этого является то, что метрологический отказ, в отличие от обычного отказа, является скрытым, обнаруживаемым только при проведении очередной метрологической поверки.

Существует обобщенная методика оценки МН ПрС ТФИ, основанная на аналитико-вероятностном подходе к определению показателей МН проектируемых средств с использованием принципов статистического моделирования, изложенная в [1, 2]. Эта методика охватывает как этап проектирования, так и этап эксплуатации.

Методика распространяется на аналоговые устройства (блоки, модули и т.д.), построенные на радиоэлектронных элементах, и составляющих измерительный канал. Так как МН ПрС ТФИ в целом определяется метрологической исправностью аналоговых блоков измерительного канала исследуемого средства, то методика определяет алгоритм оценки состояния метрологических характеристик (МХ) аналоговых блоков, составляющих ПрС ТФИ.

В качестве исходных данных, как определено в [1], предполагаются известными: технические описания, функциональные и электрические схемы аналоговых блоков, элементная база и данные о ее температурно-временной стабильности.

Методика оценки и прогнозирования МН при проектировании и эксплуатации ПрС ТФИ состоит из следующих разделов:

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. Т.И. Чернышовой.

– оценка и прогнозирование состояния МХ аналоговых блоков на этапе проектирования, включающее в себя математическое моделирование функционирования исследуемых блоков и построение математической модели МХ для прогнозирования метрологической исправности и МН проектируемых ПрС ТФИ с учетом температурного режима эксплуатации блоков и средств в целом;

– разработка исходных данных для оценки состояния МХ блоков ПрС ТФИ в процессе эксплуатации, а именно определение величин межповерочных интервалов $\Delta t_i, i = 1, 2, \dots, n$, где n – номер межповерочного интервала, необходимого количества измерений N метрологической характеристики проверяемого ПрС ТФИ, а также расчет необходимого первоначального объема выборки N_0 при экспериментальных исследованиях блоков;

– оценка и прогнозирование состояния МХ блоков ПрС ТФИ на этапе эксплуатации.

Схема алгоритма, определяющего основные разделы методики, представлены на рис. 1.

Результатом прогнозирования является формирование вероятностного суждения о метрологической исправности исследуемых средств в заданный момент времени предстоящей эксплуатации, либо определение с некоторой вероятностью момента наступления метрологического отказа и величины метрологического ресурса.

Для широкого внедрения данной методики в практику проектирования и эксплуатации ПрС ТФИ необходимо программное обеспечение, которое делает возможным проектирование ПрС с оценкой их МН, а также позволит оптимизировать проведение поверочных работ на этапе эксплуатации.

На кафедре КРЭМС Тамбовского государственного технического университета ведется разработка такого программного обеспечения (программного пакета), реализующего описанную методику. Разработка производится в среде визуального проектирования C++ Builder фирмы Inprise Corp. с использованием языка высокого уровня C++.

Программный пакет построен таким образом, что его необходимо использовать совместно с традиционными САПР электронных средств, в частности САПР электрических схем (например, PSpice) и печатных плат (например, OrCAD). Пакет состоит из двух частей, каждая из которых относится к этапу проектирования и эксплуатации соответственно.

На этапе проектирования производится подготовка исходных данных для математического модели-

рования состояния МХ проектируемых блоков, само математическое моделирование и прогнозирование

метрологического ресурса блока с учетом температурного режима его эксплуатации. В результате

работы первой части пакета получается математическая модель процесса изменения МХ блока

во времени и потенциальный метрологический ресурс блока при различных температурных режимах

его эксплуатации. По этим результатам можно судить о соответствии проектируемого блока, его

электрической схемы и элементной базы требованиям к его метрологической стабильности. Таким

образом, эта часть пакета реализует первые пять блоков схемы, изображенной на рис. 1.

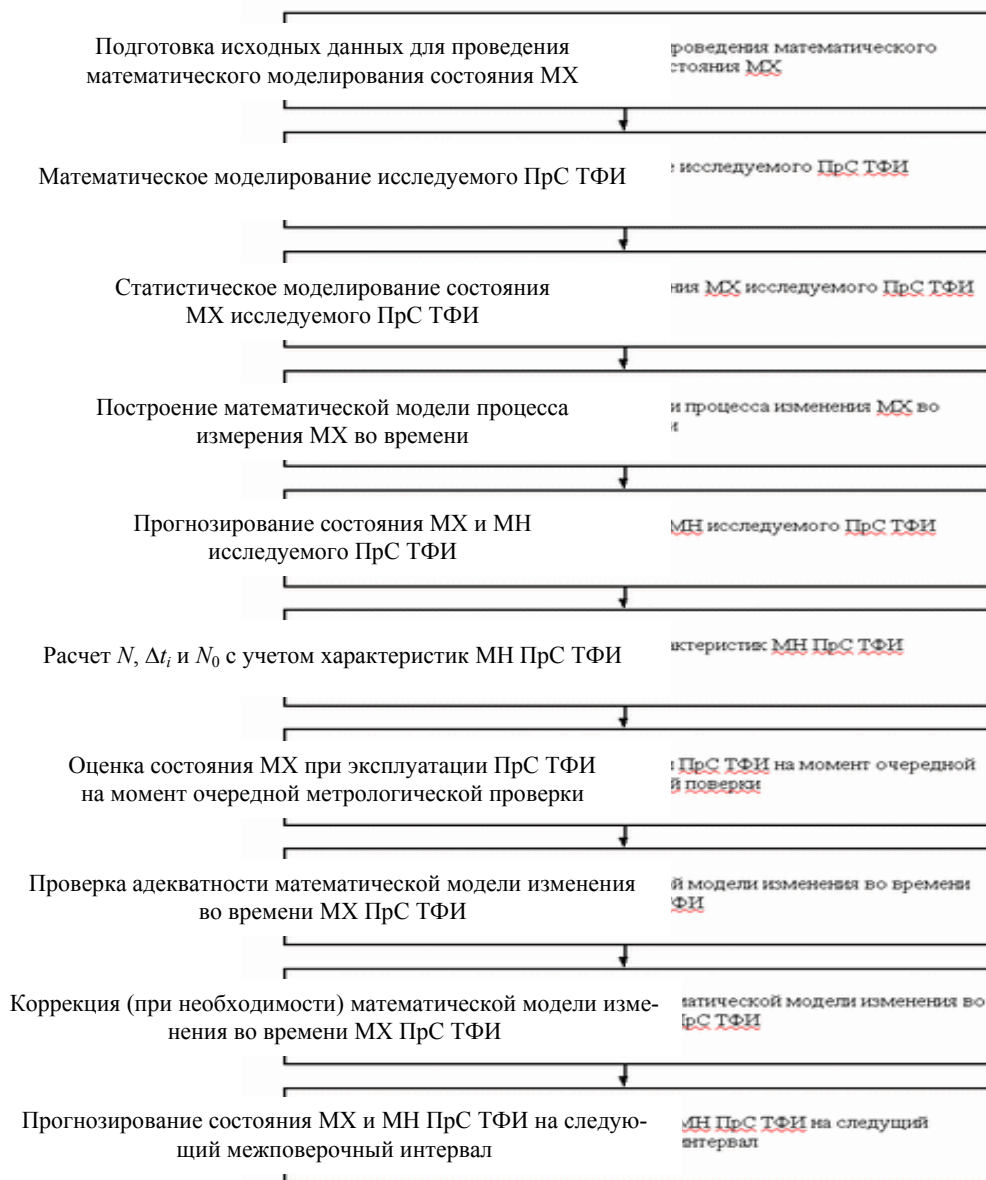


Рис. 1 Обобщенная методика оценки метрологической надежности ПрС ТФИ

На этапе эксплуатации вторая часть пакета позволяет автоматизировать решение таких насущных задач, как определение длительности следующего межповерочного интервала и необходимого числа измерений значения МХ при проведении поверки. При этом используются полученные на этапе проектирования математические модели процессов изменения МХ блоков поверяемого ПрС ТФИ. Кроме того, для проверки адекватности полученной модели и проведения натуральных испытаний ПрС на метрологическую стабильность, вторая часть пакета позволяет определить минимально необходимый объем выборки испытываемых средств. Этой частью пакета реализуются оставшиеся блоки схемы алгоритма методики оценки МН (рис. 1).

Дальнейшее развитие описанного программного пакета предполагает реализацию в нем поддержки принятия решений о выборе пути повышения МН блока при ее недостаточном уровне и о подборе соответствующей требуемой метрологической стабильности блока элементной базы.

Применение данного программного пакета при проектировании и эксплуатации ПрС ТФИ повысит качество проектируемых средств, а также поможет оптимизировать временные и финансовые затраты на проведение поверочных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Мищенко С.В., Цветков Э.И., Чернышова Т.И. Метрологическая надежность измерительных средств. М.: Машиностроение-1, 2001. 96 с.

2 **ЧЕРНЫШОВА Т.И., ИГНАТОВ Д.В. ОЦЕНКА МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ПРОЦЕССОРНЫХ СРЕДСТВ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ С УЧЕТОМ УСЛОВИЙ**

УДК 621.43:629.114.2:62

С.В. Кочергин, П.А. Телегин *

КАЧЕСТВЕННОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ЭЛЕКТРО- НАГРЕВАТЕЛЯ

ОДНИМ ИЗ СПОСОБОВ ПРЕДПУСКОВОГО ПОДОГРЕВА ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ НИЗКИХ
 ТЕМПЕРАТУРАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ (НИЖЕ 0 °С), ЯВЛЯЕТСЯ ЭЛЕКТРОНАГРЕВ С
 ТЕРМОСИФОННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ (ОЖ) ПО

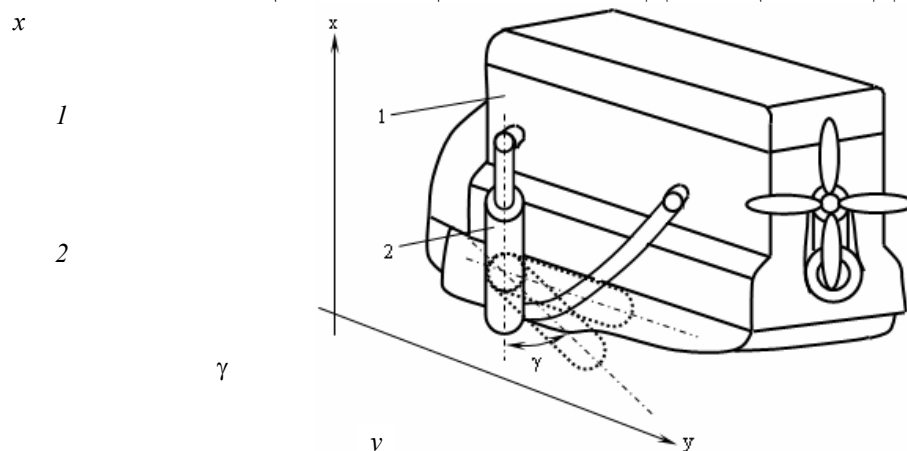


РИС. 1 РАСПОЛОЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ДВИГАТЕЛЯ:
 1 – ДВИГАТЕЛЬ; 2 – ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬ

ЗАМКНУТОМУ КОНТУРУ: "СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ – НАГРЕВАТЕЛЬ". ЭТИ ТЕЧЕНИЯ
 НАЗЫВАЕМЫЕ ТАКЖЕ ЕСТЕСТВЕННО- ИЛИ СВОБОДНОКОНВЕКТИВНЫМИ, ВОЗНИ-
 КАЮТ ВСЛЕДСТВИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ПЛОТНОСТИ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ ПРОЦЕССАМИ
 ТЕПЛО- И МАССООБМЕНА В ПОЛЕ ГРАВИТАЦИОННЫХ СИЛ.

С ЦЕЛЮ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА НЕОБХОДИМО ОБОС-
 НОВАТЬ СПОСОБ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЯ: ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ,
 ВЕРТИКАЛЬНОЕ ИЛИ НАКЛОННОЕ (РИС. 1).

В ОБЩЕМ СЛУЧАЕ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬ ПРЕДСТАВЛЯЕТ СОБОЙ ПОЛЫЙ ЦИ-
 ЛИНДР С ИЗОТЕРМИЧЕСКИ НАГРЕТОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ. НАГРЕВАЕМУЮ ЖИД-
 КОСТЬ МОЖНО ПРЕДСТАВИТЬ КАК ЖИДКОСТЬ С ПОСТОЯННЫМИ ФИЗИЧЕСКИМИ
 СВОЙСТВАМИ, ЗА ИСКЛЮЧЕНИЕМ ПЛОТНОСТИ. ВЯЗКОЙ ДИССИПАЦИЕЙ МОЖНО
 ПРЕНЕБРЕЧЬ, ТАК КАК ПРИ РАЗОГРЕВЕ ОЖ ОТСУТСТВУЮТ БОЛЬШИЕ УСКОРЕНИЯ
 И СИЛЬНЫЕ ГРАВИТАЦИОННЫЕ ПОЛЯ. ТАКЖЕ БУДЕМ СЧИТАТЬ, ЧТО В ПОТОКЕ
 ОТСУТСТВУЮТ ВНУТРЕННИЕ ИСТОЧНИКИ ТЕПЛА.

СОГЛАСНО СКАЗАННОМУ, В ПРИБЛИЖЕНИИ БУССИНЕСКА УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕ-
 НИЯ В СЛУЧАЕ ДВУМЕРНОГО ТЕЧЕНИЯ ИМЕЮТ ВИД

$$V_x \frac{\partial V_x}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_x}{\partial y} = g\beta(t - t_a) \cos \gamma - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P_d}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 V_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_x}{\partial y^2} \right); \quad (1)$$

$$V_x \frac{\partial V_y}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_y}{\partial y} = g\beta(t - t_a) \sin \gamma - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P_d}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 V_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_y}{\partial y^2} \right), \quad (2)$$

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

где V_x, V_y – компоненты вектора скорости V ; g – ускорение силы тяжести; β – коэффициент объемного теплового расширения; t, t_a – температура пограничного слоя и температура окружающей среды; γ – угол между касательной к поверхности электронагревателя и вертикалью; P_d – давление, связанное с движением жидкости.

КАК ВИДНО ИЗ ВЫРАЖЕНИЯ (1) И (2), УГОЛ Γ ОКАЗЫВАЕТ ВЛИЯНИЕ НА СКОРОСТЬ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ.

ПРИ ВЕРТИКАЛЬНОМ РАСПОЛОЖЕНИИ ЦИЛИНДРА $\Gamma = 0 \rightarrow \cos\Gamma = 1$. В РЕЗУЛЬТАТЕ НАГРЕВА ВОЗНИКАЕТ РАЗНОСТЬ ПЛОТНОСТЕЙ ОЖ МЕЖДУ ХОЛОДНЫМИ И ГОРЯЧИМИ СЛОЯМИ. ПРИ ЭТОМ ГОРЯЧИЕ СЛОИ ПОДНИМАЮТСЯ ВВЕРХ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВЫТАЛКИВАЮЩЕЙ СИЛЫ В НАПРАВЛЕНИИ x . РЕШАЯ УРАВНЕНИЕ (1) СОВМЕСТНО С УРАВНЕНИЯМИ НЕРАЗРЫВНОСТИ И ЭНЕРГИИ МЕТОДОМ ПЕРЕМЕННОЙ ПОДОБИЯ, УРАВНЕНИЯ МОЖНО ПРЕДСТАВИТЬ В ВИДЕ ОБЫКНОВЕННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ:

$$2f'' + ff'' = 0; \quad (3)$$

$$\theta'' + \frac{\text{Pr}}{2} f\theta' = 0; \quad (4)$$

С ГРАНИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ

$$f(0) = f'(0) = 1 - f'(\infty) = 1 - \theta(0) = \theta(\infty) = 0, \quad (5)$$

ГДЕ F – БЕЗРАЗМЕРНАЯ ФУНКЦИЯ ТОКА; Θ – БЕЗРАЗМЕРНАЯ ТЕМПЕРАТУРА.

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ (3) – (5) ДАЕТ ПРОФИЛИ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ ОЖ ДЛЯ ДВУХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТенок ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЯ (РИС. 2)

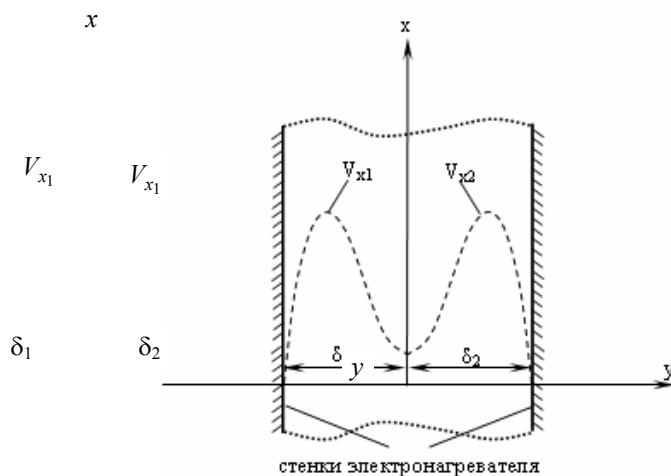


РИС. 2 РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ПРИ ВЕРТИКАЛЬНОМ РАСПОЛОЖЕНИИ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЯ

СКОРОСТЬ ТЕЧЕНИЯ БУДЕТ ЗАВИСЕТЬ ОТ ВЕЛИЧИНЫ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ Δ И ЗАПИШЕТСЯ СЛЕДУЮЩИМ ОБРАЗОМ:

$$\bar{V}_{x_1} = \frac{1}{\delta_1} \int_0^{\delta_1} V_{x_1} dy = \frac{\rho_0 g \beta \vartheta_c \delta_1^2}{4\mu}; \quad (6)$$

$$\bar{V}_{x_2} = \frac{1}{\delta_2} \int_0^{\delta_2} V_{x_2} dy = \frac{\rho_0 g \beta \vartheta_c \delta_2^2}{4\mu}; \quad (7)$$

$$\bar{V}_x = \frac{\bar{V}_{x_1} + \bar{V}_{x_2}}{2}, \quad (8)$$

ГДЕ ρ_0 – ПЛОТНОСТЬ ОЖ; ϑ_c – ИЗБЫТОЧНАЯ ТЕМПЕРАТУРА; \bar{v}_x – СРЕДНЯЯ ИНТЕГРАЛЬНАЯ СКОРОСТЬ ПОТОКА ОЖ ПО СЕЧЕНИЮ ЦИЛИНДРА ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЯ.

ПРИ НАКЛОНЕ ПОВЕРХНОСТИ ЦИЛИНДРА ОТНОСИТЕЛЬНО ВЕРТИКАЛИ НА УГОЛ γ ПРОИЗОЙДЕТ ИЗМЕНЕНИЕ ВЕЛИЧИН Δ_1 И Δ_2 , А ЗНАЧИТ, ИЗМЕНИТСЯ И ХАРАКТЕР ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ. В ЭТОМ СЛУЧАЕ, ОПИРАЯСЬ НА УРАВНЕНИЯ (1) И (2) СОГЛАСНО ПРИБЛИЖЕНИЮ ВЛИТА [1], СКОРОСТЬ КОНВЕКЦИИ МОЖНО ВЫРАЗИТЬ, КАК

$$V_c = \sqrt{\frac{\nu^2 Gr \cos \gamma}{L^2}}, \quad (9)$$

ГДЕ ν – КОЭФФИЦИЕНТ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ; Gr – ЧИСЛО ГРАСГОФА; L – ВЫСОТА ЦИЛИНДРА ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЯ.

СОГЛАСНО ВЫРАЖЕНИЮ (9) ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ УГЛА γ ОТНОСИТЕЛЬНО ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОСИ, ПРОИСХОДИТ СНИЖЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕНА В КОНТУРЕ "СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ – НАГРЕВАТЕЛЬ".

ПРИ ГОРИЗОНТАЛЬНОМ РАСПОЛОЖЕНИИ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЯ ХАРАКТЕР ТЕЧЕНИЯ ОЖ ВНУТРИ НАГРЕТОГО ЦИЛИНДРА ПРИ СВОБОДНОКОНВЕКТИВНОМ ТЕПЛООБМЕНЕ ПРЕДСТАВЛЯЕТ СОБОЙ СЛОЖНУЮ КАРТИНУ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТЕЧЕНИЙ, ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ КОТОРОЙ КРАЙНЕ ЗАТРУДНИТЕЛЬНО. НО ЕСЛИ ВОСПОЛЬЗОВАТЬСЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ДАННЫМИ ИССЛЕДОВАНИЙ [2 – 4], В КОТОРЫХ БЫЛИ РАССМОТРЕНЫ СЛУЧАИ НАГРЕВА ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ПЛАСТИН КАК БЕСКОНЕЧНОЙ, ТАК И КОНЕЧНОЙ ДЛИНЫ ПРИ НАГРЕВЕ В РАЗЛИЧНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ И СИНТЕЗИРОВАТЬ ПОЛУЧЕННЫЕ ДАННЫЕ, ТО ХАРАКТЕР ТЕЧЕНИЙ БУДЕТ ИМЕТЬ СЛЕДУЮЩУЮ КАРТИНУ (РИС. 3).

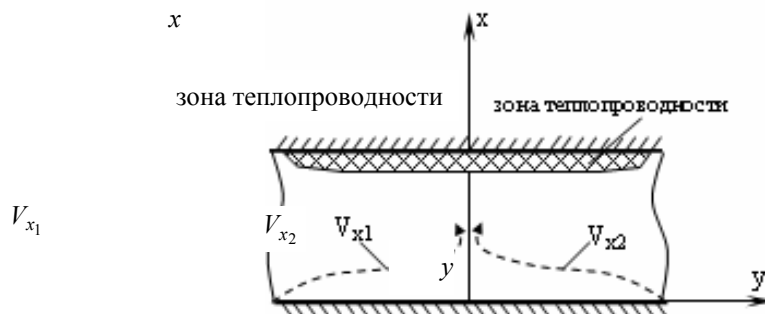


РИС. 3 РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ПОТОКА ОЖ ПРИ ГОРИЗОНТАЛЬНОМ РАСПОЛОЖЕНИИ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЯ

В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ЦИЛИНДРА БУДЕТ НАБЛЮДАТЬСЯ УСТОЙЧИВАЯ СТРАТИФИКАЦИЯ, ПРИ КОТОРОЙ БОЛЕЕ ЛЕГКИЕ СЛОИ ЖИДКОСТИ РАСПОЛАГАЮТСЯ ПОД БОЛЕЕ ПЛОТНЫМИ, ПОЭТОМУ КОНВЕКТИВНЫЕ ТОКИ НЕ ОБРАЗУЮТСЯ И ПЕРЕНОС ЭНЕРГИИ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ ТОЛЬКО ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬЮ.

В НИЖНЕЙ ЧАСТИ ТЕЧЕНИЕ ОТ ОБЕИХ КРОМОК РАЗВИВАЕТСЯ ПО НАПРАВЛЕНИЮ К СЕРЕДИНЕ ПРИ ЭТОМ С КАЖДОЙ СТОРОНЫ ОТ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ ВОЗНИКАЮТ ДВА ТЕЧЕНИЯ В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ. ЭТИ ТЕЧЕНИЯ СЛИВАЮТСЯ В СЕРЕДИНЕ И ОБРАЗУЮТ ВОСХОДЯЩИЙ ПОТОК.

В ЭТОМ СЛУЧАЕ ОТСУТСТВУЕТ НАПРАВЛЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ ПОТОКА (ВЕКТОРЫ СКОРОСТЕЙ С ОБЕИХ КРОМОК НАПРАВЛЕННЫ ДРУГ НА ДРУГА). ЭТО В ЗНАЧИТЕЛЬНОЙ СТЕПЕНИ СНИЖАЕТ СКОРОСТЬ ТЕЧЕНИЯ ОЖ В КОНТУРЕ.

СОГЛАСНО ВЫШЕ СКАЗАННОМУ, ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА, А ЗНАЧИТ И ПРЕДУСКОВОГО РАЗОГРЕВА ДВИГАТЕЛЯ, НЕОБХОДИМО ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА. ЭТО ПОДТВЕРЖДАЕТСЯ РЕЗУЛЬТАТАМИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, СО-

ГЛАСНО КОТОРЫМ ПРИ ВЕРТИКАЛЬНОМ РАСПОЛОЖЕНИИ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЯ СКОРОСТЬ ТЕЧЕНИЯ ПРИ ТЕРМОСИФОННОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ УВЕЛИЧИВАЕТСЯ В 1,5...2 РАЗА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 ВЛИТ ДЖ. МЕСТНАЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧА В УСЛОВИЯХ КОНВЕКЦИИ НА НАКЛОННЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ ПРИ ПОДВОДЕ К НИМ ПОСТОЯННОГО ТЕПЛОВОГО ПОТОКА // ТРУДЫ АМЕР. ОБ-ВА ИНЖ.-МЕХ, СЕР. С. ТЕПЛОПЕРЕДАЧА, 1969. № 4.

2 Джалурия И. Естественная конвекция: тепло- и массообмен / Пер. с англ. М.: Мир, 1983. 400 с.

3 Pera L., Gebhart B., Int. J. Heat Mass Transfer. 15. 177 (1972).

4 Stewartson K., Z., Agnew. Math. Phys. 9a. 276 (1958).

КАФЕДРА "ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИИ"

УДК 61:681.3

М.С. Фролова*

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕЛЕМЕДИЦИНСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Телемедицина – это метод предоставления услуг по медицинскому обслуживанию, где расстояние является критическим фактором. Предоставление услуг осуществляется представителями всех медицинских специальностей с использованием информационно-коммуникационных технологий после получения информации, необходимой для диагностики, лечения и профилактики заболевания.

ТЕЛЕМЕДИЦИНА НЕ ЯВЛЯЕТСЯ САМОСТОЯТЕЛЬНЫМ РАЗДЕЛОМ МЕДИЦИНЫ, А ДОПОЛНЯЕТ И РАСШИРЯЕТ СУЩЕСТВУЮЩИЕ МЕТОДЫ ОРГАНИЗАЦИИ ЛЕЧЕБНО-ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА, ПОЗВОЛЯЯ ВРАЧАМ И ПАЦИЕНТАМ ВЗАИМОДЕЙСТВОВАТЬ С ПОМОЩЬЮ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА СКОЛЬ УГОДНО БОЛЬШОМ РАССТОЯНИИ.

В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ НИ У КОГО НЕ ВЫЗЫВАЕТ СОМНЕНИЯ, ЧТО ВНЕДРЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЗВОЛЯЕТ УЛУЧШИТЬ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРЕЕМСТВЕННОСТИ ПРОФИЛАКТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ ЗАБОЛЕВАНИЯ, ПОВЫСИТЬ ИНТЕНСИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЛЕЧЕБНО-ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА. ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ЭТИХ ТЕХНОЛОГИЙ ТРЕБУЕТСЯ РАЗВИТАЯ ИНФРАСТРУКТУРА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ; ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ СВЯЗИ, ЦИФРОВЫЕ ТЕЛЕФОННЫЕ СТАНЦИИ, АППАРАТУРА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ.

Полный спектр телемедицинских услуг включает:

- консультации больных в целях диагностики, лечения и решения вопросов направления в специализированные центры, телеконсилиумы, т.е. одновременное обсуждение больного группой специалистов различных профилей, находящихся в территориально удаленных телемедицинских центрах (многоточечная видеоконференция);

- видеоконференции с одновременным участием сотрудников различных учреждений в центре и на периферии;

- дистанционное обучение и повышение квалификации, освоение новых методов диагностики и лечения без отрыва от основного места работы;

- тиражирование опыта ведущих медицинских центров;

- информационно-методическое обеспечение путем создания информационных Web-серверов с данными о специализации российских федеральных и зарубежных медицинских центров, с современными отечественными и зарубежными сведениями диагностического, лечебного и организационно-методического характера, библиографической информации;

- телеконсультации с использованием мобильных систем в труднодоступных районах и в условиях чрезвычайных ситуаций, включая выбор адекватных мер и способов оказания помощи, отвечающих масштабам катастрофы;

- выход в интегрированные медицинские сети.

*Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. С.В. Фролова.

В настоящее время все более активно заявляет о себе новое направление – телехирургия с использованием манипуляторов, что позволяет проводить оперативные вмешательства на расстоянии, используя специальное оборудование и средства видеоконтроля при наличии высокоскоростных телекоммуникационных каналов с широкой гарантированной полосой пропускания. Телехирургия и дистанционное обследование развиваются в двух направлениях: дистанционное управление медицинской аппаратурой в интерактивном режиме во время диагностических манипуляций и дистанционное проведение лечебных воздействий, хирургических операций на основе использования управляемой робототехники.

Сегодня необходимость развития телемедицины признана всеми ведущими странами мира. Так повсеместное распространение телемедицины в США позволило на 36 млрд. долларов снизить величину затрат на здравоохранение, что составило около 3 % всех затрат на этот сектор экономики за рассматриваемый период. В частности, ожидается, что телемедицина позволит сократить на 22 % расходы, связанные с выездными консультациями специалистов.

Телемедицинские технологии внедряются и в Тамбовском регионе. На базе Областной больницы с 2003 г. работает телемедицинский пункт. В телемедицинском пункте установлен комплекс видеоконференцсвязи. Головным комплексом служит групповая система многоточечной видеоконференцсвязи Polysom ViewStation EX с модулем QuadBRI, обеспечивающим по цифровым телефонным каналам ISDN суммарную скорость передачи данных 256 кбит/с. Базовый модуль этого комплекса комплектуется управляемой видеокамерой и микрофоном. Он обладает достаточным числом портов ввода-вывода, позволяющим подключить и одновременно использовать следующие внешние устройства:

- два аналоговых видеомонитора (в качестве которых используются высококачественные бытовые телевизоры);
- документальная камера для показа бумажных документов, снимков, негативов, небольших предметов;
- видеоплеер для воспроизведения заранее сделанных записей;
- видеомagneтофон для протоколирования сеанса видеоконференцсвязи;
- компьютер с программным обеспечением, расширяющим возможности управления системой.

Предлагается следующий сценарий врачебной телемедицинской консультации в реальном вре-

мени. В нем участвует пять действующих лиц:

- консультируемый врач;
- инженер местного телемедицинского пункта (ТМП);
- диспетчер головного ТМП;
- консультант;
- инженер головного ТМП.

Шаг 1. Консультируемый врач составляет направление на консультацию и передает его по телекоммуникационной сети в головной ТМП. Направление включает в себя выписку из истории болезни и оцифрованные результаты лабораторных анализов и диагностических исследований. В направлении обязательно должна быть указана цель консультации.

Шаг 2. Диспетчер головного ТМП принимает и регистрирует направление и уведомляет консультируемого врача о получении направления и присвоенном регистрационном номере. Затем он подбирает соответствующего консультанта из числа специалистов, сотрудничающим с этим пунктом, и передает ему полученное направление.

Шаг 3. Если направление принято к исполнению, то консультант, диспетчер головного ТМП и консультируемый врач начинают процедуру согласования времени сеанса видеоконференцсвязи.

Шаг 4. Перед началом сеанса видеоконференцсвязи инженер местного ТМП проверяет готовность системы консультируемого врача к работе, готовит материалы направления к просмотру. Тем временем консультант прибывает для проведения консультации.

Шаг 5. Консультируемый врач и, при необходимости, его пациент прибывают в местный ТМП. Инженер местного ТМП раскладывает в нужном порядке возле документальной камеры историю болезни пациента и дополнительные медицинские документы, в том числе снимки: видеозапись результатов диагностических исследований вставляет в видеоплеер, подключенный к системе видеоконференцсвязи, а компакт-диск с оцифрованными рентгенограммами и другими цифровыми результатами лучевых исследований – в устройство чтения компакт-дисков вспомогательного компьютера.

Шаг 6. При необходимости инженер местного ТМП к местной системе видеоконференцсвязи подключает диагностическое оборудование, например, ультразвуковой аппарат; видеокамеру направляет на консультируемого врача и пациента; включает микрофон и осуществляет вызов удаленной системы консультанта.

Шаг 7. После установления соединения консультируемый врач представляет клинический случай и цель консультации. Во время сеанса видеоконференцсвязи инженер местного ТМП контролирует работу системы консультируемого врача.

Шаг 8. В процессе сеанса видеоконференцсвязи инженер головного ТМП помогает консультанту просматривать материалы направления.

Шаг 9. По завершению сеанса инженер местного ТМП отключает систему консультируемого врача от телекоммуникационной сети, консультант составляет официальное заключение.

Шаг 10. Заключение консультанта регистрируется диспетчером головного ТМП и пересылается в электронном виде консультируемому врачу (по электронной почте или по факсу).

Шаг 11. Консультируемый врач анализирует заключение и принимает решение о дальнейшем обследовании или лечении своего пациента.

Связь с медицинскими центрами России обеспечивается на основе телефонной сети ISDN. Планируется внедрение телемедицинского центра в ТГТУ, где основными каналами связи станут IP-сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Материалы 1-го Российского научного форума "МедКомТех2003". М., 2003. 264 с.
- 2 <http://www.armit.ru>.

Кафедра "Информационные процессы управления"

УДК 621.396.6

Д.Ю. Муромцев

КОНЦЕПЦИЯ ВИРТУАЛЬНОСТИ ПРИ АНАЛИЗЕ И СИНТЕЗЕ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Эффективность функционирования систем оптимального управления (СОУ) в значительной степени зависит от достоверности исходной информации, точности используемых моделей динамики и быстродействия алгоритмов синтеза управляющих воздействий. Для расширения возможностей измерительных устройств, обеспечивающих системы управления необходимыми данными об объекте и внешней среде, в последние годы широкое применение находит концепция виртуальных, гибких или интеллектуальных датчиков [1, 2]. Виртуальные датчики (ВД) наряду с сенсорными операциями, для которых используются физические датчики, выполняют вычислительные процедуры, в том числе с применением методов искусственного интеллекта. Это позволяет получать необходимые сведения в тех ситуациях, когда важные измерения невозможно осуществить.

Применительно к СОУ наибольший интерес представляют два типа ВД. К первому типу относятся ВД, осуществляющие регистрацию изменения состояния функционирования СОУ [3]. Иногда датчики этого типа называют "инспекторами". Их основная задача обработать данные от физических датчиков, например, регистрирующих значения управляющих воздействий и выходных переменных, или других виртуальных датчиков, и выдать сигнал об изменении модели задачи оптимального управления (ЗОУ) или компонентов массива исходных данных.

Ко второму типу относятся ВД, которые выполняют функцию понижения размерности или "свертки" массива исходных данных, необходимого для решения ЗОУ. Эти датчики называют "обобщающими преобразователями", их выходом являются значения виртуальных переменных, применение которых позволяет существенно упростить вычислительные операции при решении задач анализа и синтеза оптимального управления.

Рассмотрим использование виртуальных датчиков на примере системы энергосберегающего управления (СЭУ) динамическим объектом. Математическая постановка ЗОУ имеет вид

$$\begin{aligned}
M: \quad \dot{z} &= Az(t) + Bu(t - \tau), \quad y(t) = Cz(t); \\
\Phi: \quad J &= \int_{t_0}^{t_k} f_0(u(t)) dt \rightarrow \min_u; \\
C: \quad u^*(\cdot) &= (u^*(t), t \in [t_0, t_k]) \quad \text{или} \quad u^*(t) = s(z(t), t_k - t); \\
O: \quad \forall t \in [t_0, t_k]: \quad &u(t) \in [u_n, u_b], \quad z(t_0) = z^0 \rightarrow z(t_k) = z^k;
\end{aligned} \tag{1}$$

или сокращенно обозначается кортежем

$$K = \langle M, \Phi, C, O \rangle, \tag{2}$$

здесь z, u, y – переменные состояния, управления и выхода объекта соответственно; A, B, C, τ – матрицы параметров и время запаздывания; J – минимизируемый функционал; $u^*(t)$ – оптимальная программа; s – синтезирующая функция; u_n, u_b – границы изменения управления; t_0, t_k – начальный и конечный моменты времени; M, Φ, C, O – соответственно модель динамики объекта, функционал, стратегия управления и ограничения.

Для численного решения ЗОУ (1) задается массив исходных данных

$$R = (A, B, C, \tau, u_n, u_b, z^0, z^k, t_0, t_k). \tag{3}$$

Виртуальный датчик "Инспектор" обрабатывает измеряемые значения $u(t), y(t), u_n, u_b$, а также получаемую информацию о виде функционала J , стратегии управления C и ограничений (z^k, t_k) , и выдает сигнал о смене ситуации, определяемой моделью (2) и массивом (3). Таким образом, выходом датчика первого типа является двойка (K, R) .

Виртуальный датчик "Обобщающий преобразователь" сворачивает информацию, содержащуюся в массиве (3) в вектор синтезирующих или виртуальных переменных, размерность которого на порядок меньше размерности R , но при этом они однозначно определяют вид и параметры $u^*(t)$. Например, для модели $\langle ДИ, Э, Пр, О \rangle$, (модель – двойной интегратор, функционал – затраты энергии, стратегия – программная, ограничения – концы траектории $z(\cdot)$ закреплены и временной интервал фиксирован) значения двух виртуальных переменных рассчитывается по формулам

$$\begin{aligned}
L_1 &= \frac{4(z_2^k - z_2^0)}{b(u_b - u_n)(t_k - t_0)^2} - 2 \frac{u_b + u_n}{u_b - u_n}; \\
L_2 &= \frac{8(z_1^0 - z_1^k)}{ab(u_b - u_n)(t_k - t_0)^2} + \frac{8z_2^k}{b(u_b - u_n)(t_k - t_0)} - 2 \frac{u_b + u_n}{u_b - u_n}.
\end{aligned}$$

В СЛУЧАЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЗИЦИОННОЙ СТРАТЕГИИ ПРОИЗВОДИТСЯ ДАЛЬНЕЙШЕЕ "СВЕРТЫВАНИЕ" ИНФОРМАЦИИ В ОДНУ ПЕРЕМЕННУЮ, ВХОДЯЩУЮ В СИНТЕЗИРУЮЩУЮ ФУНКЦИЮ.

Развитие концепции ВД в направлении его интеллектуализации позволяет передать датчику часть функций, которые до настоящего времени выполняло управляющее устройство. К этим функциям можно отнести выработку сигналов о существовании ЗОУ, в виде зависимости $u^*(t)$, рекомендуемом значении времени t_k и др. Это позволит разгрузить управляющее устройство СЭУ для решения более сложных задач, например, определении наиболее целесообразной стратегии управления, учета в ЗОУ дополнительных ограничений, например, на лимит энергии, скорости изменения фазовых координат и др. В конечном счете, переход к новой структуре СЭУ увеличивает ее возможности в снижении энергозатрат и повышении качества выполнения целевых функций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Гудвин Г.К., Гребен С.Ф., Сальгадо М.Э. Проектирование систем управления. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. 911 с.

2 Косов М.Г., Брюханов В.Н., Кузнецов А.С. Концепция виртуальной технологии в машиностроении // 4-й Междунар. конгр. "Конструк.-информат. 2000". М., 2000: КТН-2000: Тр. конгр. М., 2000. Т. 1. С. 298 – 299.

3 Муромцев Д.Ю., Кабанов А.А., Козлов А.И. Информационные технологии обновления процессов на предприятии // Вестник Тамбовского государственного технического университета, 2002. Т. 8. № 4. С. 583 – 591.

Кафедра "Конструирование радиоэлектронных

и микропроцессорных систем"

УДК 519.6

А.Н. Блохин

ПРОБЛЕМА ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ ПРИНИМАЕМЫХ РЕШЕНИЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Задачи проектирования и управления в газовой отрасли характеризуются высокими требованиями к обеспечению пожаровзрывобезопасности, наличием большого числа факторов неопределенности, большими убытками при реализации ошибочных решений. На крупных объектах газового хозяйства возникающие проблемы отличаются исключительным разнообразием и требуют экстренного разрешения. Высокую ответственность за принимаемые решения накладывают обслуживание предприятиями больших контингентов населения, экологические и экономические аспекты. Поэтому важнейшим требованием к принятию проектных и управленческих решений на этих предприятиях является отказоустойчивость.

В зависимости от категории (масштаба) объекта газового хозяйства к нему могут предъявляться требования высокой готовности (High Availability), устойчивости к отказам (Fault Tolerance), непрерывной готовности (Continuous Availability) и устойчивости к стихийным бедствиям (Disaster Tolerance).

Высокая готовность предполагает такую архитектуру газового хозяйства с его ремонтными службами, которая обеспечивает быстрое обнаружение и устранение неисправности. При этом не должны нарушаться нормы по обслуживанию населения.

ОБЪЕКТЫ, УСТОЙЧИВЫЕ К ОТКАЗАМ, ИМЕЮТ В СВОЕМ СОСТАВЕ ИЗБЫТОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ. В СЛУЧАЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТИ ДЛЯ БЕСПЕРЕ- БОЙНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ПРОИЗВОДЯТСЯ НЕОБХОДИМЫЕ ПЕРЕ- КЛЮЧЕНИЯ В СИСТЕМЕ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ.

Системы непрерывной готовности являются дальнейшим совершенствованием отказоустойчивых систем в направлении обеспечения деградации в случае отказа.

Устойчивость к стихийным бедствиям предполагает наличие резервного оборудования на случаи наводнения, землетрясения и других природных катаклизмов.

Основным показателем перечисленных свойств объекта газового хозяйства является среднее время устранения неисправности.

Принимаемое проектное или управленческое решение будем называть отказоустойчивым, если оно, во-первых, не ведет к снижению показателей высокой готовности, устойчивости к отказам, непрерывной готовности и устойчивости к стихийным бедствиям объекта, во-вторых, не влечет неоправданных экономических затрат.

Отказоустойчивое решение вырабатывается в соответствии со следующими принципами:

– полнота использования информации, т.е. при выработке решения необходимо учитывать все данные, непосредственно относящиеся к рассматриваемой проблеме и влияющие на результат решения;

– учет достоверности информации по проблеме, для чего применяется два подхода: первый связан с представительностью выборочных данных, а второй – с назначением мер доверия, назначаемых экспертами (специалистами) [1];

– непротиворечивость результатов решения, т.е. получаемые с использованием разных методов решения не должны реализовываться разными действиями;

– своевременность, т.е. должно выполняться ограничение на время, отводимое для принятия решения;

– обеспечение значений показателей высокой готовности и устойчивости к стихийным бедствиям объектов газового хозяйства, имеющих отношение к проблеме.

В СВЯЗИ С ЭТИМ ДЛЯ ЛИЦА, ПРИНИМАЮЩЕГО РЕШЕНИЕ (ЛПР) И ЕГО КОМАНДЫ ВАЖНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ ЯВЛЯЕТСЯ МЕТОД ВЫРАБОТКИ КОРРЕКТИРУЕМЫХ РЕШЕНИЙ. В БОЛЬШИНСТВЕ РАБОТ ПО ПРИНЯТИЮ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ И ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ЯВНО ИЛИ НЕЯВНО ПРЕДПОЛАГАЕТСЯ, ЧТО ИМЕЮЩАЯСЯ ИСХОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ВОЗНИКШЕЙ ПРОБЛЕМЕ ОБРАБАТЫВАЕТСЯ И ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОБРАБОТКИ СРАЗУ ПРИНИМАЕТСЯ ОКОНЧАТЕЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ. ПРИ ЭТОМ НЕ УЧИТЫВАЕТСЯ ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ, КОТОРАЯ ПОСТУПАЕТ В ПРОЦЕССЕ ВЫРАБОТКИ РЕШЕНИЯ. ТАКОЙ ПРОЦЕСС ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НАЗЫВАЕМ НЕКОРРЕКТИРУЕМЫМ.

Важным резервом повышения эффективности управленческой и проектной деятельности являются сокращение временного интервала $[t_0, t_k]$ (lead time) для ускорения начала действий по реализации решения и использование дополнительной информации ΔJ , поступающей при времени $t > t_0$ о проблеме, для более обоснованного выбора оптимального варианта решения v^* . Процесс принятия решения с учетом этих факторов назовем корректируемым.

В случае аварии исходная информация $J(t_0)$ включает: наличие утечки газа на определенном участке, величину падения давления в газопроводе, срабатывание системы автоматической защиты. В $J(t_0)$ отсутствуют сведения о причине утечки, какой ремонт потребуется произвести, какие силы придется задействовать и т.д. В данном случае целесообразно использовать метод двухэтапного решения. На первом этапе цель F_0 формулируется словесно (не количественно) – не допустить развития аварии, срочно выполнить работы по приведению газопровода в состояние нормального функционирования при минимальных затратах. Для этого формируется или используется заранее заготовленное (в соответствии с шаблоном) множество альтернативных вариантов решения $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\}$, здесь v_1 – произвести необходимые переключения в магистрали и выслать дежурную бригаду для устранения неисправности; v_2 – дополнительно к действиям варианта v_1 привлечь ремонтные службы соседних участков; v_3 – дополнительно к действиям варианта v_2 привлечь службы МЧС и других ведомств в соответствии с Договором о совместной деятельности в случае аварии; v_4 – дополнительно к действиям варианта v_1 начать строительно-монтажные работы по изменению трассы газопровода за счет собственных средств; v_5 – дополнительно к действиям варианта v_1 начать строительно-монтажные работы по переносу газопровода на значительное расстояние при финансовом обеспечении с использованием кредитов.

К моменту времени $t'_1 > t_1$ начала реализации действий по принятому решению на первом этапе поступает дополнительная информация $\Delta J(t_1)$ об аварии, содержащая сведения о последствиях и возможных объемах монтажно-строительных работ. На основе этой информации выполняется процесс принятия решения на втором этапе, т.е.

$$\Delta J(t'_1) \rightarrow (F, V^0) \rightarrow \mathcal{E} \rightarrow \text{ОРЭ} \rightarrow v^*(t_k),$$

где \mathcal{E} – проведение экспертизы; ОРЭ – обработка результатов экспертизы; $v^*(t_k)$ – окончательно принимаемое решение.

За счет того, что решение $v^*(t_k)$ основано на большем объеме информации, отказоустойчивость его выше по сравнению с тем, если бы окончательное решение принималось в момент времени t_1 .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

УДК 621.396.23; 681.3.06

О.А. Белоусов

НЕЧЕТКИЙ РЕГУЛЯТОР ДЛЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОКАМЕРНЫМИ ПЕЧАМИ

Одним из направлений повышения эффективности систем управления энергоемкими объектами является использование возможностей искусственного интеллекта и удаленного доступа. Особенно это актуально для стратегически важных отраслей промышленности, в том числе машиностроительных и металлургических комплексов, на предприятиях электронного профиля и др.

ОСНОВНЫМИ ЭНЕРГОЕМКИМИ ОБЪЕКТАМИ НА ЭТИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ ЯВЛЯЮТСЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПЕЧИ. ПРОЦЕСС ТЕРМООБРАБОТКИ В ПЕЧАХ СВЯЗАН С БОЛЬШИМИ ЗАТРАТАМИ ЭНЕРГИИ, НЕ ВСЕГДА УДОВЛЕТВОРЯЮТСЯ ТРЕБОВАНИЯ К ПОДДЕРЖАНИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ.

ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНОГО ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ТРЕБУЮТСЯ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ, АДЕКВАТНО ОТРАЖАЮЩИЕ РЕАЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПЕЧАХ. ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ОБЫЧНО НЕ УДОВЛЕТВОРЯЮТ ТРЕБОВАНИЯМ ТОЧНОСТИ ВО ВСЕМ ДИАПАЗОНЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР, ХАРАКТЕРНЫХ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ (100...1000 °С). ОДНОЙ ИЗ ОСНОВНЫХ ПРИЧИН УВЕЛИЧЕНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИКИ ТЕПЛОВЫХ АППАРАТОВ ЯВЛЯЕТСЯ НЕПОСТОЯНСТВО ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ И ОБРАБАТЫВАЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ, ВЫЗЫВАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ, СТАРЕНИЕМ ФУТЕРОВКИ ПЕЧЕЙ В ПРОЦЕССЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ.

Особенностями функционирования электрокамерных печей как объектов управления являются:

режим работы имеет циклический характер, продолжительность включенного состояния изменяется в зависимости от плановых заданий, эпизодически происходит замена обрабатываемого материала, при замене материала дверцу печи открывают и температура в камере уменьшается, продолжительность состояния печи с открытой дверцей различная, объем загружаемого материала изменяется, в зависимости от вида загружаемого материала может изменяться задаваемое значение температуры, основные затраты энергии связаны с начальным разогревом печи и догревом до требуемой температуры после открывания дверцы.

Применяемые на практике системы управления не учитывают рассмотренных особенностей, поэтому актуальной задачей является разработка интеллектуальных систем, которые способны посто-

янно отслеживать модели динамики и выбирать оптимальные режимы в любых встречающихся на практике состояниях функционирования. В связи с этим в системах управления печами все чаще стали находить применение методы искусственного интеллекта, в частности нечеткие алгоритмы регулирования [1]. Регуляторы, построенные на базе этой инновационной концепции, в ряде случаев способны обеспечить более высокие показатели качества переходных процессов по сравнению с классическими регуляторами.

Для электрокамерной печи СНО разработан логический нечеткий регулятор (НР), который состоит из четырех основных компонентов [2]: фазификатора, "нечеткой" базы знаний, машины нечеткого вывода и дефазификатора. На вход НР поступают числовые значения составляющих вектора входных переменных (температура, скорость ее изменения, временной интервал управления и т.д.). Фазификатор преобразует эту информацию в значения функции принадлежности нечетких множеств ("Величина загрузки", "Снижение температуры при загрузке", "Изменение параметров модели" и др.). Функции принадлежности нечетких множеств и правила продукционного вывода содержатся в "нечеткой" базе знаний. Машина вывода во взаимодействии с нечеткой базой знаний выполняет операции агрегирования, активизации и аккумуляции. Блок дефазификации вычисляет значение управляющего воздействия.

Применение для электрокамерной печи нечетких регуляторов придает системе свойство невосприимчивости к ограниченным изменениям параметров системы и внешним возмущениям. Для коррекции функции принадлежности в нечеткой базе знаний используется режим удаленного доступа.

Основой системы энергосберегающего управления с удаленным доступом является микропроцессорное устройство на базе *MiniWebServer (MWS)* IPC@CHIP [3]. В состав программного обеспечения MWS входят: операционная система реального времени (*RTOS*), полный стек *TCP/IP*, *DHSP*-клиент, *FTP*-сервер, *WEB*-сервер (*http*), с возможностью использования *CGI* и *API* ввода/вывода, *PPP*-сервер, *time*-клиент, *email*-клиент, *telnet*-сервер. MWS обеспечивает управление тиристорными регуляторами мощности, при этом включение тириستоров происходит в нулях синусоиды питающего напряжения.

Применение нечеткого регулятора при управлении электрокамерной печью обеспечивает улучшение качества продукции за счет повышения точности термообработки, экономичность и безопасность процесса за счет синтеза энергосберегающих управляющих воздействий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Деменков Н.П. Адаптивное управление с помощью нечетких супервизоров // Промышленные АСУ и контроллеры, 1999. № 4. С. 25 – 34.
- 2 Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д.А. Поспелова. М.: Наука, 1986. 312 с.
- 3 <http://fuzziTech.com>

**КАФЕДРА "КОНСТРУИРОВАНИЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ
МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ"**

УДК 681.5.015.23

Д.Г. Поляков

**ОБ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ
ОТОПИТЕЛЬНЫХ КОТЕЛЬНЫХ**

По сведениям [1] Россия обладает уникальным потенциалом энергосбережения, который оценивается в 39...47 % существующего годового потребления энергии. Почти третья часть этого потенциала сосредоточена в топливно-энергетических отраслях (в том числе четверть – в электроэнергетике и теплоснабжении), еще 35...37 % – в промышленности и 25...27 % – в жилищно-коммунальном хозяйстве.

Наиболее стабильно и практически на проектной мощности в настоящее время все еще работает система горячего водоснабжения и теплоснабжения населения и промышленных предприятий. Как известно [2], большинство производственно-отопительных котельных и многие отопительные котельные большой мощности укомплектованы двухбарабанными паровыми котлами с горизонтальным ходом дымовых газов типов ДКВр, ДКВ, ДЕ, КЕ и др. Эти котлы при надлежащей эксплуатации имеют высокую эксплуатационную надежность, особенно этим отличаются котлы ДКВр.

Существуют неоднозначные мнения относительно перспектив модернизации системы автоматизации подобных котлов. В [2] утверждается, что нет смысла вкладывать средства в совершенствование котлов типа ДКВр, конструкция которых в основном была разработана в середине XX в. Однако, есть данные об успешно проведенной реконструкции системы управления котельной на базе котлов ДКВр [3 – 6]. Кроме того, в 2004 г. возобновлено производство котлов ДКВр на заводах промышленной группы "Генерация" [7]. Таким образом, напрашивается вывод о целесообразности проведения работы в направлении повышения эффективности расходования топлива в котлах указанных типов.

Основной недостаток существующих котельных на базе котлов ДКВр – плохая автоматизация. Известно, что комплексная автоматизация позволяет повысить КПД котлоагрегатов за счет оптимальных режимов работы и соответственно сэкономить топливо. При этом только за счет автоматизации процесса горения топлива вполне реально повысить КПД на 1...4 % [8]. По данным [9], для топливных объектов экономия топлива в количестве 10 % в динамических режимах – далеко не предел.

При ручном регулировании по режимным картам, которое имеет место во всех котельных на базе котлов ДКВр [10], невозможно поддерживать оптимальные значения коэффициента избытка воздуха α . Увеличение α ($\alpha > 1$) вызывает увеличение тепловых потерь с уходящими газами. При уменьшении ($\alpha < 1$) наблюдается интенсивный химический недожог, что увеличивает потери вследствие химической неполноты сгорания топлива [8].

Для оптимизации режимов сжигания топлива в котельных жилищно-коммунального хозяйства целесообразно применять разработанный и поставляемый ОАО "Всероссийский теплотехнический научно-исследовательский институт" пульсационный датчик-индикатор недожога типа ИНТ-2. Он позволяет обнаружить начальный момент появления следов недожога топлива, что дает возможность предотвратить режимы горения с неполным сгоранием, существенно уменьшить избыток воздуха в топке котлоагрегата и тем самым снизить тепловые потери с уходящими газами. При этом экономия топлива может составить от 3 до 5 %. Особенно эффективно применение данного индикатора для котлоагрегатов типов ДКВр, ПТВМ, ДЕ, а также в заводских котельных [11].

Таким образом, можно выделить основное направление повышения эффективности использования топливных ресурсов (природного газа и мазута) в котлах типа ДКВр и им подобных. Необходимо, наряду с использованием традиционных средств (поддержание режима химводоочистки, рекуперация тепла отводимых газов и пр.), осуществлять внедрение микропроцессорной системы оптимального управления процессом горения, решающей задачи оптимизации в реальном времени.

В промышленно развитых странах уже давно используется такой режим работы котла, когда температура в отапливаемом помещении соответствует комфортным условиям только во время нахождения в нем людей. Автоматика включает отопление в жилых зданиях перед возвращением людей с работы и выключает в отсутствие жильцов, в производственных помещениях отопление включается перед началом рабочего дня и выключается после его окончания. В остальное время поддерживается минимально допустимая температура.

Необходимо отметить, что объекты управления представляют собой системы с распределенными параметрами, состояние которых в общем случае описывается дифференциальными уравнениями в частных производных. Распределение температур по отапливаемым помещениям и длине теплопровода зависит от целого ряда факторов: площади теплообменной поверхности, удаленности от распределительных узлов и др. Нередки случаи повышенной температуры в некоторых помещениях относительно остальных, отапливаемых одной и той же системой.

Рассмотрение режима работы крупных предприятий, имеющих собственные производственные котельные, показывает, что реальные режимы работы отличаются от номинальных. После окончания рабочей смены сотрудники нередко остаются на сверхурочные работы, вызванные производственной не-

обходимостью. При этом затруднительно заранее составить четкий график работы котельной, и, как следствие, возможен как перерасход газа на отопление помещений завода, так и понижение температуры в отапливаемых помещениях относительно комфортной.

Существующие в настоящее время системы управления работой котлов обеспечивают только стабилизацию выбранных установившихся режимов. Эти системы не могут решать в реальном времени задачи оптимального управления динамическими режимами с минимумом расхода топлива при ограничениях на реальные условия функционирования. Имеющиеся системы автоматического регулирования не учитывают информацию о распределении температур и реальном расходе тепловой энергии в отапливаемом помещении. В них отсутствует автоматическая коррекция при выработке управляющего воздействия в зависимости от температуры наружного воздуха. Эти задачи могут решаться микропроцессорной системой, использующей результаты анализа и синтеза оптимального управления на множестве состояний функционирования.

В микропроцессорной системе предусмотрена база знаний, которая позволяет по данным об объекте управления (модель динамики, ограничения на управляющие воздействия, фазовые координаты и т.д.) и окружающей среде (температура окружающего воздуха, реальная и требуемая температура в отапливаемом помещении) вырабатывать оптимальные управляющие воздействия для всех встречающихся на практике состояний функционирования.

Имитация работы системы управления с использованием компьютерного моделирования показывает, что эффект от оптимизации динамических режимов может достигать 10...15 %. Кроме того, достоинством данной системы является возможность решения задач оптимального управления при переходе с одного вида энергоносителя на другой, например, с газа на жидкое топливо.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Яворский А.Б. Совершенствование экономического механизма хозяйствования. Основные направления Энергетической стратегии России на период до 2020 года // Промышленная энергетика, 2003. № 12. С. 2 – 6.

2 Васильев А.В., Антропов Г.В., Сизоненко А.А. Сравнительный анализ паровых и водогрейных котлов для промышленных и отопительных котельных // Промышленная энергетика, 2003. № 9. С. 18 – 23.

3 Петров А.В. Построение современных систем контроля и управления котлоагрегатами средней и высокой производительности // Промышленная энергетика, 2004. № 4. С. 20 – 21.

4 АСУ ТП / Энергетика / Комплексные системы управления котлоагрегатами // <http://www.rakurs.com/production/boiler/index.phtml>;

5 12 лет безупречной работы на рынке АСУ ТП // <http://www.rakurs.com/articles/12.html>;

6 Проекты ООО НПФ "Ракурс" в ЦБП // <http://www.rakurs.com/articles/projectCBP.html>;

7 Паровые котлы серии ДКВр // <http://www.generation.ru/kotob5.php>;

8 Мезенцев А.П. Основы расчета мероприятий по экономии тепловой энергии и топлива. Л.: Энергоатомиздат, 1984. 120 с.

9 Голушко С.А. Разработка автоматических систем, обеспечивающих синтез оптимального управления в реальном времени (на примере топливных печей) // Дис. ... канд. техн. наук. Тамбов, 2000. 147 с.

10 Поляков Д.Г. Топливосберегающая информационно-управляющая система // Международная конференция "Наука на рубеже тысячелетий": Сб. научн. ст. по материалам конф. 29 – 30 октября 2004 г. Тамбов: ПБОЮЛ Бирюкова М.А., 2004. С. 156 – 157.

11 Ольховский Г.Г., Тумановский А.Г., Трёмбовля В.И. Экономия энергетических ресурсов. Резервы энерго- и ресурсосбережения в крупных котельных промышленной и коммунальной энергетики // Промышленная энергетика, 2004. № 1. С. 2 – 16.

КАФЕДРА "КОНСТРУИРОВАНИЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ И

микропроцессорных систем"

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗАТОР БЫСТРОМЕНЯЮЩИХСЯ СИТУАЦИЙ

Анализаторы быстроменяющихся ситуаций находят широкое применение при управлении сложными системами, например, радиопеленгаторными сетями. Особенности функционирования таких систем являются следующие.

1 Широкий диапазон скоростей изменения ситуаций, продолжительность нахождения системы радиопеленгации с внешним окружением в одном состоянии может колебаться от десятков секунд до миллисекунд.

2 Число различных ситуаций исключительно велико. Повторение одинаковых ситуаций является редким событием.

3 Достоверные оценки вероятностей ситуаций отсутствуют вследствие невозможности получения представительной выборки и пренебрежимой малости самих вероятностей.

4 Скорость выработки (поступления) управляющих команд и сигналов соизмерима со скоростью изменения ситуаций.

В этих условиях выбор наиболее целесообразного способа действия для текущей ситуации во многом зависит от опыта, быстроты реакции и интуиции операторов, специалистов и лиц, принимающих решение. При этом вместо статистически определяемых вероятностей событий приходится рассматривать субъективно приписываемые вероятности.

ЗАДАЧА, РЕШАЕМАЯ АНАЛИЗАТОРОМ, ФОРМУЛИРУЕТСЯ СЛЕДУЮЩИМ ОБРАЗОМ.

Задается множество действий, которые можно осуществить в конкретной ситуации, т.е.

$$D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}.$$

На основе множества D вводится область взаимоисключающих гипотез Q , элементами которой могут быть как сами действия, так и их комбинации.

Различная информация о возможных действиях в сложившейся ситуации рассматривается как источники свидетельств. Этими источниками могут быть сведения в базе данных (знаний), мнения специалистов и т.д.

Каждому источнику свидетельств соответствуют меры доверия $m(q)$, назначаемые элементам области Q . При этом сумма всех $m(q)$ для одного свидетельства равна 1. Свидетельства могут поступать не одновременно.

Требуется определить объединенную меру доверия от всех источников свидетельств и реализовать действия, имеющие наибольшую степень доверия.

Объединенная мера доверия рассчитывается по правилу Демпстера [1, 2].

$$m_k(z) = \frac{\sum_{x \cap y = z} m_{k-2}(x) m_{k-1}(y)}{1 - \sum_{x \cap y = \emptyset} m_{k-2}(x) m_{k-1}(y)}, \quad (1)$$

где k – число источников свидетельств; x, y, z – гипотезы для соответствующих источников свидетельств.

Например, пусть

$$D = \{d_1, d_2, d_3, \dots, d_c\},$$

здесь d_j – пеленг, осуществляемый j станциями; d_c – пеленг, осуществляемый всей сетью. На основе первого свидетельства $m_1(d_2) = 0,7$ и $m_1(Q) = 0,3$, а второго свидетельства $m_2(d_3) = 0,8$, $m_2(Q) = 0,2$. Величина $m_c(Q)$ здесь характеризует другие возможные меры доверия. Применительно к формуле (1) в нашем случае $x = \{d_2, Q\}$, $y = \{d_3, Q\}$, $z = \{d_2, d_3, Q\}$ и $m_3(d_2) \approx 0,32$; $m_3(d_3) \approx 0,545$; $m_3(Q) \approx 0,135$.

Таким образом, в результате объединения свидетельств, предпочтение имеет действие d_3 .

Предположим, что поступило новое свидетельство $V = \{(d_3, d_c), Q\}$ с $m_4\{(d_3, d_c)\} = 0,6$ и $m_4(Q) = 0,4$. В этом случае формула (1) принимает вид

$$m_5(W) = \frac{\sum_{z \cap V = W} m_3(z) m_4(V)}{1 - \sum_{z \cap V = \emptyset} m_3(z) m_4(V)} \text{ и } W = \{d_2, d_3, (d_3, d_c), Q\}.$$

В результате расчетов получаем

$$m_5(d_2) = 0,158, \quad m_5(d_3) = 0,675, \quad m_5((d_3, d_c)) = 0,1, \quad m_5(Q) = 0,067.$$

Таким образом, в результате нового свидетельства мера доверия к действию d_3 возросла.

Недостатком формулы (1) является то, что в случае одновременного поступления трех свидетельств их обработка должна производиться последовательно, т.е. сначала расчеты производятся для первого и второго, а затем полученный результат обрабатывается совместно с третьим.

Предлагается алгоритм одновременного расчета мер доверия для числа свидетельств более двух. Продемонстрируем этот алгоритм для тех же исходных данных. Пусть имеется три свидетельства

$$X_1 = \{d_2, Q\} \text{ с } m_1(d_2) = 0,7, \quad m_1(Q) = 0,3;$$

$$X_2 = \{d_3, Q\} \text{ с } m_2(d_3) = 0,8, \quad m_2(Q) = 0,2;$$

$$X_3 = \{(d_3, d_c), Q\} \text{ с } m_3(d_3, d_c) = 0,6, \quad m_3(Q) = 0,4.$$

В результате рассмотрения попарных пересечений множеств формируется результирующее множество $Y = \{d_2, d_3, (d_3, d_c), Q\}$ и два пустых множества ($d_2 \wedge d_3 = \emptyset$, $d_2 \wedge (d_3, d_c) = \emptyset$). Затем рассчитывается коэффициент нормировки с учетом этих двух пустых множеств

$$K = 1 - (m_1(d_2)m_2(d_3) + m_1(d_2)m_3((d_3, d_c)) - m_1(d_2)m_2(d_3)m_3((d_3, d_c))) = 0,356.$$

Далее рассчитываются меры доверия компонентов множества Y по формулам:

$$m(d_2) = \frac{1}{k} m_1(d_2) m_2(Q) m_3(Q) = 0,157;$$

$$m(d_3) = \frac{1}{k} m_1(Q) m_2(d_3) (m_3((d_3, d_c)) + m_3(Q)) = 0,674;$$

$$m((d_3, d_c)) = \frac{1}{k} m_1(Q) m_2(Q) m_3((d_3, d_c)) = 0,101;$$

$$m(Q) = \frac{1}{k} m_1(Q) m_2(Q) m_3(Q) = 0,067.$$

Достоинством предложенного алгоритма является то, что при получении результата $m(d_3) = 0,674$ дальнейшие расчеты можно не производить, так как следующие меры доверия будут в сумме меньше $1 - m(d_2) - m(d_3)$, т.е. действие d_3 сохранит свое лидерство.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Люгер Дж.Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. М.: Издательский дом "Вильямс", 2003. 864 с.

УДК 621.396.23; 681.3.06

И.В. Тюрин

ОБЩАЯ ЗАДАЧА СИНТЕЗА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ МНОГОЗОННЫМИ ТЕПЛОВЫМИ ОБЪЕКТАМИ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Проблема энергосбережения в последние годы вышла на одно из первых мест в вопросах обеспечения выпуска конкурентоспособной продукции при минимальной ее себестоимости. Кроме того, после подписания Россией Киотского протокола, проблема снижения вредных выбросов в атмосферу промышленными предприятиями и электростанциями приобретает особую значимость. Одним из путей решения указанных задач, является оптимальное управление энергоемкими объектами.

МНОГОЗОННЫЕ ПЕЧИ С ЭЛЕКТРОНАГРЕВОМ ШИРОКО ИСПОЛЬЗУЮТСЯ В РАДИО-ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, НАПРИМЕР, ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК ТЕРМОРЕЗИСТОРОВ. ТАКИЕ ПЕЧИ ЯВЛЯЮТСЯ ТИПИЧНЫМИ ОБЪЕКТАМИ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ И ИМЕЮТ РЯД ОСОБЕННОСТЕЙ. К НИМ ПРЕЖДЕ ВСЕГО ОТНОСЯТСЯ БОЛЬШИЕ ЗАТРАТЫ ЭНЕРГИИ, ВЫСОКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПОДДЕРЖАНИЮ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ, СИЛЬНЫЕ СВЯЗИ МЕЖДУ ПЕРЕМЕННЫМИ СОСТОЯНИЯМИ В СОСЕДНИХ УЧАСТКАХ ПЕЧИ, ЗНАЧИТЕЛЬНОЕ ЧИСЛО УПРАВЛЯЮЩИХ И ВОЗМУЩАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ, ЖЕСТКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ НА ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВЛЯЮЩИХ ВЕКТОРА ФАЗОВЫХ КООРДИНАТ, ВЕРОЯТНОСТЬ ВЫХОДА ИЗ СТРОЯ ОТДЕЛЬНЫХ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПЕЧИ. СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЕЧЬЮ ДОЛЖНА ОБЕСПЕЧИВАТЬ РЕШЕНИЕ СЛОЖНЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ РЕЗЕРВОВ ПО СНИЖЕНИЮ ЭНЕРГОЗАТРАТ И УМЕНЬШЕНИЮ ДОЛИ БРАКА ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ.

Важным резервом снижения энергопотребления печей является оптимальное управление (ОУ) переходными режимами с учетом начальных условий и запаздывания. Большинство существующих алгоритмов управления не учитывают теплоаккумулирующие способности конструкции аппаратов с электронагревом и неточность задания начальных условий, что ведет к перерасходу энергии в динамических режимах. Теоретические исследования показывают, что при оптимальном управлении нагревом уменьшение затрат энергии в динамических режимах может находиться в пределах 10...25 % по сравнению с традиционным управлением. Необходимо отметить, что энергосберегающее управление характеризуется плавным протеканием тепловых процессов, а это ведет к повышению долговечности и безопасности эксплуатации оборудования.

Для решения задач оптимального управления (ЗОУ) функционированием печей требуются математические модели, адекватно описывающие протекающие в них динамические процессы. Так как многозонные печи являются тепловыми объектами с распределенными параметрами, то модель динамики должна отражать изменение температуры во времени в каждой точке печи.

В качестве объекта управления рассматривается n -зонная электрическая печь, упрощенная схема которой приведена на рис. 1. Внутри печи движется платформа с обрабатываемыми заготовками. Температуры $T_i, i = \overline{1, n}$ в каждой зоне управляются напряжениями $u_i, i = \overline{1, n}$, подаваемыми на нагревательные элементы (ТЭНы).

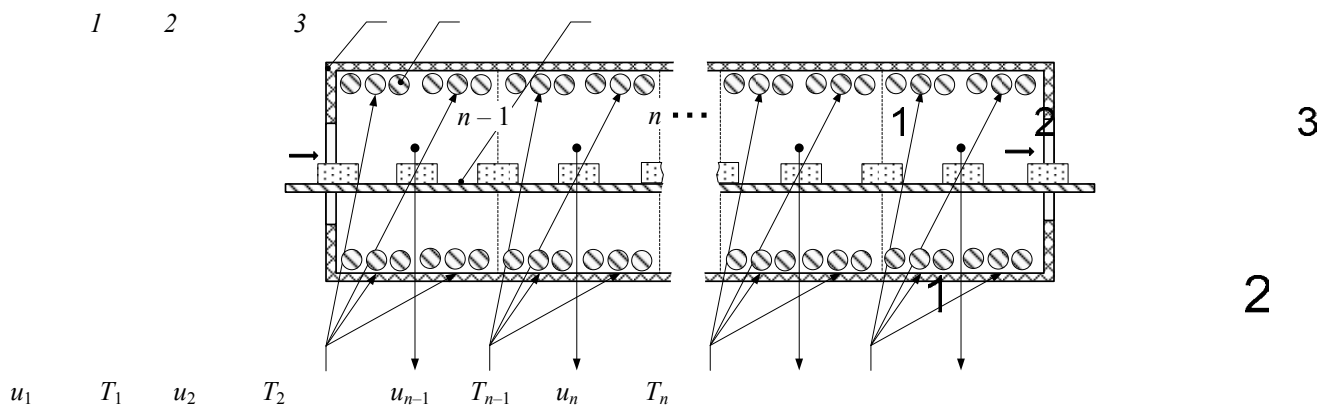


Рис. 1 Схема n -зонной электрической печи:

1 – каркас печи; 2 – нагревательные элементы;

3 – движущая платформа с заготовками

Решение задач синтеза оптимального управления является заключительным этапом создания алгоритмического обеспечения управления печью [1]. Исходными данными являются диапазоны возможных изменений параметров объекта, границ управляющих воздействий, начального и конечного значений вектора фазовых координат, начало и конец временного интервала, границ динамического запаздывания по каналу управления и возмущения, т.е. результаты идентификации модели динамики объекта, представленные в виде массива реквизитов R , а также модели ЗОУ, представленной в виде четверки $\langle M_{ik}, F, S, O \rangle$, где M_{ik} – модель динамики для i -ой зоны на k -м температурном интервале; F – минимизируемый функционал; S – стратегия реализации ОУ; O – ограничения. В состав модели ЗОУ включаются формулы расчета синтезирующих переменных, соотношения для определения границ областей видов ОУ, формулы для расчета параметров ОУ, траекторий изменения фазовых координат и значений функционалов.

Общая задача синтеза ОУ применительно к конкретной модели ЗОУ формулируется следующим образом. На основе результатов полного анализа с использованием синтезирующих переменных в заданном диапазоне возможного изменения компонентов массива R в реальных условиях эксплуатации печи требуется определить встречающиеся виды функций программного управления и соотношения для расчета параметров ОУ, т.е. создать алгоритмическое обеспечение. Таким образом, требуется найти все возможные виды функций ОУ для указанных интервальных значений исходных данных, а также соотношения, позволяющие проверять существование решения ЗОУ и определять вид управления, формулы расчета параметров ОУ, траектории изменения фазовых координат и значения минимизируемого функционала. Блок-схема алгоритма решения данной задачи представлена на рис. 2.

Поле исходных данных для программы расчета изменения оптимальных управляющих воздействий вводится в виде массива переменной длины R интервальных значений параметров задачи, а также задается число вычислительных экспериментов решения ЗОУ N . Далее в цикле случайным образом осуществляется выбор из интервалов конкретных значений данных и расчет для них ОУ. Другими словами, формируется массив Rk , компонентами которого служат случайно выбранные элементы массива R . Далее, используя значения элементов сформированного массива Rk , рассчитываются значения синтезирующих переменных L_1 и L_2 . Следующий арифметический блок определяет вид функции ОУ, значения параметров и функционала. По результатам каждого прохода цикла накапливается информация о видах

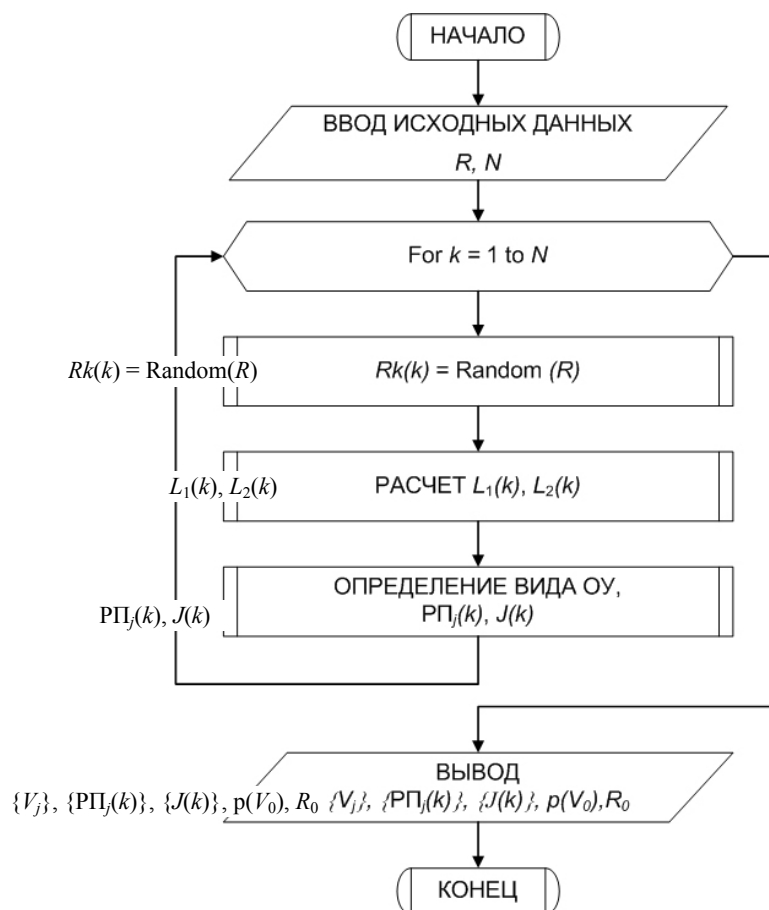


Рис. 2 Блок-схема алгоритма решения общей задачи синтеза ОУ

функции ОУ в виде множества $\{V_j\}$, рассчитанных параметров $\{РП_j\}$, величин функционала $\{J(k)\}$, а также подсчитывается вероятность отсутствия решения ЗОУ $p(V_0)$ и значения реквизитов R_0 , при которых ЗОУ не имеет решения. Эти данные передаются в блок вывода. Рассмотренная задача решается с использованием ЭВМ разработчиком алгоритмического обеспечения ЗОУ.

В заключении следует отметить, что приведенные в данной статье результаты реализованы в автоматизированных системах управления многозонными печами с электронагревом на ОАО "Котовский завод "Алмаз" и ФГУП "Тамбовский завод "Октябрь".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Муромцев Д.Ю., Муромцев Ю.Л., Орлова Л.П. Синтез энергосберегающего управления много-стадийными процессами комбинированным методом // Автоматика и телемеханика, 2002. № 3. С. 169 – 178.

**Кафедра "Конструирование радиоэлектронных
и микропроцессорных систем"**

УДК 519.21

А.Б. Беседин, А.С. Григорьев, В.П. Стражник

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
НЕПРЕРЫВНОЙ СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ, ОПИСЫВАЕМЫХ МОДИФИЦИРОВАННЫМ
УРАВНЕНИЕМ ПИРСОНА**

Рассматривается методика идентификации законов распределения непрерывной односторонней случайной величины, полученных в результате решения модифицированного уравнения Пирсона.

Известно [1, 2], что большой класс непрерывных плотностей распределения вероятностей (ПРВ) $p(x)$, называемый системой распределений Пирсона, удовлетворяет дифференциальному уравнению

$$\frac{dp(x)}{dx} = \frac{a_0 + a_1 x}{b_0 + b_1 x + b_2 x^2} p(x), \quad (1)$$

где a_i и b_i – постоянные параметры распределения.

В зависимости от значений отдельных параметров в качестве решения уравнения (1) получают 12 типов кривых. Эти кривые часто используют для аппроксимации экспериментальных распределений [1]. Однако в настоящее время система плотностей вероятностей, введенная К. Пирсоном еще в 1894 г., является до некоторой степени устаревшей [3]. Это обусловлено в первую очередь тем, что на сегодняшний день очень часто используется на практике целый ряд законов распределений, таких как распределения Релея, Накагами, Вейбулла, обобщенное гамма – распределение, которые нельзя получить в виде частных случаев из системы распределений Пирсона.

В работе [4] было предложено модифицированное уравнение Пирсона, которое позволило получить значительно более широкий класс законов распределений для односторонней случайной величины (СВ), чем система распределений Пирсона [1, 2]. Однако методика идентификации параметров полученных законов распределения не была рассмотрена.

Цель работы – предложить методику идентификации параметров законов распределения непрерывной односторонней СВ, полученных в результате решения модифицированного уравнения Пирсона.

Модификация уравнения Пирсона заключалась в следующем. Во-первых, параметр b_0 в уравнении (1) был заменен на параметр c , характеризующий собой показатель степени переменной x , причем $c > 0$. Во-вторых, предполагалось, что соответствующее распределение $p(x)$ является односторонним, т.е. существует только на положительной части оси x . При этом уравнение (1) принимает вид

$$\frac{dp(x)}{dx} = \frac{a_0 + a_1 x^c}{b_1 x + b_2 x^{c+1}} p(x). \quad (2)$$

Его решениями при соответствующих значениях параметров a_i и b_i являются пять типов распределений [4]:

$$p(x) = \frac{c x^{\alpha c - 1}}{B(\alpha, \nu) \chi^{\alpha c}} \left(1 - \frac{x^c}{\chi^c}\right)^{\nu - 1}, \quad 0 < x < \chi; \quad (3)$$

$$p(x) = \frac{c \beta^{\alpha c} x^{\alpha c - 1}}{\Gamma(\alpha)} \exp(-\beta^c x^c), \quad 0 < x < \infty; \quad (4)$$

$$p(x) = \frac{c \lambda^{\nu c} x^{\alpha c - 1}}{B(\alpha, \nu) (\lambda^c + x^c)^{\alpha + \nu}}, \quad 0 < x < \infty; \quad (5)$$

$$p(x) = \frac{c \beta^{\alpha c}}{\Gamma(\alpha) x^{\alpha c + 1}} \exp\left(-\frac{\beta^c}{x^c}\right), \quad 0 < x < \infty; \quad (6)$$

$$p(x) = \frac{c \chi^{\alpha c}}{B(\alpha, \nu) x^{\alpha c + 1}} \left(1 - \frac{\chi^c}{x^c}\right)^{\nu - 1}, \quad \chi < x < \infty, \quad (7)$$

где $\alpha > 0$, $\nu > 0$, $c > 0$ – параметры формы; $\chi > 0$, $\beta > 0$, $\lambda > 0$ – параметры масштаба; $B(a, b)$ – бета-функция; $\Gamma(z)$ – гамма-функция.

При $\nu \rightarrow \infty$ распределение (4) является предельным распределением для (3) и (5), а (6) – для (7). В свою очередь, распределения (4) и (6) преобразуются в логарифмический нормальный закон при $c \rightarrow 0$. Если $c \rightarrow \infty$, то (4) преобразуется в степенной закон, являющийся частным случаем (3) при $c = 1$ и $\nu = 1$. Распределение (6) при $c \rightarrow 0$ преобразуется в закон Парето, который является частным случаем (7) при $c = 1$ и $\nu = 1$.

Используя общие свойства плотностей вероятностей, установим правила определения параметров a_1, a_0, b_2 и b_1 , входящих в уравнение (2). Для этого запишем уравнение (2) в следующем виде

$$x^{cn}(b_1x + b_2x^{c+1})dp(x)/dx = x^{cn}(a_1x^c + a_0)p(x). \quad (8)$$

Пусть допустимые значения непрерывной СВ ξ с ПРВ $p(x)$ заключены в интервале (l_1, l_2) . Проинтегрируем левую часть равенства (8) по частям. Считая, что интегралы существуют, получим

$$\begin{aligned} \left\{ x^{cn} [b_1x + b_2x^{c+1}] p(x) \right\}_{l_1}^{l_2} - \int_{l_1}^{l_2} [(cn+1)b_1 + (cn+c+1)b_2x^c] x^{cn} p(x) dx = \\ = \int_{l_1}^{l_2} x^{cn} (a_1x^c + a_0) p(x) dx. \end{aligned}$$

Выражение в фигурных скобках обращается в нуль на верхней и нижней границах интервала интегрирования. Тогда, используя определение начальных моментов для непрерывной СВ, имеем

$$[a_0 + (cn+1)b_1]m_{cn} = -[a_1 + (cn+c+1)b_2]m_{c(n+1)}, \quad (9)$$

где $m_s = \langle x^s \rangle$ – начальный момент s -го порядка, в том числе и дробного.

Уравнение (9) позволяет получить рекуррентные соотношения для определения моментов более высокого порядка по моментам более низкого порядка. Последовательно полагая в (9) $n = 0, 1, 2, 3$ и учитывая, что $m_0 = 1$, получим:

$$\begin{aligned} a_0 + b_1 &= -[a_1 + (c+1)b_2]m_c; \\ [a_0 + (c+1)b_1]m_c &= -[a_1 + (2c+1)b_2]m_{2c}; \\ [a_0 + (2c+1)b_1]m_{2c} &= -[a_1 + (3c+1)b_2]m_{3c}; \\ [a_0 + (3c+1)b_1]m_{3c} &= -[a_1 + (4c+1)b_2]m_{4c}. \end{aligned} \quad (10)$$

Из решения системы уравнений (10) следует, что параметры a_i и b_i распределений (3) – (7) определяются выражениями:

$$\begin{aligned} b_2 = 0,5(k_2 - 1); \quad b_1 = (1+k_2)m_c(1-k_3)/2k_1; \\ a_1 = -(3c+1)b_2 - c; \quad a_0 = ck_2m_c - b_1, \end{aligned} \quad (11)$$

где

$$k_1 = \frac{m_c^2}{m_{2c}}; \quad k_2 = \frac{m_cm_{3c} - m_{2c}^2}{m_{2c}(m_{2c} - m_c^2)}; \quad k_3 = \frac{2k_1k_2}{1+k_2}. \quad (12)$$

Из решения системы уравнений (10) также следует важное свойство моментов, присущее распределениям (3) – (7) и представленное в виде равенства

$$\frac{4m_{3c}}{m_{3c} - m_cm_{2c}} - \frac{3m_{4c}}{m_{4c} - m_cm_{3c}} = \frac{m_{2c}}{m_{2c} - m_c^2}. \quad (13)$$

Свойство (13) можно использовать для определения параметра c .

Топографическую классификацию распределений (3) – (7) удобно производить с помощью коэффициентов k_1 и k_2 , а также вспомогательного коэффициента k_3 (рис. 1). Номера кривых (областей существования) на рис. 1 по порядку соответствуют распределениям (3) – (7). Для кривой (4) справедливо равенство $k_3 = 1$, для области существования (3) – неравенство $0 < k_3 < 1$, а для области существования (5) – неравенство $k_3 > 1$.

Таким образом, разработан метод идентификации законов распределения односторонней непрерывной СВ с помощью коэффициентов k_1 и k_2 , а также вспомогательного коэффициента k_3 .

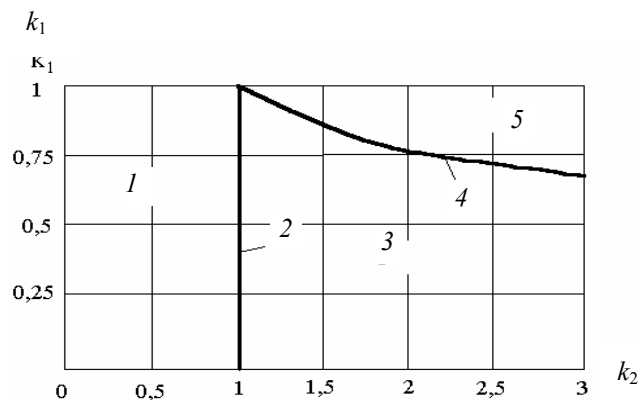


Рис. 1 Диаграмма законов распределения односторонней непрерывной СВ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. М.: Радио и связь, 1982. 624 с.
- 2 Кендалл М., Стюарт А. Теория распределений. М.: Наука, 1966. 588 с.
- 3 Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. М.: Мир, 1967. Т. 2. 752 с.
- 4 Карпов И.Г. Модификация уравнения Пирсона для односторонних законов распределения непрерывных случайных величин // Радиотехника, 1999. № 3. С. 60 – 65.

**КАФЕДРА "КОНСТРУИРОВАНИЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ И
микропроцессорных систем"**

УДК 536.629

Р.В. Пугачев

**ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ
В МЕТОДАХ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗА СЧЕТ УМЕНЬШЕНИЯ ВРЕМЕНИ РЕЛАКСАЦИИ
ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЗОНДАХ НА СТАДИИ ПОДГОТОВКИ
К ПОСЛЕДУЮЩЕМУ ИЗМЕРЕНИЮ**

Известно, что производительность измерений в методах неразрушающего контроля (НК) теплофизических свойств (ТФС) материалов и готовых изделий зависит не только от продолжительности самого теплофизического эксперимента (времени активного теплового воздействия на исследуемый объект, контроля и фиксирования необходимой измерительной информации), но и от продолжительности подготовительных операций между активными экспериментами, основное время из которых занимает охлаждение измерительной головки зонда до температуры окружающей среды или исследуемых объектов. Практика теплофизических измерений показывает, что время охлаждения подложек измерительных зондов (время релаксации температурных полей в измерительных зондах) составляет не менее 30...40 мин, тогда как активный этап эксперимента в методах НК ТФС материалов составляет не более 3...5

мин. Поэтому сокращение времени релаксационных температурных процессов в измерительных зондах позволит уменьшить интервал времени между активными стадиями теплофизических экспериментов, что в итоге существенно повысит эффективность и производительность эксплуатации средств НК ТФС в практике теплофизических измерений.

В статье предлагается новый метод, позволяющий существенно повысить производительность измерений средств НК ТФС изделий. Суть его состоит в следующем. В термозонде для реализации методов неразрушающего контроля [1], содержащем корпус со встроенной в него измерительной головкой, на поверхности подложки которой размещены линейный нагреватель и термочувствительные элементы в виде термобатареи, состоящей из двух последовательно соединенных дифференциальных термопар, электроды которых расположены в канавках теплоизолятора параллельно линии нагревателя и на заданном расстоянии от него, заменяют материал теплоизоляционной подложки с низкой теплопроводностью на материал с более высокой теплопроводностью (не менее, чем на порядок), а также помещают датчик теплового потока внутрь подложки на расстоянии, равном половине толщины подложки в плоскости, проходящей через линию нагревателя и перпендикулярно контактной плоскости.

При проведении первого измерения измерительная головка приводится в контакт с поверхностью исследуемого объекта и от нагревателя подается тепловое воздействие импульсами определенной частоты и мощности. При этом с основной термобатареи снимается информация о температурно-временных изменениях в плоскости контакта подложки измерительной головки термозонда и поверхности исследуемого объекта, а также датчиком теплового потока производится измерение теплового потока, поступающего в подложку с момента начала эксперимента и до момента окончания теплового воздействия от линейного источника тепла. После получения необходимой информации о температурно-временных изменениях в плоскости контакта термозонда и исследуемого объекта прекращают тепловое воздействие от источника тепла. Термозонд снимают с поверхности объекта и помещают контактной поверхностью измерительной головки на полубесконечный в тепловом отношении образец из материала, близкого по теплофизическим свойствам к материалу подложки термозонда, а искомые теплофизические свойства определяют по соотношениям:

$$a = \frac{x^2}{4} \frac{\frac{T_1}{\Delta\tau^2} \sum_{i=1}^{n^2} \frac{1}{i^2} - \frac{T_2}{\Delta\tau^2} \sum_{i=1}^{n^1} \frac{1}{i^2}}{\frac{T_1}{\Delta\tau} \sum_{i=1}^{n^2} \frac{1}{i} - \frac{T_2}{\Delta\tau} \sum_{i=1}^{n^1} \frac{1}{i}}; \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{Q}{2\pi T_1 \Delta\tau} \sum_{i=1}^{n^2} \frac{1}{i} \exp\left(-\frac{x^2}{4a\Delta\tau i}\right), \quad (2)$$

ГДЕ I – РЯД НАТУРАЛЬНЫХ ЧИСЕЛ, $\tau_i = \Delta\tau I$; $\Delta\tau$ – ВРЕМЯ МЕЖДУ ИМПУЛЬСАМИ; Q_I – МОЩНОСТЬ, ВЫДЕЛЯЕМАЯ I -ЫМ ИМПУЛЬСОМ, ВТ/М; λ – ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ МАТЕРИАЛА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОЙ ПОДЛОЖКИ, ВТ/М·К; A – ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТЬ МАТЕРИАЛА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОЙ ПОДЛОЖКИ, М²/С; X – РАССТОЯНИЕ ОТ ЛИНЕЙНОГО ИСТОЧНИКА ТЕПЛА ДО ТОЧКИ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПЛОСКОСТИ КОНТАКТА ПОДЛОЖКИ И ИССЛЕДУЕМОГО ОБРАЗЦА, М; N – ЧИСЛО ИМПУЛЬСОВ; T_1, T_2 – ЗНАЧЕНИЕ КОНТРОЛИРУЕМОЙ ИЗБЫТОЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В МОМЕНТЫ ВРЕМЕНИ τ_1 И τ_2 СООТВЕТСТВЕННО.

ТАК, КАК ТЕПЛОПРОВОДЯЩАЯ ПОДЛОЖКА В ПРЕДЛАГАЕМОМ ЗОНДЕ ВЫПОЛНЕНА ИЗ МАТЕРИАЛА С БОЛЕЕ ВЫСОКОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬЮ, ТО ЧАСТЬ ТЕПЛА БУДЕТ УХОДИТЬ В ПОДЛОЖКУ, ЧТО ОПИСЫВАЕТСЯ ВЫРАЖЕНИЕМ

$$T(x, \tau_i) = \sum_{i=1}^n \frac{Q - \Delta Q}{2\pi\lambda\tau_i} \exp\left(-\frac{x^2}{4a\tau_i}\right), \quad (3)$$

ГДЕ ΔQ – ТЕПЛО, КОТОРОЕ ПОСТУПАЕТ В ТЕПЛОПРОВОДЯЩУЮ ПОДЛОЖКУ С ВЫСОКОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬЮ, ИЗМЕРЕННОЕ ПОМЕЩЕННЫМ В НЕЕ ДАТЧИКОМ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА.

РАСЧЕТ РАСХОДА ТЕПЛА ΔQ В ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННУЮ ПОДЛОЖКУ ПРОВОДИТСЯ ПО ФОРМУЛЕ [2]

$$\Delta Q = \int_{\tau_1(S)}^{\tau_2} \int \lambda \left(\frac{\partial T}{\partial h} \right) dS d\tau, \quad (4)$$

ТАК КАК $q = \lambda \frac{\partial T}{\partial h}$, ТО ФОРМУЛА (4) МОЖЕТ БЫТЬ ЗАПИСАНА В ВИДЕ

$$\Delta Q = S \int_{\tau_1}^{\tau_2} q d\tau = Sq\Delta\tau, \quad (5)$$

где S – площадь датчика теплового потока; h – толщина подложки; $\Delta\tau$ – время поступления теплового потока в теплоизоляционную подложку, т.е. время от начала подачи теплового воздействия (время начала эксперимента) до времени окончания снятия всей измерительной информации: T_i, q_i .

Используя соотношения (4-5), определяется количество тепла, ушедшее в подложку, что позволяет внести соответствующую коррекцию при расчете искомых ТФС по соотношениям (1-2).

Расчетные и экспериментальные данные показали что, замена материала теплоизоляционной подложки с низкой теплопроводностью на материал с более высокой теплопроводностью позволяет сократить время устранения температурного градиента по всему объему подложки (усреднение температуры) до 10...15 мин В результате этого можно в 2-3 раза уменьшить время температурных релаксационных процессов в подложке зонда и увеличить производительность измерений в целом (табл. 1).

Кроме того, дополнительно размещенный в теплоизоляционной подложке датчик теплового потока позволил учесть ранее неучтенные тепловые потери в подложку, что повысило точность измерений в среднем на 7...10 %.

1 Время устранения температурного градиента (релаксации) в зависимости от материала теплоизоляционной подложки толщиной 8 мм при одинаковом количестве импульсов n и одинаковой мощности, через $\Delta\tau = 1$ с

Материал	Свойства материала		Время устранения температурного градиента, с		
	$A, \text{ М}^2/\text{С}$	$\Lambda, \text{ Вт/М}\cdot\text{К}$	$n = 40$	$n = 50$	$n = 60$
РИПОР	$4,61 \cdot 10^{-7}$	0,028	270	310	370
ОРГ-СТЕКЛО	$1,06 \cdot 10^{-7}$	0,195	130	160	190
КВАРЦ	$8,74 \cdot 10^{-7}$	1,35	10	11	13

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕННЫХ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗРАБОТАННОГО ТЕРМОЗОНДА ПОДТВЕРЖДАЮТ КОРРЕКТНОСТЬ ВЫШЕПРИВЕДЕННЫХ ВЫВОДОВ О ПОВЫШЕНИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ С СОХРАНЕНИЕМ ТРЕБУЕМОЙ ДЛЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ТОЧНОСТИ. ПОЭТОМУ МОЖНО ПРЕДПОЛОЖИТЬ, ЧТО В СТАТЬЕ ПОДХОД НАЙДЕТ ШИРОКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ В ПРАКТИКЕ НК ТФС МАТЕРИАЛОВ И ГОТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ.

1 ПАТ. РФ № 2170423 РФ. ТЕРМОЗОНД ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ И ГОТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ / В.Н. ЧЕРНЫШОВ, З.М. СЕЛИВАНОВА. ЗАРЕГИСТРИРОВАН 10.07.2001.

2 ЛЫКОВ А.В. ТЕОРИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ. М.: ВЫСШАЯ ШКОЛА, 1967. 599 С.

КАФЕДРА "КРИМИНАЛИСТИКА И ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ПРАВОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ"
УДК 536.629;681.325.5

А.В. Чернышов

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТРЕХСЛОЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ С БЕСКОНТАКТНЫМ ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАРУЖНЫХ СЛОЕВ

Для решения задач экономии топливноэнергетических ресурсов в строительстве, т.е. задач энергосбережения, необходимо определение теплотехнических характеристик (в основном сопротивление теплопередаче и теплопотерям) наружных ограждающих конструкций: стеновых панелей, стыковых соединений, элементов кровли, полов и т.д. Поэтому разработка и внедрение методов и технических средств оперативного неразрушающего контроля (НК), обеспечивающих определение теплофизических характеристик многослойных (трехслойных) наружных ограждающих конструкций и изделий, является весьма актуальными как в строительстве, так и других отраслях народного хозяйства.

В статье предлагается метод оперативного НК теплофизических свойств (ТФС) трехслойных изделий, например, конструкций стеновых панелей в реальных условиях их эксплуатации. Суть разработанного метода заключается в следующем.

В начале определяют ТФС наружных слоев конструкций, для чего над одним из исследуемых наружных слоев изделия *1* помещают точечный источник тепловой энергии *2* (лазер) и термоприемник *3* (рис. 1), сфокусированный на поверхность, подверженную тепловому воздействию, и регистрирующий температуру этой поверхности по ее электромагнитному излучению. Первоначально термоприемник фокусируют в точку поверхности первого наружного слоя исследуемого объекта, находящуюся на расстоянии R_1 от центра пятна нагрева и начинают перемещение источника энергии и термоприемника (измерительной головки) над исследуемым изделием со скоростью V . Осуществляют изменение частоты подачи тепловых импульсов от источника тепла (лазера) прерыванием луча фотозатвором *4* до тех пор, пока измеряемая термоприемником *3* избыточная температура в контролируемых точках поверхности исследуемого объекта станет равной заданному значению $T_{1зад}$, т.е. $T(R_1) = T_{1зад}$, при этом фиксируется установившаяся частота подачи тепловых импульсов от источника F_{x1} . Далее термоприемник фокусируют в точку поверхности исследуемого объекта, находящуюся на расстоянии R_2 от центра пятна нагрева. Аналогично вышеописанным процедурам осуществляется изменение частоты подачи тепловых импульсов от источника тепла до тех пор, пока

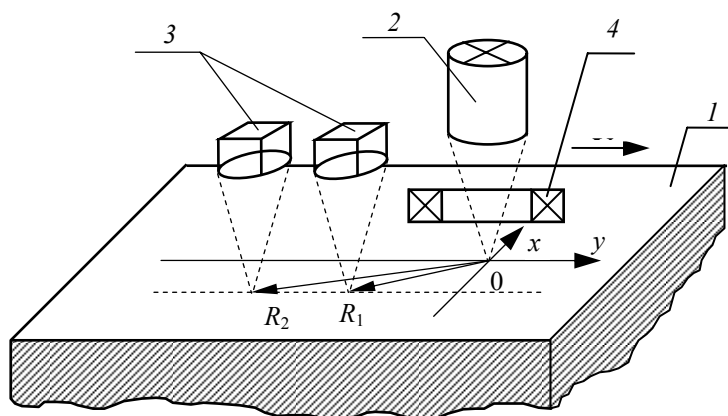


Рис. 1 *Схема бесконтактного контроля ТФС наружных слоев конструкций*

контролируемая термоприемником избыточная температура на расстоянии R_2 станет равной заданному значению $T_{1\text{зад}}$, т.е. $T(R_2) = T_{1\text{зад}}$, при этом фиксируется установившаяся частота подачи тепловых импульсов от источника F_{x2} .

Величина избыточной температуры $T_{1\text{зад}}$ задается в диапазоне 30...50 % от температуры термодеструкции исследуемого материала, а изменение частоты подачи тепловых импульсов от источника тепла в процессе теплофизического эксперимента осуществляют в соответствии с зависимостью

$$\Delta F_i = K_1 \Delta T_i + \frac{1}{K_2} \int_{\tau_{j-1}}^{\tau_j} \Delta T(\tau) d\tau + K_3 \left. \frac{d[\Delta T_i(\tau)]}{d\tau} \right|_{\tau=\tau_i},$$

где $\Delta T(\tau) = T_{1\text{зад}} - T(\tau)$ – разность между наперед заданным значением и текущим значением контролируемой температуры; $\Delta T_i = T_{1\text{зад}} - T(\tau)$ – разность между заданной и текущей температурой в моменты времени τ_i , K_i ($i = 1...3$) – коэффициенты пропорциональности, задаваемые перед началом эксперимента.

Таким образом, определив установившуюся частоту подачи тепловых импульсов источника тепла F_{x1} и F_{x2} , при которых значения контролируемых избыточных температур в точках R_1 и R_2 соответственно равны наперед заданному значению $T_{1\text{зад}}$, искомые ТФС первого наружного слоя изделия можно определить по зависимостям, полученным на основании решения краевой задачи теплопроводности при воздействии движущегося точечного источника тепла на полубесконечное в тепловом отношении тела и изложенного выше алгоритма измерения. При этом для определения коэффициента температуропроводности получено соотношение в виде

$$a = \frac{V(R_1 - R_2)}{2 \ln \frac{F_{x1} R_1}{F_{x2} R_2}}, \quad (1)$$

а искомый коэффициент теплопроводности определяется по формуле

$$\lambda = \frac{F_{x1} q_{\text{имп}}}{2\pi T(R_1) R_1} \exp\left(-\frac{V(R_1 - x)}{2a}\right), \quad (2)$$

где $q_{\text{имп}}$ – количество тепла, выделяемое одним тепловым импульсом.

Для определения ТФС второго наружного слоя конструкции измерительную головку (лазер и термоприемник) фокусируют на поверхность второго слоя, осуществляют вышеизложенные измерительные процедуры и, определив частоты импульсов F_{x1} и F_{x2} , по соотношениям (1) и (2) рассчитывают искомые ТФС второго наружного слоя.

Для определения ТФС материалов внутреннего слоя конструкции на каждую из наружных поверхностей многослойной конструкции (рис. 2) устанавливаются по одному зонду, в плоскости контакта первого из которых расположены дисковый нагреватель ДН, а также термопара Tn_1 , помещенная в центр контактной плоскости дискового нагревателя. В плоскости контакта второго термозонда расположены датчик теплового потока Tq , а в центре круга датчика теплового потока вмонтирована вторая термопара Tn_2 . Нагреватель и термопара первого зонда закрыты по внешней от контактной плоскости стороне теплоизоляционным материалом типа рипора или асбеста, обеспечивая направленное движение теплового потока на наружную поверхность конструкции и препятствуя теплообмену в других направлениях, тем самым создаются условия реализации адиабатического режима нагрева.

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_x , а также температуру в плоскостях 1 и 4 (T_1 и T_4) (рис. 2) с помощью термопар Tn_1 и Tn_2 , а искомую теплопроводность внутреннего слоя определяют по соотношению, полученному с использованием электротепловой аналогии [1] для трехслойной теплофизической системы и имеющей вид

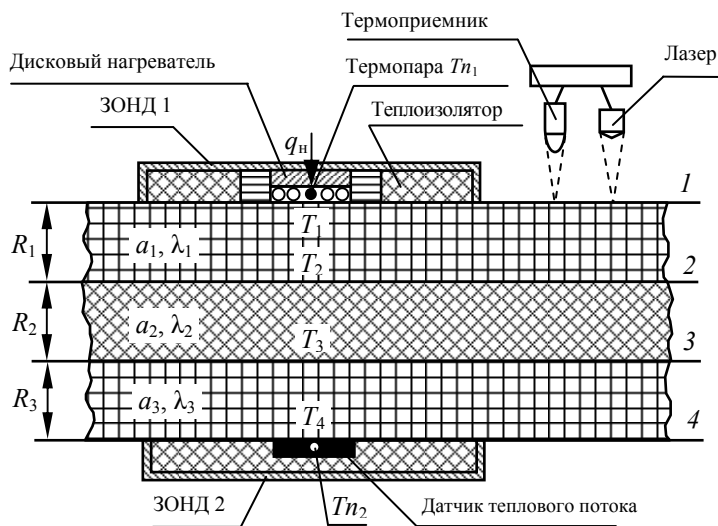


Рис. 2 Схема контроля ТФС внутреннего слоя

$$\lambda_2 = \frac{q_x R_2}{(T_2 - T_3)} = \frac{q_x R_2}{\left(T_1 - q_x \frac{R_1}{\lambda_1}\right) \left(T_4 - q_x \frac{R_3}{\lambda_3}\right)}, \quad (3)$$

где λ_1 и λ_3 измеренные ранее коэффициенты теплопроводности 1-го и 3-го наружных слоев конструкции, имеющих толщину R_1 и R_3 .

Температуропроводность внутреннего слоя конструкции определяется из аналитического решения [2], описывающего распределение температуры по толщине R_2 слоя материала во времени, имеющем вид

$$T_2 - T_3 = \Delta T(R_2, \tau) = \frac{2q_x}{\lambda} \sqrt{a_2 \tau} \operatorname{ierfc}\left(\frac{R_2}{2\sqrt{a_2 \tau}}\right). \quad (4)$$

Имея информацию о λ и q_x и используя известные подробные таблицы для определения функции кратного интеграла вероятности $\operatorname{ierfc} z$, численным методом из выражения (4) легко определить искомый коэффициент температуропроводности a_2 .

Проведенные теплофизические эксперименты на трехслойных конструкциях со слоями из материалов с известными ТФС показали работоспособность предложенного метода НК и корректность основных теоретических выводов, положенных в основу создания этого метода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Дульнев Г.Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре. М.: Высшая школа, 1984. 247 с.
- 2 Козлов В.П. Двумерные осесимметричные нестационарные задачи теплопроводности / Под ред. А.Г. Шашкова. Минск: Наука и техника, 1986. 392 с.

КАФЕДРА "КРИМИНАЛИСТИКА И ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ПРАВОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ"

УДК 536.2.083

Р.В. Попов, Э.В. Сысоев

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В
ИССЛЕДУЕМЫХ ОБЪЕКТАХ ПРИ БЕСКОНТАКТНОМ**

ВОЗДЕЙСТВИИ НА НИХ НЕПОДВИЖНОГО ТОЧЕЧНОГО ИСТОЧНИКА ТЕПЛА

В основе большого количества методов бесконтактного неразрушающего контроля (НК) теплофизических свойств (ТФС) твердых материалов лежат математические модели, описывающие процесс распространения тепла в исследуемых объектах при воздействии на них подвижного точечного источника тепла постоянной мощности [1 – 4]. Подобные методы обладают рядом определенных недостатков. Так, во многих из них вообще не учитываются тепловые потери, происходящие с открытой поверхностью исследуемого объекта в окружающую среду за счет конвективного и лучистого теплообмена, а также потери, вызванные частичным отражением лазерного луча от поверхности тела [1, 2].

В последнее время появились разработки, основанные на использовании подвижного источника тепла и позволяющие при помощи различных компенсационных методов в той или иной степени учесть влияние тепловых потерь на точность результатов измерения ТФС [3, 4].

Однако, особенностью всех методов НК ТФС материалов, использующих подвижную измерительную головку, является то, что в процессе измерений при ее движении над поверхностью образца происходит изменение его свойств (шероховатости, степени черноты) в зависимости от местоположения пятна нагрева, обусловленное тем, что свойства поверхности материала, как правило, не являются однородными по всей его площади. Это не позволяет в полной мере компенсировать тепловые потери, вызванные отражением луча лазера от поверхности образца, поскольку по мере движения пятна нагрева коэффициент поглощения в каждой из точек теплового воздействия будет постоянно изменяться.

Еще один, общий недостаток рассматриваемых методов – наличие механически подвижных узлов, вносящих дополнительные погрешности в результаты измерений.

Для устранения недостатков, присущих рассмотренным выше методам измерения ТФС материалов, разработана математическая модель процесса распространения тепла в исследуемых объектах при бесконтактном воздействии на них от неподвижного точечного источника тепла. За основу модели взято известное уравнение, описывающее процесс распространения тепла непрерывного точечного источника мощностью q , выделяющегося на поверхности полубесконечного в тепловом отношении тела, и имеющее следующий вид [5]

$$T(R, \tau) = \frac{q}{4\pi\lambda R} \left[1 - \Phi \left(\frac{R}{\sqrt{4a\tau}} \right) \right] + T_c, \quad (1)$$

где $T(R, \tau)$ – температура в рассматриваемой точке, К; T_c – температура окружающей среды, К; τ – время с момента начала действия источника тепла, с; $R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ – расстояние от источника тепла q до рассматриваемой точки тела с координатами x, y, z , м; a – коэффициент температуропроводности, м²/с; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); Φ – функция интеграла вероятности.

НЕПОСРЕДСТВЕННОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УРАВНЕНИЯ (1) ЯВЛЯЕТСЯ ЗАТРУДНИТЕЛЬНЫМ ИЗ-ЗА НЕВОЗМОЖНОСТИ ВЫРАЗИТЬ ИЗ НЕГО В АНАЛИТИЧЕСКОМ ВИДЕ КОЭФФИЦИЕНТ ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ a . РЕШИТЬ ЭТУ ЗАДАЧУ МОЖНО ПУТЕМ АППРОКСИМАЦИИ ФУНКЦИИ ИНТЕГРАЛА ВЕРОЯТНОСТИ Φ БОЛЕЕ ПРОСТЫМ ВЫРАЖЕНИЕМ (ПРИ НАЛОЖЕНИИ ОПРЕДЕЛЕННЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ НА ПОЛУЧЕННУЮ В РЕЗУЛЬТАТЕ МАТЕМАТИЧЕСКУЮ МОДЕЛЬ). РАСЧЕТЫ ПОКА-

ЗАЛИ, ЧТО ДЛЯ МАТЕРИАЛОВ С КОЭФФИЦИЕНТОМ ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ

$a \geq 10^{-7}$ М²/С ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ УСЛОВИЯ $\frac{R}{\sqrt{\tau}} \leq 0,0003$ ФУНКЦИЮ $\Phi \left(\frac{R}{\sqrt{4a\tau}} \right)$ В (1) МОЖНО

ЗАМЕНИТЬ ДРОБЬЮ $\frac{R}{\sqrt{\pi a \tau}}$, ПРИЧЕМ ПОГРЕШНОСТЬ ВЫЧИСЛЕНИЯ $T(R, \tau)$ В ЭТОМ

СЛУЧАЕ НЕ ПРЕВЫСИТ 1 %.

С учетом данной замены можно записать следующее выражение, описывающее процесс распространения тепла при действии непрерывного точечного источника тепла на поверхность полуограниченного в тепловом отношении тела

$$T(R, \tau) = \frac{q}{4\pi\lambda R} \left[1 - \frac{R}{\sqrt{\pi a \tau}} \right] + T_c. \quad (2)$$

Выражение (2) не учитывает тепловые потери, вызванные неполным поглощением тепловой энергии источника тепла поверхностью исследуемого объекта, а также конвективным и лучистым теплообменом поверхности исследуемого тела с окружающей средой. Кроме того, часть тепла поглощается окружающей средой при прохождении через нее излучения от источника тепла до объекта исследования в результате молекулярного поглощения и рассеяния на частицах пыли и влаги, содержащихся в окружающей среде (атмосфере).

На основе выражения (2) была разработана математическая модель [6], учитывающая влияние тепловых потерь

$$T(R, \tau) = T - T_c = \frac{\varepsilon\beta q_{\text{ит}} - q_{\text{кл}}}{4\pi\lambda R} \left(1 - \frac{R}{\sqrt{\pi a \tau}} \right), \quad (3)$$

где ε – коэффициент излучения поверхности нагретого тела; β – прозрачность окружающей среды; $q_{\text{ит}}$ – мощность точечного источника тепла; $q_{\text{кл}} = q_{\text{к}} + q_{\text{л}}$ – суммарные потери, вызванные конвективным и лучистым теплообменом поверхности тела с окружающей средой.

Наибольшее влияние на температурное поле поверхности полубесконечного в тепловом отношении тела при действии на него неподвижного точечного источника тепла оказывает коэффициент излучения поверхности тела ε , поскольку для большинства твердых непрозрачных материалов он может иметь значение от 0,2 до 0,9. На температурное поле материалов с малым значением коэффициента теплопроводности λ большое влияние также оказывают потери $q_{\text{кл}}$. В большинстве задач теплового контроля эффект поглощения окружающей средой части энергии излучения источника тепла (параметр β) несущественен ввиду малого расстояния до объекта, однако на территории промышленных объектов, где атмосфера может быть загрязнена различными примесями (пыль, влага и др.), его влияние значительно возрастает. Кроме того, параметры ε и $q_{\text{кл}}$ зависят также и от температуры.

Так как параметры ε , β и $q_{\text{кл}}$ весьма трудно измерить с требуемой для теплофизического эксперимента точностью, то основной задачей при разработке методов бесконтактного НК ТФС материалов является минимизация влияния этих параметров на результаты измерений искомым ТФС, чего можно достичь за счет использования различных компенсационных методов.

На основе полученной математической модели разработан бесконтактный метод НК ТФС твердых материалов [6], заключающийся в воздействии на поверхность исследуемого образца неподвижным точечным источником тепла определенной мощности и проведении на этой поверхности пространственно-температурных измерений. Тепловое воздействие на исследуемый объект осуществляют от лазера, а контроль избыточных температур на поверхности объекта осуществляется по ее электромагнитному излучению двумя термоприемниками.

Таким образом, использование разработанной математической модели при создании новых методов бесконтактного НК ТФС материалов позволяет избавиться от недостатков, присущих методам с подвижной измерительной головкой, и в большей степени уменьшить влияние параметров ε , β , $q_{\text{кл}}$ на результаты измерений искомым ТФС, что существенно повышает метрологический уровень создаваемых методов и повышает эффективность применения представленной в статье модели в теории и практике бесконтактных теплофизических измерений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 А.с. 1056015 СССР, МКИ G01N 25/18. Способ определения теплофизических свойств материалов / Ю.А. Попов, В.В. Березин, В.М. Коростелев. Заявл. 30.04.82; Оpubл. 23.11.83.

2 А.с. 1193555 СССР, МКИ G01N 25/18. Способ комплексного определения теплофизических характеристик материалов без нарушения их целостности / В.Н. Чернышов. Заявл. 16.05.84; Оpubл. 23.11.85.

3 Пат. 2166188 РФ. Бесконтактный адаптивный способ неразрушающего контроля теплофизических характеристик материалов / Т.И. Чернышова, Э.В. Сысоев. Заявл. 5.01.2000; Оpubл. 27.04.2001.

4 Пат. 2168168 РФ. Способ бесконтактного контроля теплофизических характеристик материалов / Т.И. Чернышова, Э.В. Сысоев. Заявл. 4.08.1999; Оpubл. 27.05.2001.

5 Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. М.: Наука, 1964. 487 с.

6 Попов Р.В., Чернышов В.Н., Сысоев Э.В. Метод бесконтактного неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов и устройство для его осуществления // Контроль. Диагностика, 2004. № 12 (78). С. 37 – 42.

КАФЕДРА "КРИМИНАЛИСТИКА И ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ПРАВОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ"

УДК 658

*И.А. Ибрахим**

СТРАТЕГИЧЕСКОЕ ПАРТНЕРСТВО В ЭНЕРГОСБЕРГАЮЩЕМ УПРАВЛЕНИИ

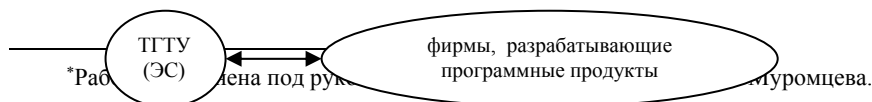
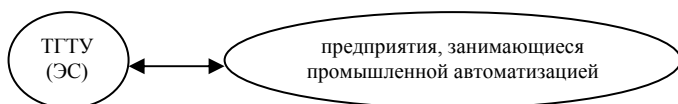
В российских вузах ведется активная научно-исследовательская работа в различных отраслях. Имеется целый ряд научно-технических разработок, которые пока не дошли до народного хозяйства. Поэтому в настоящий момент вузам приходится брать на себя поиск путей продвижения своих разработок на российские и зарубежные рынки. Так как вузы не являются ни производственными, ни торговыми предприятиями они должны, прежде всего, вступить в партнерские отношения как с производителями, так и с продавцами. Отчасти решить эту задачу может участие в конкурсных программах и создание собственных рекламных продуктов.

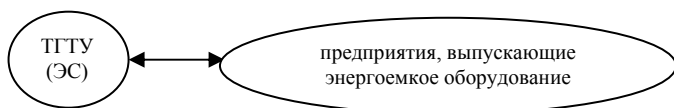
На кафедре КРЭМС ТГТУ выполнен ряд работ по созданию систем энергосберегающего управления, которые позволяют снижать потребление энергии. Для тепловых аппаратов это снижение достигается за счет определения оптимального режима, например, разогрева, при котором минимизируются суммарные потери тепла в окружающую среду. Теперь важной задачей является продвижение данного продукта на рынок. Наиболее эффективным способом достижения результата, на наш взгляд, является создание стратегического партнерства.

Под термином "стратегическое партнерство" подразумеваются такие виды сотрудничества, как долгосрочные соглашения о поставках, продажа лицензий, стратегические альянсы, совместные предприятия, а также сотрудничество типа "поставщик – производитель" для достижения существенных целей и задач, которые являются взаимовыгодными между независимыми организациями, [1]. На рис. 1 представлены возможные для ТГТУ виды связей. Наиболее предпочтительные приведенные схемы совместной работы подразумевают использование для ТГТУ трех типов партнеров.

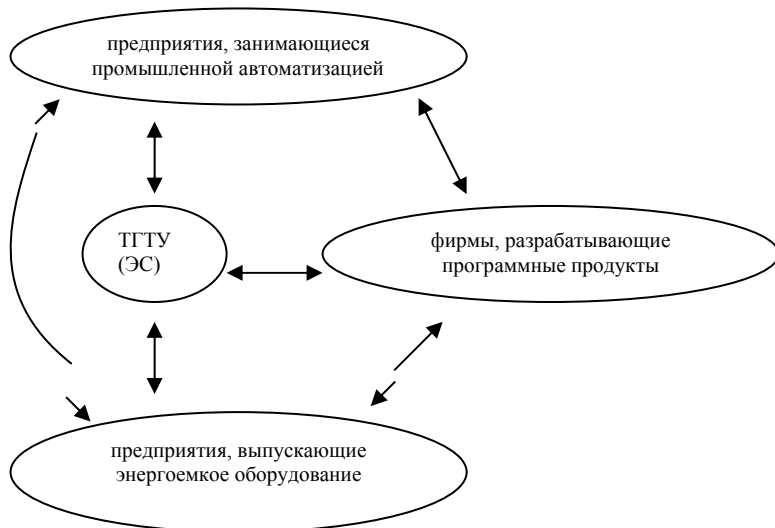
1 Предприятия, занимающиеся проектированием систем промышленной автоматизации. Для них ТГТУ производит алгоритмическое и программное обеспечение с использованием имеющейся экспертной системы (ЭС) "Энергосберегающее управление динамическими объектами" [2].

2 Фирмы, выпускающие программные продукты. Совместно с ними ТГТУ разрабатывает новые программные средства;





а)



б)

Рис. 1 Варианты совместной работа с партнерами:

Варианты двухстороннего партнерства (а), четырехстороннее партнерство (б)

3 Предприятия-производители энергоемкого оборудования. Здесь ТГТУ внедряет (возможно с другими партнерами) алгоритмы энергосберегающего управления.

Стратегическое партнерство принесет выгоду для всех участников. Будет сокращен временной промежуток между получением научно-технических результатов и появлением серийного продукта, уменьшатся затраты на проведение новых исследований, появится реальная возможность проникнуть на новые российские и зарубежные рынки через маркетинговую сеть партнеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Агеева Н.Г., Дмитриев О.Н., Минаев Э.С. Менеджмент для инженера: Учебник. В 3 ч. Основы менеджмента. Ч. 1 / Под ред. Э.С. Минаева. М.: Высшая школа; Доброе слово, 2002.
- 2 Муромцев Ю.Л., Орлова Л.П., Фролов Д.А. Экспертная система для решения задач энергосберегающего управления // Компьютерная хроника, 1997. № 12. С. 71 – 89.

УДК 621.1.08

Н.П. Жуков, Н.Ф. Майникова, А.С. Чех, С.С. Никулин

*МЕТОД НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
РЕЛАКСАЦИОННЫХ ПЕРЕХОДОВ
В ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛАХ*

Известные решения краевых задач теплопроводности стефановского типа сложны для их использования в методах неразрушающего контроля (НК) релаксационных переходов в полимерных материалах [1, 2]. Указанные обстоятельства требуют разработки новых моделей, пригодных к использованию при НК структурных переходов, в том числе релаксационных.

Разработанный метод НК включает: тепловое воздействие на участок поверхности исследуемого полимерного тела от плоского круглого источника тепла постоянной мощности, встроенного в измерительный зонд; одновременное фиксирование температурных откликов (термограмм) в заданных точках поверхности тела несколькими термодарами; пошаговую обработку термограмм по разработанным алгоритмам с помощью информационно-измерительной системы (ИИС); фиксирование аномалий теплофизических характеристик (ТФХ) на температурных зависимостях [3].

Распространение тепла в твердых полуограниченных телах от плоского круглого нагревателя постоянной мощности, расположенного в плоскости их контакта, с учетом тепловых эффектов возможных структурных переходов в одном из тел, описывается следующей системой дифференциальных уравнений (с соответствующими начальными и граничными условиями):

$$\frac{\partial T_1(r, z, \tau)}{\partial \tau} = a_1 \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r \frac{\partial T_1(r, z, \tau)}{\partial r} \right] + \frac{\partial^2 T_1(r, z, \tau)}{\partial z^2} \right) + \frac{F_n(r, z, \tau)}{c_1 \rho_1},$$

$$(\tau > 0, z > 0, r \geq 0);$$

$$\frac{\partial T_2(r, z, \tau)}{\partial \tau} = a_2 \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r \frac{\partial T_2(r, z, \tau)}{\partial r} \right] + \frac{\partial^2 T_2(r, z, \tau)}{\partial z^2} \right), (\tau > 0, z < 0, r \geq 0);$$

где F_n – количество поглощаемого или выделяемого тепла в единицу времени в единице объема исследуемого полимерного тела при структурном переходе.

Определить распределения температурных полей в данной системе в любой момент времени с учетом теплового эффекта F_n затруднительно, вследствие нелинейности задачи.

В основе метода лежат следующие предположения.

1 На термограмме имеются участки (рабочие), для которых вне зоны структурного превращения обеспечивается высокая точность совпадения результатов вычислительных экспериментов по аналитическим моделям с экспериментальными данными. Рабочим участкам соответствуют тепловые режимы опыта, вышедшие на стадии регуляризации [3].

2 ТФХ исследуемого материала до и после структурного превращения различаются несущественно в температурном интервале, соответствующем рабочему участку термограммы.

3 Структурные превращения, сопровождающиеся тепловыми эффектами, проявляются на экспериментальных термограммах и могут быть выявлены в виде отклонений от аналитических моделей.

Метод НК предусматривает выделение на термограммах нескольких участков, которые достаточно точно описываются аналитическими зависимостями, полученными при решении краевых задач теплопроводности с учетом ТФХ материалов, контактных сопротивлений и теплоемкостей элементов устройства и других факторов. Метод применен на моделях плоского и сферического полупространств, как на стадии нагрева, так и на стадии остывания [3]. Рассмотрим постановку и решение одной из таких задач.

Известно, что распределение температурного поля в исследуемом теле от плоского круглого источника тепла постоянной мощности радиуса R_n при $\tau \gg 0$ близко к распределению температурного поля в сферическом полупространстве со сферической полостью радиуса R ,

через которую осуществляется заданное тепловое воздействие с тем же тепловым потоком. Расчетное уравнение, описывающее термограмму на рабочем участке вне зоны структурного превращения, получено решением следующей краевой задачи.

Два полуограниченных тела с различными ТФХ (рис. 1) находятся в идеальном тепловом контакте с поверхностным сферическим источником тепла постоянной мощности радиуса R и плотностью теплового потока $q = q_1 + q_2$ при температуре $T(r, \theta, 0) = 0$. Вне сферы, в плоскости соприкосновения двух тел, существует тонкая идеальная теплоизоляция. Математически данная задача записывается следующим образом:

$$\frac{\partial T_1(r, \theta, \tau)}{\partial \tau} = a_1 \left(\frac{\partial^2 T_1(r, \theta, \tau)}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T_1(r, \theta, \tau)}{\partial r} + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial T_1(r, \theta, \tau)}{\partial \theta} \right) \right);$$

$$\left(r > R, 0 \leq \theta < \frac{\pi}{2}, \tau > 0 \right); \quad (1)$$

$$\frac{\partial T_2(r, \theta, \tau)}{\partial \tau} = a_2 \left(\frac{\partial^2 T_2(r, \theta, \tau)}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T_2(r, \theta, \tau)}{\partial r} + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial T_2(r, \theta, \tau)}{\partial \theta} \right) \right);$$

$$\left(r > R, \frac{\pi}{2} < \theta \leq \pi, \tau > 0 \right); \quad (2)$$

$$T_1(r, \theta, 0) \Big|_{r \geq R} = 0, \quad T_2(r, \theta, 0) \Big|_{r \geq R} = 0;$$

$$\Big|_{0 \leq \theta < \frac{\pi}{2}} \quad \Big|_{\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \pi}$$

$$T_1(\infty, \theta, \tau) \Big|_{0 \leq \theta < \frac{\pi}{2}} = T_2(\infty, \theta, \tau) \Big|_{\frac{\pi}{2} < \theta \leq \pi} = 0, \quad T_1(R, \theta, \tau) \Big|_{0 \leq \theta < \frac{\pi}{2}} = T_2(R, \theta, \tau) \Big|_{\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \pi};$$

$$\frac{\partial T_1(r, \theta, \tau)}{\partial \theta} \Big|_{\theta = \frac{\pi}{2} - 0} = \frac{\partial T_2(r, \theta, \tau)}{\partial \theta} \Big|_{\theta = \frac{\pi}{2} + 0} = 0, \quad \frac{\partial T_1(r, \theta, \tau)}{\partial \theta} \Big|_{\theta = 0} = \frac{\partial T_2(r, \theta, \tau)}{\partial \theta} \Big|_{\theta = \pi} = 0,$$

$$\Big|_{r > R} \quad \Big|_{r > R} \quad \Big|_{r > R} \quad \Big|_{r > R}$$

$$\Big|_{\tau > 0} \quad \Big|_{\tau > 0} \quad \Big|_{\tau > 0} \quad \Big|_{\tau > 0}$$

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1(R, \theta, \tau)}{\partial r} \Big|_{0 \leq \theta < \frac{\pi}{2}} = q_1, \quad -\lambda_2 \frac{\partial T_2(R, \theta, \tau)}{\partial r} \Big|_{\frac{\pi}{2} < \theta \leq \pi} = q_2, \quad \tau > 0.$$

Так как градиент температуры в каждом из рассматриваемых полуограниченных тел не зависит от координаты θ , и с учетом условия (3) решение задачи для первого (исследуемого) тела имеет вид [3]

$$T_1(r, \tau) = - \left(\frac{2qR^2(r-R)}{\sqrt{\pi} \sqrt{a_1} r (\lambda_1 + \lambda_2)} + \frac{2qR^3(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}{\sqrt{\pi} r (\lambda_1 + \lambda_2)^2} \right) \frac{1}{\sqrt{\tau}} + \frac{2qR^2}{(\lambda_1 + \lambda_2)r}, \quad \left(0 \leq \theta < \frac{\pi}{2} \right) \quad (4)$$

где $\lambda_1, \varepsilon_1, \lambda_2, \varepsilon_2$ – соответственно теплопроводности и тепловые активности первого и второго тел.

При равенстве тепловых потоков от моделируемых круглого и поверхностного сферического источника

тепла (при определенном соотношении их радиусов) уравнение (4) адекватно реальному

тепловому процессу вне зоны структурного превращения на определенном временном интервале.

Решение (4) может быть использовано в методе НК структурных переходов полимеров.

Преобразуем выражение (4) к виду:

$$T(r, \tau) = b_1 t + b_0, \quad (5)$$

где

$$b_1 = - \left(\frac{CB\varepsilon}{(\lambda + \lambda')\lambda} + \frac{B^2(\varepsilon + \varepsilon')}{A(\lambda + \lambda')^2} \right); \quad (6)$$

$$b_0 = \frac{B}{\lambda + \lambda'}; \quad (7)$$

$$t = \frac{1}{\sqrt{\tau}}; \quad A = \frac{2q\sqrt{\pi R}}{r}; \quad B = \frac{2qR^2}{r};$$

$$C = \frac{(r-R)}{\sqrt{\pi}}; \quad \lambda_1 = \lambda; \quad \lambda_2 = \lambda'; \quad \varepsilon_1 = \varepsilon; \quad \varepsilon_2 = \varepsilon'.$$

Параметры $A, B, C, \lambda', \varepsilon'$ – постоянные прибора, учитывающие конструктивные особенности устройства и режимы опыта; λ, ε – теплопроводность и тепловая активность исследуемого тела.

Постоянные прибора определяются из градуировочных экспериментов, значения коэффициентов b_0 и b_1 – по термограммам методом наименьших квадратов. Используя формулу (7), текущие значения λ_n^* для n -й термопары:

$$\lambda_n^* = \frac{B_n}{b_{0i_n}} - \lambda'_n, \quad B_n = \frac{b_{01_n} b_{02_n}}{b_{02_n} - b_{01_n}} (\lambda_{01} - \lambda_{02}), \quad \lambda'_n = \frac{\lambda_{01_n} b_{01_n} - \lambda_{02_n} b_{02_n}}{b_{02_n} - b_{01_n}},$$

(8)

здесь n – порядковый номер термопары, считая от центра зонда; B_n, λ'_n – постоянные прибора для n -й термопары; b_{0i_n} – текущие значения коэффициента; $\lambda_{01}, \lambda_{02}$ – теплопроводности образцовых мер; b_{01_n}, b_{02_n} – коэффициенты, определенные по термограммам, зафиксированным на образцовых мерах.

Для расчета текущих значений коэффициента b_{0i_n} , экспериментальную термограмму разбивают на интервалы с номерами точек $1 \dots k; 2 \dots k+1; u-k+1 \dots u$, где k – количество точек в интервале ($k \geq 3$), u – количество точек в термограмме.

Формулы (6) – (8) являются основой алгоритмического обеспечения ИИС.

На рис. 2 представлены зависимости $\lambda^* = f(T_s)$ и $b_{0i} = f(T_s)$, для изделия из блочного полиамида марки Капролон В, построенные по термограмме, зафиксированной в центре зонда. Условия эксперимента: начальная температура опыта $T_n = 23,3$ °С; радиус нагревателя $R_n = 4$ мм; мощность на нагревателе $W = 1,5$ Вт; временной шаг измерения температуры $\Delta t = 0,5$ с; толщина исследуемого изделия $H_n = 30$ мм.

На представленных зависимостях зарегистрирован релаксационный переход в Капролоне В при $T_n = 37$ °С. Полученный результат хорошо согласуется с литературными данными. Известно, что в блочном полиамиде марки Капролон В при данной температуре происходит релаксационный α -переход, связанный с сегментальным движением в аморфной части полимера.

Таким образом, разработанный авторами метод позволяет осуществлять неразрушающий контроль температурно-временных характеристик структурных переходов (фазовых и релаксационных) в полимерных материалах по ряду параметров. Без калибровочных экспериментов фиксирование аномалий на кривой зависимости b_{0i} от температуры позволяет проводить экспресс-анализ при выборе режимных параметров работы ИИС.

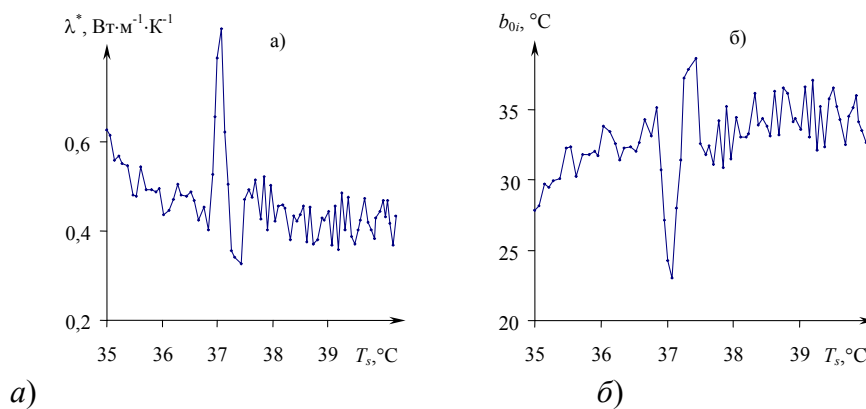


Рис. 2 Зависимости:
 $a - \lambda^* = f(T_s); \quad б - b_{0i} = f(T_s)$ для Капролона В
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Козлов В.П. Двумерные осесимметричные нестационарные задачи теплопроводности / Под ред. А.Г. Шашкова. Мн.: Наука и техника, 1986. 392 с.

2 Карташов Э.М. Аналитические методы в теории теплопроводности твердых тел. М.: Высшая школа. 2001. 550 с.

КАФЕДРА "ГИДРАВЛИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА"
МАШИНОСТРОЕНИЕ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ

УДК 621.774.07

Д.В. Зубков, Д.А. Турлаков, В.Л. Негров

ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ РАЗВАЛЬЦОВКИ ТРУБ В ТРУБНЫХ РЕШЕТКАХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

Теплообменные аппараты широко используются в процессах химической технологии и составляют 15...18 % парка оборудования предприятий химической промышленности.

Самой распространенной конструкцией теплообменников (около 80 %), является кожухотрубчатый теплообменник.

Одной из основных сборочных операций при изготовлении кожухотрубчатых теплообменников является крепление труб в трубных решетках образованием вальцовочного соединения.

Вальцовочное соединение представляет собой прочно-плотное закрепление трубы в отверстии трубной решетки, достигаемое раздачей конца трубы до возникновения напряженного контакта между стенками трубы и отверстия трубной решетки (рис. 1).

ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ ВАЛЬЦОВОЧНОГО СОЕДИНЕНИЯ В АППАРАТОСТРОЕНИИ ИСПОЛЬЗУЮТ СПЕЦИАЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ, НАЗЫВАЕМЫЙ ВАЛЬЦОВКОЙ. В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОНСТРУКЦИЙ КОЖУХОТРУБЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ И РАЗМЕРОВ ТРУБ ИСПОЛЬЗУЮТСЯ ВАЛЬЦОВКИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ (РИС. 2).

На рис. 3 представлена вальцовка, используемая на ОАО "Тамбовский завод "Комсомолец" им. Н.С. Артемова".

Вальцовку устанавливают внутрь трубы концом с роликами до упора фонаря δ (в не рабочем состоянии выполняющего роль держателя роликов) в поверхность трубной решетки. Затем перемещают вдоль оси

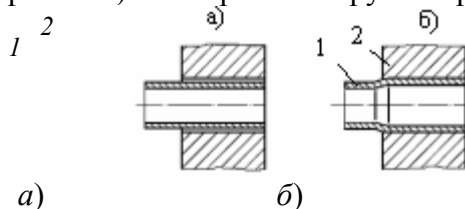


Рис. 1 Соединение трубы с трубной решеткой:

a – до развальцовки; *б* – после развальцовки;

1 – труба; *2* – трубная решетка

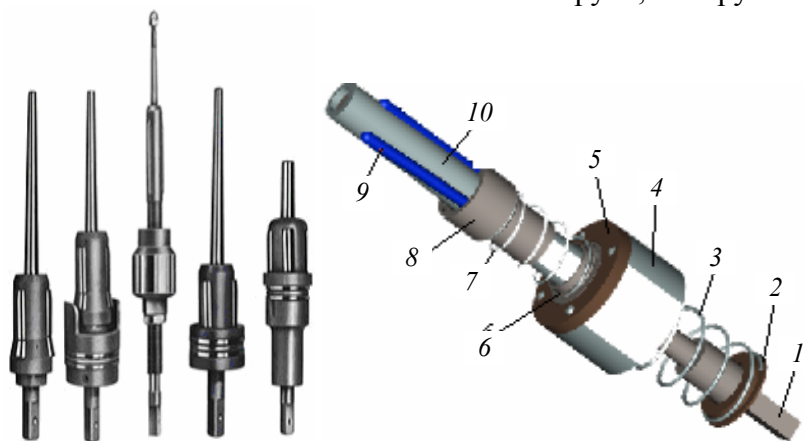


РИС. 2 ВАЛЬЦОВКИ

Рис. 3 Вальцовка используемая на

ОАО "Тамбовский завод "Комсомолец"
им. Н.С. Артемова":

1 – веретено; 2 – втулка; 3 – пружина;

4 – корпус; 5 – крышка; 6 – втулка;

7 – пружина; 8 – фонарь; 9 – ролик;

10 – корпус ролика

вальцовки коническое веретено 1, тем самым, раздвигая конические ролики 9, расположенные в пазах корпуса роликов 10, до появления между внутренней поверхностью трубы, роликами и веретеном надежного сцепления. После этого включается привод (электрический или пневматический) и веретену 1 сообщается вращение. Развальцовка трубы производится до определенного значения крутящего момента на веретене, определяемого плотностью соединения трубы с трубной решеткой.

Из опыта эксплуатации следует, что если ось паза ролика и ось корпуса расположены в одной плоскости (продольный паз), то срок службы вальцовки не велик, из-за разрушения корпуса роликов 10.

Это может быть объяснено наличием на отдельном ролике значительного момента сил трения, возникающего вследствие проскальзывания ролика по поверхности веретена.

НА РИС. 4 ИЗОБРАЖЕНО ВЕРЕТЕНО В КОНТАКТЕ С РОЛИКОМ, НА РИС. 5 – СЕЧЕНИЕ ВЕРЕТЕНА ПО ТОРЦАМ РОЛИКА.

Условно обозначим угловые скорости вращения торцов ролика ω_1 и ω_2 , соответственно диаметры – d_1 и d_2 . Угловая скорость веретена – ω , диаметры сечений веретена под торцами ролика – D_1 и D_2 .

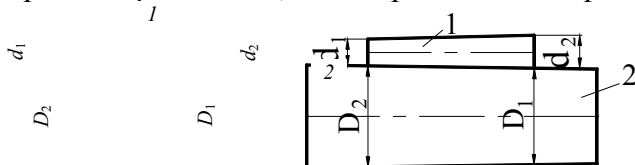


Рис. 4 Веретено в контакте с роликом:

1 – ролик; 2 – веретено

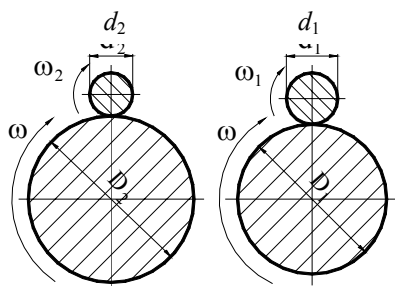


РИС. 5 СЕЧЕНИЯ ВЕРЕТЕНА ПО торцам ролика

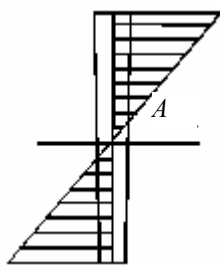


РИС. 6 ЭПЮРА СИЛ ТРЕНИЯ

Из кинематических соображений при отсутствии проскальзывания $\omega_1 = \omega D_1/d_1$, $\omega_2 = \omega D_2/d_2$. Очевидно, что D_2/d_2 больше D_1/d_1 и, следовательно, ω_1 меньше ω_2 . В действительности $\omega_1 = \omega_2$, так как ролик единое целое. Следовательно, обкатывание ролика по веретену без проскальзывания невозможно.

При проскальзывании ролика по поверхности веретена возникают силы трения, в совокупности образующие момент, который передается на корпус роликов, обостряя его напряженное состояние. Эпюра сил трения, действующих на ролик при его проскальзывании по поверхности веретена, изображена на рис. 6. Закон изменения сил трения вдоль оси ролика для простоты принят линейным. Эпюра изображена в предположении, что без проскальзывания обкатывается по веретену только часть ролика, принадлежащая окрестности сечения А.

РЕСУРС КОРПУСА РОЛИКОВ МОЖЕТ БЫТЬ УВЕЛИЧЕН ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ПАЗОВ РОЛИКОВ РАЗВЕРНУТЫМИ ОТНОСИТЕЛЬНО ОСИ КОРПУСА. В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ ИЗГОТАВЛИВАЮТ ВАЛЬЦОВКИ С УГЛОМ РАЗВОРОТА ОТНОСИТЕЛЬНО ОСИ КОРПУСА $0,5...4^\circ$. ПРИЧЕМ ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТАКИХ ВАЛЬЦОВОК ПОКАЗЫВАЕТ, ЧТО УМЕНЬШЕНИЕ УГЛА РАЗВОРОТА ПАЗОВ ПОЗВОЛЯЕТ УВЕЛИЧИТЬ РЕСУРС РАБОТЫ РОЛИКОВ И ПРИВОДИТ К ПОВЫШЕНИЮ КАЧЕСТВА ПОЛУЧАЕМОГО СОЕДИНЕНИЯ МЕЖДУ ТРУБОЙ И ТРУБНОЙ РЕШЕТКОЙ, НО ПРИ ЭТОМ СНИЖАЕТСЯ РЕСУРС РАБОТЫ КОРПУСА.

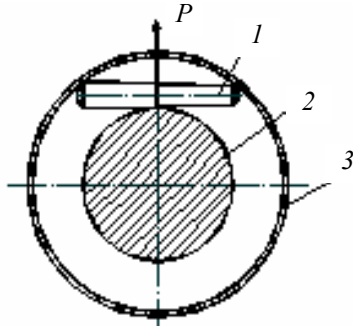


Рис. 7 Ролик, развернутый в корпусе:

1 – ролик; 2 – веретено;
3 – труба

НА РИС. 7 ИЗОБРАЖЕН РОЛИК 1, РАСПОЛОЖЕННЫЙ МЕЖДУ ВЕРЕТЕНОМ 2 И ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ РАЗВАЛЬЦОВЫВАЕМОЙ ТРУБЫ 3. УГОЛ РАЗВОРОТА ПАЗА, А, СЛЕДОВАТЕЛЬНО, И САМОГО РОЛИКА ОТНОСИТЕЛЬНО ОСИ КОРПУСА ДЛЯ НАГЛЯДНОСТИ ИЗОБРАЖЕН ПРЕУВЕЛИЧЕННО БОЛЬШИМ.

При таком расположении ролика при развальцовке на него со стороны веретена действует сосредоточенная сила P , приводящая к появлению знакопеременных напряжений изгиба в теле ролика, что, как известно, приводит к усталостному разрушению. Этим снижается ресурс работы ролика.

Из рис. 7 видно, что при развальцовке ролик работает не всей поверхностью, а только ее частями ближе к торцам, что снижает качество

развальцовки.

ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМ КАЧЕСТВОМ РАЗВОРОТА РОЛИКА ОТНОСИТЕЛЬНО ОСИ КОРПУСА ЯВЛЯЕТСЯ ОТСУТСТВИЕ МОМЕНТА СИЛ ТРЕНИЯ МЕЖДУ РОЛИКОМ И ВЕРЕТЕНОМ, ТАК КАК В ЭТОМ СЛУЧАЕ ДОСТИГАЕТСЯ ИХ ТОЧЕЧНЫЙ КОНТАКТ, ЧТО ОБЪЯСНЯЕТ УВЕЛИЧЕНИЕ РЕСУРСА КОРПУСА, ПО СРАВНЕНИЮ С КОНСТРУКЦИЕЙ КОРПУСА С ПРОДОЛЬНЫМИ ПАЗАМИ, КОГДА ИМЕЕТ МЕСТО ЛИНЕЙНЫЙ КОНТАКТ МЕЖДУ РОЛИКОМ И ВЕРЕТЕНОМ.

ИЗ ВЫШЕСКАЗАННОГО СЛЕДУЕТ, ЧТО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УСЛОВИЙ РАБОТЫ ВАЛЬЦОВКИ РАЗВОРОТОМ ПАЗА РОЛИКА ОТНОСИТЕЛЬНО КОРПУСА ПРИВОДИТ К НЕРАЗРЕШАЕМЫМ ПРОТИВОРЕЧИЯМ. ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ УГЛА РАЗВОРОТА ПОВЫШАЕТСЯ РЕСУРС КОРПУСА, НО СНИЖАЕТСЯ РЕСУРС РОЛИКА И КАЧЕСТВО РАЗВАЛЬЦОВКИ. ПРИ УМЕНЬШЕНИИ УГЛА РАЗВОРОТА СНИЖАЕТСЯ РЕСУРС КОРПУСА, НО ПОВЫШАЕТСЯ РЕСУРС РОЛИКА И КАЧЕСТВО РАЗВАЛЬЦОВКИ. ПОИСКОВЫЕ РАБОТЫ НОВЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РАБОТЫ ВАЛЬЦОВОК В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ ВЕДУТСЯ СОВМЕСТНЫМИ УСИЛИЯМИ КАФЕДРЫ "ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ" И ОАО "ТАМБОВСКИЙ ЗАВОД "КОМСОМОЛЕЦ" ИМ. Н.С. АРТЕМОВА".

*Кафедра "Техника и технологии машиностроительных производств"
ОАО "Тамбовский завод "Комсомолец" им. Н.С. Артемова"*

УДК 677.021.122.6

Г.С. Баронин, К.В. Шапкин

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЦЕССАХ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРОВ В ТВЕРДОЙ ФАЗЕ

Физической основой всех технологических процессов переработки полимеров в твердой фазе является развитие пластической деформации в условиях гидростатического давления. Механизмы пластической деформации и холодного течения полимеров являются в настоящее время предметом детального

изучения у нас и за рубежом в силу их теоретического и прикладного значения. Важную роль при этом играют методы и средства компьютерного моделирования и вычислительной механики.

Долгое время при изучении пластической деформации материалов в основе большинства численных методов лежали подходы, развиваемые в рамках механики сплошных сред, что во многом обусловлено спецификой рассматриваемых проблем, связанных с исследованием течения упруго-пластических сред.

При этом следует отметить, что даже для достаточно простых полимеров с квазиоднородной структурой возникновение областей локализованной деформации, например при переходе через предел текучести, ставит континуальные методы перед практически непреодолимыми трудностями. Еще более остро стоит вопрос при моделировании поведения сложных полимерных композиционных материалов, в том числе полимерных сплавов, в условиях интенсивных внешних воздействий, в частности, при высоком давлении в сочетании с деформациями сдвига (ВД + СД), сопровождающихся эффектами интенсивных мод вихревых (роторных) и трансляционных локализованных деформаций.

Количественное исследование подобных явлений, сопровождающих реальные технологические процессы переработки полимеров в твердой фазе, возможно на основе физической мезомеханики структурно неоднородных сред – науки, которая интенсивно развивается в последнее десятилетие [1, 2].

Развитые в физической мезомеханике представления о структурных элементах деформации (СЭД), масштабных и структурных уровнях деформируемого твердого тела позволили предложить простую классификацию всех возможных механизмов пластической деформации металлических материалов. Явление масштабной инвариантности позволяет представить любую деформацию в виде определенного сочетания элементов масштабных уровней. При этом появилась возможность сформулировать общий алгоритм компьютерного моделирования деформируемого тела на основе представлений о СЭД различного масштаба [2].

Современные теоретические представления и экспериментальные результаты исследований природы пластической деформации с позиций физической мезомеханики стеклообразных и поликристаллических материалов представлены в работах [3, 4]. Установлено, что в стеклообразных полимерах с самого начала пластическая деформация происходит путем распространения полос локализованной деформации в направлении максимальных касательных напряжений. С самого начала развития пластическая деформация сопровождается развитием микротрещин, которые являются аккомодационной поворотной модой деформации. При этом экспериментально установлено, что процессам трещинообразования обязательно предшествуют процессы структурного размягчения или молекулярного скольжения.

В поликристаллических полимерах возможно образование дислокаций и скольжение их по кристаллографическим плоскостям кристаллита. Однако наличие аморфной фазы в объеме полимера делает невозможным выход дислокаций на поверхность кристаллита и поэтому деформация их на микромасштабном уровне и объеме подавлена. В частично кристаллических полимерах включения кристаллической фазы в виде мезообъемов перемещаются в аморфной матричной фазе с самого начала пластической деформации, т.е. при деформации частично кристаллического полимера с самого начала пластического течения включается мезоуровень – II. В некоторых случаях, при упрочнении аморфной фазы кристаллического полимера в результате стеклования высокоэластичной фазы в условиях высокого давления, а также при предварительном ориентационном упрочнении в режиме твердофазной экструзии, в процесс пластической деформации включается мезоуровень – I с формированием более мелкой мезосубструктуры, что обеспечивает повышение прочности материала.

Разработан общий алгоритм компьютерного моделирования пластически деформированного частично кристаллического полимера в условиях высокого давления на основе представлений физической мезомеханики. Сформулированный алгоритм учитывает следующие особенности поведения полимера в процессах пластического деформирования в твердой фазе:

- 1 Пластическая деформация на микроуровне подавлена.
- 2 Пластическая деформация развивается на надмолекулярном уровне (уровни мезо – I и мезо – II).
- 3 Микротрещины в объеме полимера образуются с самого начала деформирования и являются аккомодационной поворотной модой деформации.
- 4 Дислокации в частично кристаллических полимерах ведут себя подобно сдвиговым дефектам в стеклообразных полимерах.
- 5 Деформирование полимера завершается на макромасштабном уровне по полосе локализованной деформации разрушением материала.
- 6 Для описания движения взаимодействующих СЭД (надмолекулярных структур полимера) используются уравнения механики только на мезо- и макроуровнях.

Весьма важным направлением компьютерного моделирования, применительно к твердофазным процессам переработки полимеров, является использование этих технологий для проектирования технологической оснастки. Для конструирования технологической оснастки рекомендуется использовать новейшую систему автоматизированного проектирования Autodesk Inventor. Данная программа разработана для трехмерного проектирования оснастки на предприятиях машиностроительного профиля и, после корректировки с учетом усадки полимера, использовалась авторами при проектировании оснастки для объемной штамповки корпусов из АБС – пластика и высокочастотных изоляторов из фторопласта – 4.

Трехмерная модель готового изделия (штампа) выполняется методами твердотельного моделирования; при этом обеспечивается создание сборочных моделей с выпуском конструкторской документации. Детали штампа получают в результате логических операций, заложенных в программу по модели штампуемого изделия. Разработка комплекта конструкторской документации штампа, выполненного с элементами адаптивной технологии, отменяет необходимость контрольных сборок и гарантирует отсутствие размерных ошибок. Благодаря повышению качества проектирования из-за уменьшения количества ошибок и гарантированного ускорения проектных работ, заметно сокращаются сроки подготовки производства.

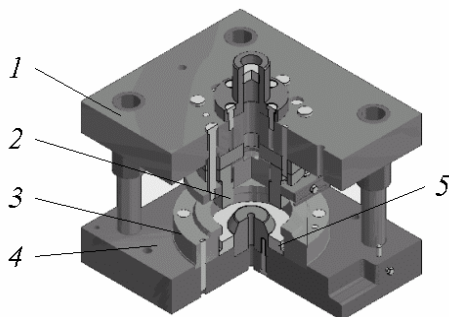


Рис. 2 Модель прессформы для объемной штамповки изолятора из фторопласта – 4, спроектированная по модели детали:

1 – верхняя плита; 2 – пуансон; 3 – матрица; 4 – нижняя плита; 5 – изделие

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Панин В.Е., Гриняев Ю.В., Данилов В.И. и др. Структурные уровни пластической деформации и разрушения. Новосибирск: Наука, 1990. 255 с.
- 2 Физическая мезомеханика и компьютерное конструирование материалов: В 2-х т. / Под ред. В.Е. Панина. Новосибирск: Наука, 1993. 140 с.
- 3 Баронин Г.С., Физико-химические и технологические основы переработки полимерных материалов в твердой фазе. Пластичность полимеров // Химической промышленности, 2001. № 11. С. 48 – 51.
- 4 Баронин Г.С., Кербер М.Л., Минкин Е.В., Радько Ю.М. Переработка полимеров в твердой фазе. Физико-химические основы. М.: Машиностроение-1, 2002. 320 с.

Кафедра "Теория машин, механизмов и детали машин"

УДК 620.179.1:62-419.4

А.П. Лаврентьев, Д.А. Бобаков*

МЕТОД И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ВКЛАДЫШЕЙ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

Для технологических операций, таких как протягивание плоскостей разъема вкладыша подшипника скольжения и алмазная расточка его внутренней поверхности, требуемая величина обрабатываемого размера обеспечивается уровнем настройки оборудования. В ходе обработки под действием систематически действующих факторов уровень настройки оборудования изменяется, что ведет к изменению размера. Для предотвращения появления дефектов на рассматриваемых операциях необходимо уловить

*Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доц. А.П. Пудовкина.

момент, когда под действием систематически действующих факторов размер приблизится к границе поля допуска настолько, что возможно появление дефектных деталей, и в этот момент произвести подналадку режущего инструмента.

Для осуществления момента подналадочного сигнала необходимо систематически контролировать обработанные детали. Целесообразно контролировать размер детали сразу после ее обработки, выявляя тенденцию изменения размера и устанавливая требуемый момент подналадки.

Разработан метод автоматической подналадки режущего инструмента малыми перемещениями по результатам контроля, сущность которого заключается в том, что измерительно-управляющая система [1], контролируя размеры каждого обработанного вкладыша, суммирует возникающие погрешности при обработке. Для выборки вкладышей (в количестве 25...50 шт. в зависимости от типоразмера) определяется смещение центров рассеяния размеров (уровень настройки). При превышении уровня настройки заданного значения определяется коэффициент пропорциональности и перемещение инструмента осуществляется на величину измеренного среднего отклонения размера в выборке, умноженного на коэффициент пропорциональности.

Методу подналадки пропорциональным сигналом соответствует вычисления перемещения режущего инструмента [2]

$$u_n = by^*, \quad (1)$$

где $y^* = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_{ni}$ – среднее отклонения размера в выборке; b – коэффициент пропорциональности;

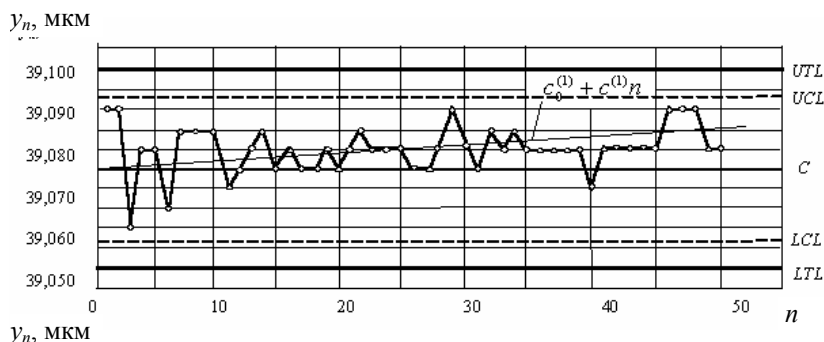
$y_{ni} = y_n - c_0 - cn$, c_0, c – параметры тренда; $n = 1, 2, \dots, N$; N – количество обработанных деталей в выборке; y_n – отклонения размеров.

Эффективность подналадки может быть оценена сравнением характеристик рассеивания размеров, полученных при обработке с подналадкой и без нее для разных реализаций процесса обработки в реальных производственных условиях.

В результате натурных испытаний, проведенных на вертикально-протяжном станке-автомате МП7-1490 в нормальных условиях эксплуатации, построены три точечные диаграммы отклонений размеров (рис. 1) [3]. Условия обработки: материал вкладышей – биметалл АО20-1; обрабатывались вкладыши Д-144 коренные первого номинала с внешним диаметром $D = 78_{+0,2}^{+1,0}$ мм, толщиной $S = 3,875 \pm 0,005$ мм, высотой $H = 39_{+0,05}^{+0,10}$ мм; скорость протягивания плоскостей разреза $V = 1$ м/с; припуск на обработку составлял 0,25...0,5 мм. До подналадки было обработано 850 деталей. Измерению высоты на установке пресс контрольный модели К9.2281800.000 подвергались первые 50 вкладышей, а затем через каждые 350 деталей – 50 вкладышей.

Для каждой из точечных диаграмм оценены параметры аппроксимирующих прямых $c_0^k + c^{(k)}n$. Расчет контрольных границ для карт индивидуальных значений [4]:

$$UCL = X_0 + 3\sigma_0; LCL = X_0 - 3\sigma_0, \quad (2)$$



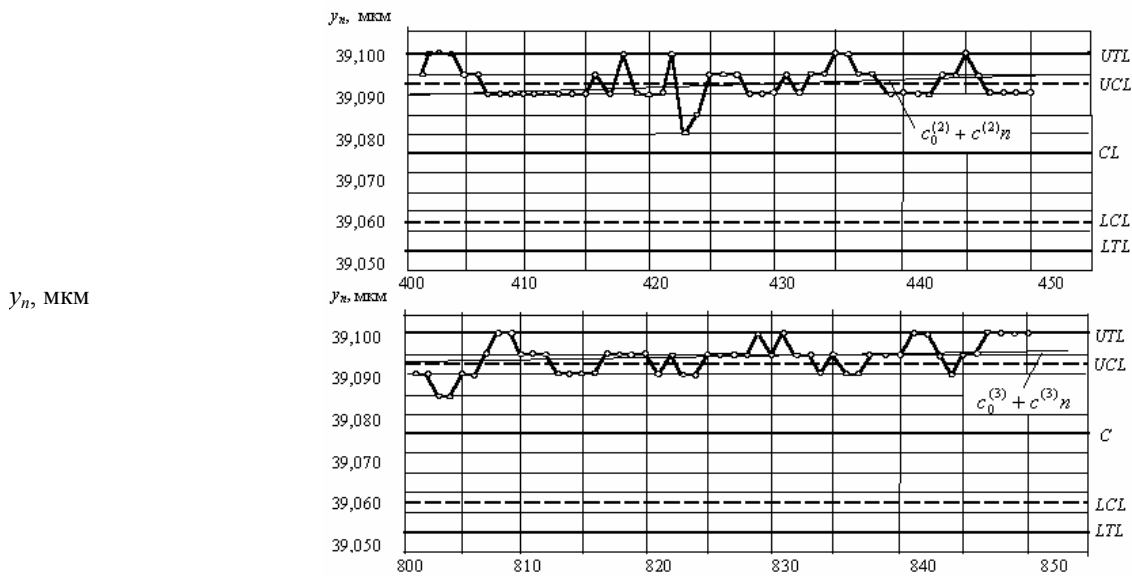


Рис. 1 Контрольные карты отклонений размеров вкладышей, обработанных без подналадки

где X_0 – центральная линия; σ_0 – отклонение размеров (поле рассеяния); $\delta = (UTL - LTL)$ – допуск на изготовление.

Реализация (точечная диаграмма) отклонений размеров вкладышей, обработанных с подналадкой режущего инструмента дана на рис. 2.

Относительная эффективность подналадки в этом случае составила [3]

$$\frac{\sigma_1^2 - \sigma_2^2}{\sigma_1^2} = \frac{34,1 - 12,8}{34,1} = 0,62,$$

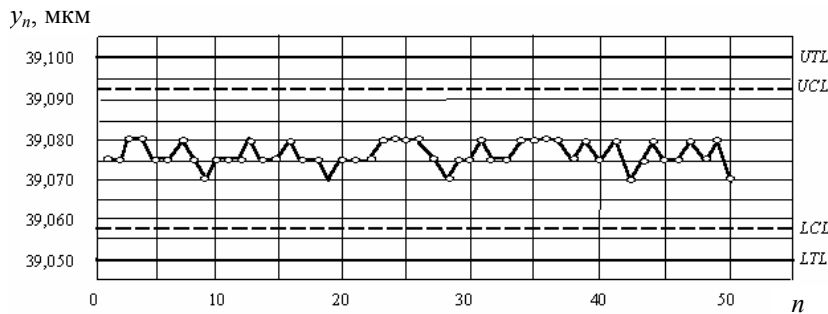


Рис. 2 Точечная диаграмма отклонений размеров вкладышей, обработанных с системой активного контроля

где $\sigma^{2(i)} = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n \left(y_j - \bar{y}^{(i)} \right)^2$ – дисперсия отклонение размеров обработанных деталей; $\sigma_1^2 = 34,1$ – дисперсия отклонение размеров обработанных без подналадки; $\sigma_2^2 = 12,8$ – дисперсия отклонение размеров обработанных с подналадкой.

Таким образом, результаты анализа показали, что за счет применения автоматической подналадки инструмента-протяжек на 60 % уменьшился разброс отклонений размеров обработанных вкладышей.

ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ВО ВРЕМЯ ОБРАБОТКИ НЕ ПРЕВЫСИЛА 5 %. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ КОНТРОЛЯ ПРИ ЭТОМ РАВНА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СТАНКА, КОТОРАЯ СОСТАВЛЯЕТ 1200...1350 ДЕТАЛЕЙ/Ч, ЧТО ПОЧТИ В ДВА РАЗА ПРЕВЫШАЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ КОНТРОЛЯ НА УСТАНОВКЕ "ПРЕСС КОНТРОЛЬНЫЙ МОДЕЛИ К9.2281800.000". ПРИ ОТКЛОНЕНИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВКЛАДЫША ВЫШЕ ДОПУСТИМЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПРОИЗВОДИТСЯ ОСТАНОВ СТАНКА И ВЫЯВЛЯ-

ЮТСЯ ПРИЧИНЫ БРАКА, Т.Е. РАЗРАБОТАННАЯ МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНО-УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ ПРАКТИЧЕСКИ ПОЛНОСТЬЮ ИСКЛЮЧАЕТ ПОЛУЧЕНИЕ ДЕФЕКТНЫХ ВКЛАДЫШЕЙ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Пудовкин А.П., Чернышов В.Н., Колмаков А.В., Бобаков Д.А. Микропроцессорная система активного контроля геометрических параметров вкладышей // Проектирование и технология электронных средств, 2003. № 3. С. 38 – 44.
- 2 Положительное решение на заявку № 2003107398/02(007705) RU 7В 23 D41/00, G 01 B5/00. Способ контроля геометрических параметров вкладышей подшипников / Ю.В. Плужников, А.В. Колмаков, А.П. Пудовкин, В.Н. Чернышов. № 2003107398/02(007705); Заявл. 27.07.2003 // Изобретения (заявки и патенты), 2004.
- 3 Пудовкин А.П., Чернышов В.Н. Неразрушающий контроль качества биметаллов и изделий из них. М.: "Издательство Машиностроение-1", 2003. С. 156.

КАФЕДРА "КРИМИНАЛИСТИКА И ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ПРАВОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ"

УДК 621.00124

***А.В. Волков, С.Б. Захаржевский,
В.В. Попов, Ю.В. Родионов***

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ЖИДКОСТНОКОЛЬЦЕВОГО ВАКУУМ-НАСОСА

В народном хозяйстве страны постоянно ощущается потребность в жидкостнокольцевых машинах, работающих при давлениях всасывания ниже 10 кПа. Решается эта задача двумя путями: созданием двухступенчатых жидкостнокольцевых вакуум-насосов (ЖВН) или созданием агрегатов из последовательно соединенных воздушного эжектора и одноступенчатого ЖВН. При давлениях всасывания от 15,5 до 2,5 кПа целесообразно применять двухступенчатые ЖВН, а при давлении всасывании ниже 2,5 кПа – агрегаты из последовательно соединенных вакуум-насоса и воздушного эжектора [1].

Основными затруднениями при подходе к расчету и вообще к исследованию двухступенчатых ЖВН является отсутствие данных о форме жидкостного кольца во второй ступени и ее соответствие с жидкостным кольцом первой ступени. Исследования [2] формы жидкостного кольца одноступенчатого насоса не дают основания считать этот вопрос решенным, так как давление всасывания и температурные режимы между ступенями различны у двухступенчатого ЖВН.

Отсюда вытекает вторая задача экспериментального исследования двухступенчатого ЖВН – выбор промежуточного давления. Ранее эта задача решалась расчетно-экспериментальным путем. Для эксперимента использовали последовательное соединение двух одноступенчатых ЖВН. Промежуточное давление принималось равным давлению нагнетания первой ступени [3]. На двухступенчатом ЖВН подобных исследований еще не проводилось. Кроме этого, в зависимости от промежуточного давления важно подобрать ширину второй ступени. Не исследовалось экспериментально и влияние размеров нагнетательного и всасывающего окон во второй ступени насоса.

При помощи экспериментального двухступенчатого ЖВН (рис. 1) становится возможным фиксировать форму жидкостного кольца фото- и видеосъемкой, а также экспериментально установить ее зависимость от промежуточного давления и других режимных параметров. Это позволит точнее определять необходимую глубину погружения лопаток в рабочую жидкость, форму нагнетательного и всасывающего окон. Полученные зависимости сделают возможным более эффективно оптимизировать режимные и конструктивные параметры насоса, так как они учитывают форму жидкостного кольца как в первой, так и во второй ступенях. Кроме того, определение промежуточного давления позволит вычислить давление всасывания второй ступени, что необходимо при проектировании двухступенчатого ЖВН.

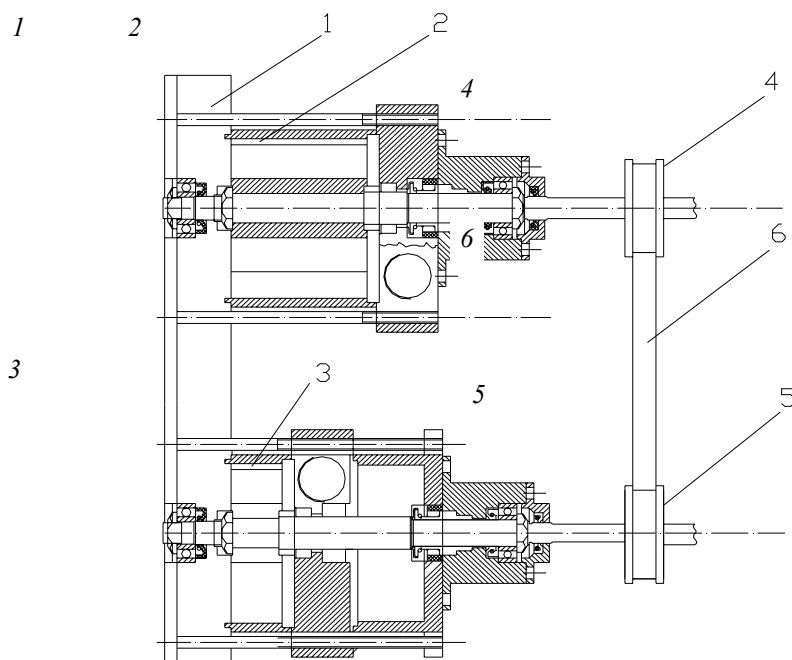


Рис. 1 Экспериментальный двухступенчатый жидкостнокольцевой вакуум-насос:

1 – прозрачная крышка; *2* – первая ступень; *3* – вторая ступень; *4* – шкив на валу первой ступени; *5* – шкив на валу второй ступени; *6* – ременная передача

Известно, что для достижения вакуума глубиной до 20 кПа эффективнее использовать одноступенчатый ЖВН, так как в данном режиме он обладает большей быстротой действия, нежели двухступенчатый ЖВН, за счет уменьшения потерь на перетечки газа из зоны нагнетания в зону всасывания. Необходимость во второй ступени возникает лишь для достижения более глубокого вакуума. Поэтому в целях экономии энергии и увеличения быстроты действия следует организовать процесс вакуумирования с последовательным включением ступеней.

Вторая ступень автоматически включается при достижении определенной глубины вакуума. Аналогичным образом необходимо автоматически регулировать размеры нагнетательного и всасывающего окон. Сокращение площади нагнетательного окна второй ступени приведет к увеличению степени сжатия и, следовательно, к достижению более глубокого вакуума.

В работе [2] приведены рекомендации выбора оптимальной скорости вращения ротора второй ступени. В традиционных конструкциях двухступенчатых ЖВН роторы первой и второй ступеней укреплены на одном валу и вращаются с одинаковой скоростью.

Для пополнения жидкостного кольца каждый жидкостнокольцевой вакуум-насос постоянно потребляет рабочую жидкость. Расход подаваемой жидкости, ее напор и давление определяются лишь опытным путем для конкретного насоса [2]. На экспериментальной установке планируется провести замеры вышеуказанных характеристик в различных режимах работы насоса и на основе полученных данных создать методику расчета расхода потребляемой рабочей жидкости [2]. Кроме того, существующие методики расчета двухступенчатых ЖВН не учитывают влияния газосодержания подаваемой жидкости и жидкостного кольца.

Для ответа на эти вопросы разработан экспериментальный двухступенчатый ЖВН, который может быть включен в ранее разработанную на кафедре ТММ и ДМ экспериментальную установку [4].

Экспериментальный двухступенчатый жидкостнокольцевой вакуум-насос представлен на рис. 1. В нем первая *2* и вторая *3* ступени имеют общую прозрачную крышку *1*, которая позволяет вести фото- и видеосъемку жидкостного кольца. Как уже указывалось выше, она позволяет визуально определять глубину погружения лопаток в жидкость. На валах первой и второй ступеней могут устанавливаться шкивы *4*, *5* ременной передачи *6*. Путем замены шкива на валу второй ступени можно изменять число оборотов ротора второй ступени. Помимо этого, данная конструкция позволяет запускать вторую ступень насоса лишь при достижении вакуума определенной глубины, что повышает экономичность установки на различных режимах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

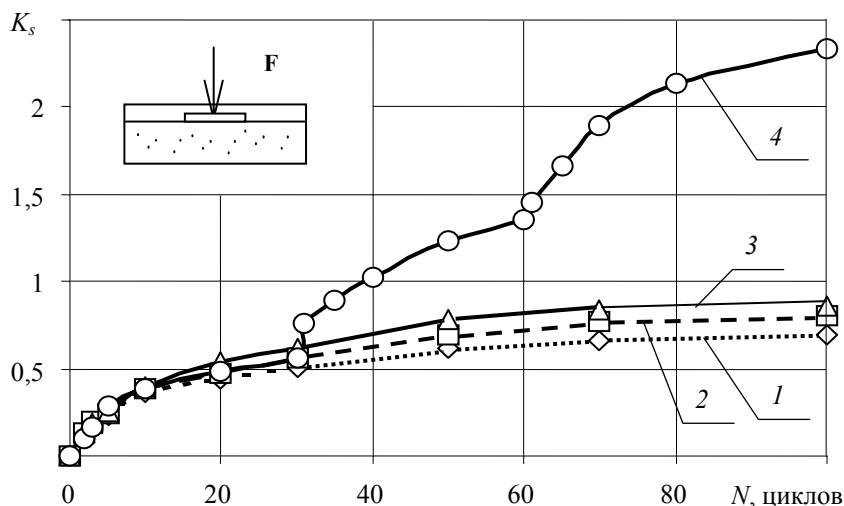


Рис. 1 Зависимости коэффициента K_s при испытаниях суглинка от числа циклов нагружения при постоянном значении F_{\max} : (1 – $\bar{\tau} = 0,6$; 2 – $\bar{\tau} = 0,7$; 3 – $\bar{\tau} = 0,8$;) и ступенчатом (4 – $\bar{\tau} = 0,6$ (1...30 циклы); $\bar{\tau} = 0,7$ (31...60 циклы); $\bar{\tau} = 0,8$ (61...100 циклы))

ВЫВОДЫ:

1 ЦИКЛИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ СТАЦИОНАРНОМ РЕЖИМЕ НАГРУЖЕНИЯ РАСТЕТ ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ УРОВНЯ НАГРУЖЕНИЙ, УМЕНЬШЕНИИ КОЭФФИЦИЕНТА АСИММЕТРИИ ЦИКЛА, УВЕЛИЧЕНИИ КОЛИЧЕСТВА ЦИКЛОВ НАГРУЖЕНИЯ.

2 Основные деформации происходят в первые 5...10 циклов нагружения, далее они резко замедляют свой рост.

3 При ступенчатом увеличении уровня нагружения (нестационарный режим нагружения) происходит значительный рост циклической составляющей деформаций (при увеличении уровня нагружения с 0,7 до 0,8 – в 1,7 раза, при увеличении уровня нагружения с 0,8 до 0,9 – в 3 раза)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Евдокимцев О.В. Влияние повторности нагружения на перемещения и несущую способность оснований. Дис. ... канд. техн. наук, 2001.

2 Леденев В.В. Основание и фундаменты при сложных воздействиях. Тамбов: ТГТУ, 1995. 400 с.

Кафедра "Конструкции зданий и сооружений"

УДК 691.16

М.В. Долженкова, Е.В. Гурова, В.П. Ярцев

АДГЕЗИОННАЯ ПРОЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ БИТУМНОЙ КРОВЛИ С КОНСТРУКЦИЯМИ ПОКРЫТИЯ

Долговечность кровли во многом определяется адгезионной прочностью ее соединения с конструкциями покрытия. Для оценки адгезионной прочности проведена серия испытаний методом неравномерного отрыва битума и битумных композитов от бетона, кирпича, стали, цементно-стружечной плиты и древесины на установке, показанной на рис. 1.

К образцу ступенчато прикладывали нагрузку до отрыва кровельного материала от жесткой подложки, либо до отрыва по границе соединения с подложкой. Напряжения определяли по формуле

$\sigma = \frac{N_{\text{разр}}}{A}$, где $N_{\text{разр}}$ – разрушающая нагрузка; A – площадь сечения образца в случае его разрыва или площадь соединения с подложкой при его отслаивании.

В качестве объектов исследования были выбраны битум марки БН 90/10, рубероид марки РКК-420А с посыпкой и марки РПП-300Б без посыпки, битумно-полимерный кровельный композит "Кромэл". Для

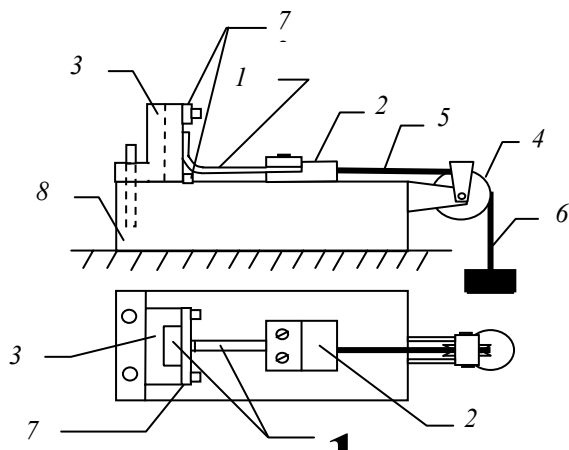


Рис. 1 Устройство для испытания битумной кровли на отрыв от конструкций покрытия зданий:

1 – образец; 2 – подвижный захват; 3 – неподвижный захват; 4 – блок; 5 – тяга; 6 – груз; 7 – прижимная планка; 8 – станина

1 Величины прочности (МПа) соединений битумных материалов с различной подложкой

Материал образца	Материал подложки, вид разрушения образца									
	Бетон		Кирпич		Сталь		ЦСП		Древесина	
Битум БН 90/10	3,5	О	0,5 3	Р-О	0,5	О	47	Р	4,9	Р
Рубероид марки РКК-420А	2,7	О	О – отслоение образца от подложки; Р-О – одновременный разрыв образца с отслоением от подложки; Р – разрыв образца.							
Рубероид марки РПП-300Б	4,5	О								
Кромэл	3,8	О								

каждого материала с подложкой испытывали не менее шести образцов. Полученные экспериментальные результаты представлены в табл. 1.

Из таблицы видно, что битум с цементно-стружечной плитой имеет прочность на 1–2 порядка выше, чем с остальными материалами подложки. Напряжения отслоения кровельных материалов от бетона близки напряжениям отслоения битума. Это указывает на то, что адгезионная прочность битумных кровель определяется в основном связующим.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Кафедра "Конструкции зданий и сооружений"

УДК 69.022.326

В.А. Езерский, П.В. Монастырев

ВЛИЯНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ОТКЛОНЕНИЙ НАРУЖНЫХ СТЕН НА РЕГУЛИРУЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВЕНТИЛИРУЕМЫХ ФАСАДОВ

При выполнении термомодернизации жилых зданий возникают проблемы, связанные со значительными отклонениями фасадной поверхности наружных стен этих зданий от вертикали.

При возведении зданий добиться строгого геометрического положения наружных стен практически невозможно. В [1] регламентируются предельно допустимые отклонения. Так, отклонения от вертикали верха плоскости панелей несущих стен не должны превышать 10 мм, а отклонения поверхностей и углов кирпичных стен зданий высотой более двух этажей – 30 мм.

Однако в строительной практике для жилых зданий сумма абсолютных значений максимальных отклонений наружных стен от вертикали может достигать до 150...200 мм. Причем отклонения фасадной поверхности стен часто наблюдаются у зданий, имеющих удовлетворительное техническое состояние. Именно такие здания могут являться объектами для термомодернизации.

С теплотехнической точки зрения при дополнительном утеплении наружных стен теплоизоляционный материал должен быть закреплен вплотную к стене. В результате слой утеплителя воспроизводит неровности и отклонения стен (рис. 1). С другой стороны, при устройстве вентилируемых фасадов их облицовка должна иметь строгие геометрические формы и располагаться вертикально. Воздушная прослойка в этом случае играет роль компенсатора. Однако она должна быть не менее 20 мм (исходя из минимального рекомендуемого размера) и не более 100 мм (исходя из требований пожарной безопасности). Очевидно, что в такой ситуации конструктивное решение крепежного каркаса должно допускать регулирование положения облицовочных панелей по отношению к поверхности утеплителя в той мере, в какой того требуют отклонения наружных стен.

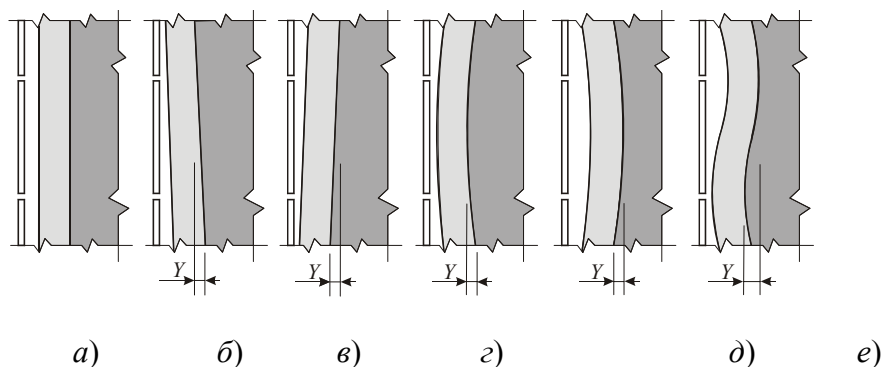


Рис. 1 Схемы возможных отклонений наружной поверхности термомодернизируемых стен от вертикали:

a – идеальная; b – наклоненная наружу; v – наклоненная внутрь; z – выпуклая;
 d – вогнутая; e – волнообразная

Для разработки конструктивных решений регулируемых крепежных элементов вентилируемых фасадов требуется наличие информации о величине суммы абсолютных значений максимальных отклонений от вертикали фасадной поверхности наружных стен существующих зданий, подлежащих термомодернизации. К сожалению, такая информация крайне ограничена. В связи с этим в г. Тамбове и области проведено натурное исследование наружных стен большой группы жилых зданий различных строительных систем, этажности и сроков эксплуатации. Целью этого исследования было определение величины суммы абсолютных значений максимальных отклонений от вертикали наружных стен (Y , мм), а также оценка характера влияния на нее различных факторов и установление доверительного интервала изменений указанных параметра.

Исследуемые жилые здания были сгруппированы по трем признакам: период строительства; тип наружных стен; этажность здания. Периоды строительства были выбраны, исходя из анализа опорного (сохраняемого на перспективу) жилищного фонда г. Тамбова. Стены зданий, построенных в рассматриваемые периоды, выполнены в основном из керамзитобетонных панелей и кирпича, а этажность этих зданий составляет преимущественно 5 и 9 этажей.

Каждый из вышеперечисленных признаков характеризовал здания определенного типа и был выбран в качестве исследуемого фактора.

Фактор A – период строительства, рассматривался на трех уровнях:

1 – с 1958 по 1970 гг. (типовые дома с малогабаритными квартирами);

2 – с 1971 по 1980 гг. (дома по каталогам унифицированных изделий);

3 – с 1981 по 2000 гг. (современные дома).

Фактор B – тип наружных стен, рассматривался на двух уровнях:

1 – панельные; 2 – кирпичные.

Фактор C – этажность здания, рассматривался на двух уровнях:

1 – 5-ти этажные дома; 2 – 9-ти этажные дома.

План исследования и результаты измерений приведены в табл. 1.

В процессе анализа результатов измерений требовалось оценить влияние отдельных факторов на изменчивость признака \bar{Y}_{ijk} . Очевидно, что приведенные факторы не исчерпывают весь перечень источников изменчивости. Однако с учетом опыта авторов и имеющихся данных была выдвинута гипотеза о наличии влияния только этих факторов.

В качестве метода оценки выбран дисперсионный анализ [2], позволяющий установить существенное ли влияние оказывает тот или иной из рассматриваемых факторов или их взаимодействие на изменчивость признака, а также оценить количественно удельный вес каждого из источников изменчивости в их общей совокупности.

1 План и результаты измерений величины суммы абсолютных значений максимальных отклонений от вертикали наружных стен (Y , мм)

№ точки плана	A	B	C	Y_{1c} р	Y_{2c} р	Y_{3c} р	Y_{4c} р	Y_{5c} р	Y_{6c} р	\bar{Y}_{ijk}	S_{ijk}^2
1	1	1	1	36	39	43	51	58	74	50,2	20 1
2	1	1	2	42	44	44	50	56	10 0	56,0	49 1
3	1	2	1	9	20	29	30	42	55	30,8	26 1
4	1	2	2	14 5	12 1	13 3	14 7	19 4	16 5	150, 8	66 4
5	2	1	1	7	29	31	34	36	63	33,3	32 1
6	2	1	2	30	45	50	52	60	73	51,7	20 8

7	2	2	1	98	98	99	11	12	15	114,	49
							0	5	4	0	5
8	2	2	2	11	88	11	13	15	15	126,	65
				5		5	0	6	2	0	6
9	3	1	1	37	37	59	65	73	86	59,5	38
											6
10	3	1	2	51	52	59	63	66	91	63,7	21
											4
11	3	2	1	15	15	25	34	38	63	31,7	32
											5
12	3	2	2	59	50	56	71	71	11	69,7	48
									1		0

После проведения трехфакторного дисперсионного анализа выявлено существенное влияние на изучаемый параметр всех исследуемых факторов и их взаимодействий. При этом доли влияния факторов в общей совокупности составляют:

- фактора *A* – 6 %, фактора *B* – 17 %, фактора *C* – 16 %;
- факторов *A* и *B* – 19 %, факторов *A* и *C* – 6 %, факторов *B* и *C* – 8 %;
- факторов *A*, *B* и *C* – 9 %.

С учетом практической целесообразности проводимого исследования, необходимости унификации элементов крепежного каркаса, а также низкой значимости фактора *A* были рассчитаны интервальные оценки отклонений наружной поверхности панельных и кирпичных стен в пяти- и девятиэтажных жилых зданиях. Для этого использовались следующие соотношения [3]

$$Y_{jk} - t_{\gamma, n}(S_{jk}/n^{1/2}) < Y_{jk} < Y_{jk} + t_{\gamma, n}(S_{jk}/n^{1/2}) \text{ или } Y_{jk} = Y_{jk} \pm t_{\gamma, n}(S_{jk}/n^{1/2}),$$

где Y_{jk} – средняя сумма абсолютных значений максимальных отклонений от вертикали наружной поверхности стены, где jk – сочетание уровней факторов *B* и *C*; S_{jk} – "исправленное" выборочное среднее квадратичное отклонение; $n = 6$ объем выборки измерений; $t_{\gamma, n} = t_{0,95;6} = 2,57$ – по [3] для объема выборки $n = 6$ и надежности $\gamma = 0,95$.

Результаты расчетов интервальных оценок приведены в табл. 2.

2 Расчет доверительных интервалов отклонений наружной поверхности панельных и кирпичных стен различной этажности

Материал стен	Этажность	Y_{jk} (маx)	S_{jk}^2	S_{jk}	$\pm t_{\gamma, n} \left(\frac{S_{jk}}{\sqrt{n}} \right)$	Y_{jk} , с учетом доверительных интервалов, мм
Панели	5	59,5	386	19,6	$\pm 20,6$	39...80
	9	63,7	214	14,6	$\pm 15,3$	48...79
Кирпич	5	114,0	495	22,2	$\pm 23,3$	91...137
	9	150,8	664	25,8	$\pm 27,0$	124...178

ПРИВЕДЕННЫЕ ПРЕДЕЛЫ ИЗМЕНЕНИЯ СУММЫ АБСОЛЮТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ОТКЛОНЕНИЙ ОТ ВЕРТИКАЛИ НАРУЖНОЙ ПОВЕРХНОСТИ СТЕН ПОКАЗЫВАЮТ, ЧТО ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОСТИ ОБЛИЦОВКИ ВЕНТИЛИРУЕМЫХ ФАСАДОВ ИХ КРЕПЕЖНЫЙ КАРКАС ДОЛЖЕН ИМЕТЬ СЛЕДУЮЩИЕ РЕГУЛИРУЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ ОТНОСИТЕЛЬНО ОБЛИЦОВЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ:

- 0...80 мм – при утеплении панельных зданий любой этажности;
- 0...140 мм – при утеплении пятиэтажных кирпичных зданий;

- 0...180 мм – при утеплении девятиэтажных кирпичных зданий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 СНиП 3.03.01-87. Несущие и ограждающие конструкции / Госстрой России. М.: ГУП ЦПП, 2001. 192 с.
- 2 Шеффе Г. Дисперсионный анализ. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1980. 512 с.
- 3 Гмурман В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике: Учебное пособие. М.: Высшая школа, 1999. 400 с.

*Кафедра "Основ строительства и строительной физики" БПИ
Кафедра "Городское строительство и автомобильные дороги" ТГТУ*

УДК 624.07:65.011.56

А.И. Антонов, А.Е. Жданов, И.В. Матвеева

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОГРАЖДЕНИЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ ПО УСЛОВИЯМ ЗАЩИТЫ ОТ ШУМА

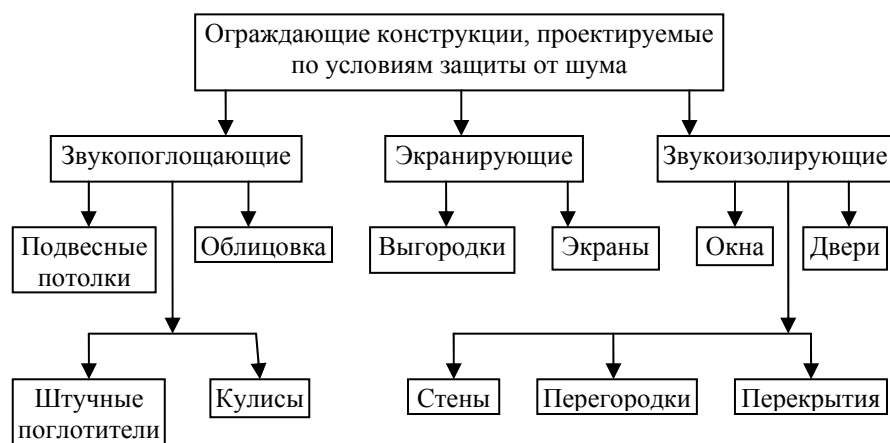


Рис. 1 Конструкции, проектируемые по условиям или с учетом условий защиты от шума

Проектирование строительных конструкций производственных зданий является сложным технологическим процессом, при котором необходимо учитывать совокупность всех воздействий среды, в том числе и производственного шума. Для защиты от шума используются ограждающие конструкции зданий с соответствующими, звукопоглощающими, звукоизолирующими или экранирующими свойствами.

Выбор и разработка шумозащитных конструкций должны производиться, основываясь на общем методе решения задачи проектирования "от среды к кон-

струкции". При таком подходе целесообразно: определить функциональное назначение и место проектируемого элемента в структуре здания; установить воздействия, которым подвергается элемент; выявить процессы и явления, возникающие в элементе при этих воздействиях; установить требования к элементу, определяемые заданием и нормами проектирования; произвести анализ возможных решений с их всесторонней оценкой; выбрать конструктивное решение элемента, производя необходимые расчеты.

Все шумозащитные конструкции (рис. 1) производственных зданий по принципам проектирования возможно разделить на две группы.

К первой группе относятся конструкции, проектируемые с учетом обеспечения условий защиты от шума. В этом случае функция защиты от шума не является главной (например, окна, двери, стены, перекрытия). Их основное конструктивное решение определяется другими функциями, а обеспечение условий защиты от шума проверяется расчетом при принятом решении. В случае невыполнения условий разрабатываются дополнительные мероприятия, позволяющие запроектированной конструкции обеспечить и защиту от шума (например, устройством на несущей стене звукоизолирующих гибких плит на отnose). Общая схема проектирования конструкций данной группы приведена на рис. 2.

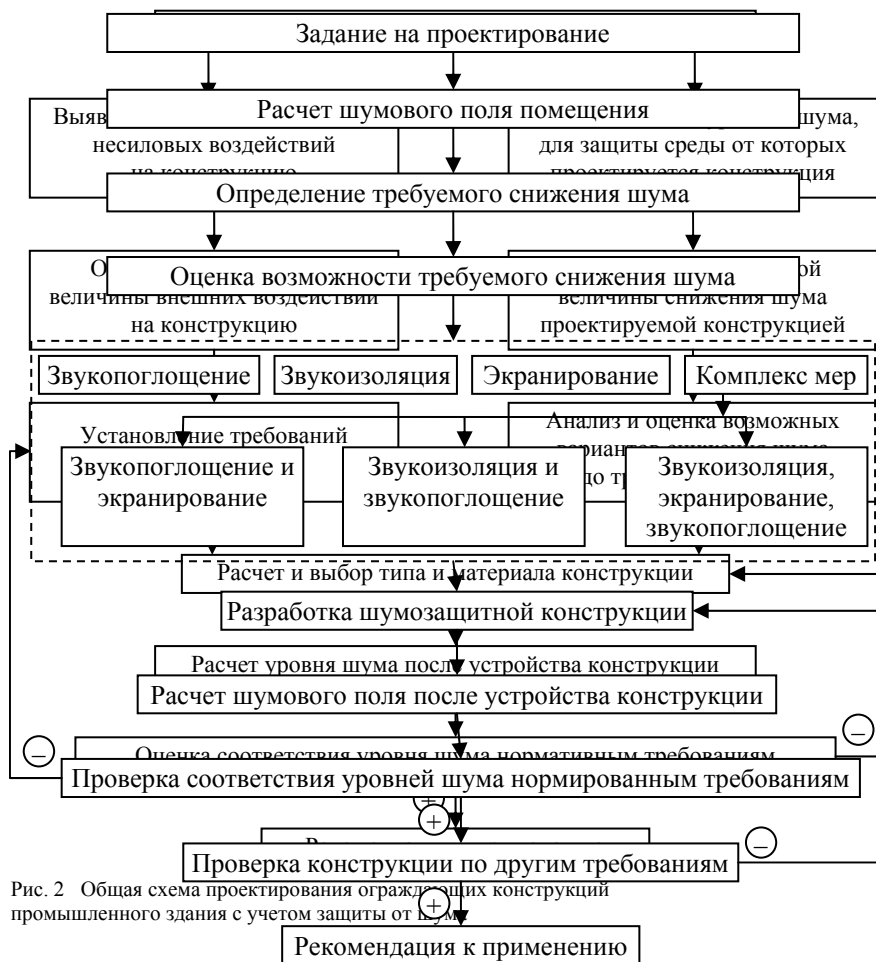


Рис. 2 Общая схема проектирования ограждающих конструкций промышленного здания с учетом защиты от шума

Рис. 3 Схема проектирования строительных конструкций по условиям защиты от шума

Ко второй группе относятся конструкции, у которых функция защиты является главной (например, перегородки, звукопоглощающие потолки и др.). Их конструктивное решение определяется по условиям шумозащиты и проверяется соответственно по другим требованиям (прочности, долговечности, противопожарным и др.). Схема проектирования конструкций, для которых функция защиты от шума является главной, дана на рис. 3.

Видно, что в том и другом случаях процесс имеет циклический, итерационный характер, требующий многократного повторения расчетов энергетических параметров звукового поля. Учитывая, что на практике эффективное снижение шума чаще достигается при комплексном применении нескольких строительно-акустических мер снижения шума (звукопоглощение, звукоизоляция, экранирование и др.), число возможных вариантов шумоглушения увеличивается и процесс проектирования становится многовариантным.

Многовариантность проектирования строительных конструкций производственных зданий с учетом или по условиям защиты от шума требует качественно нового подхода к процессу их разработки.

Прогресс в этом направлении связан с расширением и совершенствованием автоматизации проектирования. Автоматизация позволяет выполнять многовариантные разработки по шумозащите на всех уровнях проектирования (технологическое проектирование, выбор и разработка конструктивных решений и др.), дает возможность многофакторного анализа вариантов и обеспечивает в случае корректировки исходных данных или целевых функций цикличность поиска оптимальных вариантов. Автоматизированное проектирование в этом случае возможно только при наличии объективной математической модели шумовых полей помещений, методов и алгоритмов для ее описания, синтеза и оценки получаемых результатов на проектируемом объекте.

В настоящее время в научно-техническом центре по проблемам архитектуры и строительства Тамбовского государственного технического университета разработана математическая модель распределения звуковой энергии в производственных зданиях [1], и на ее основе создан программный комплекс по проектированию строительных конструкций зданий с учетом требований защиты от шума. Расчетные программы комплекса переданы для практического использования в Гипростройавиапром и НИИ строительной физики РААСН.

Опыт применения программного комплекса при решении практических задач показал его более высокую эффективность по сравнению с традиционными методами проектирования производственных зданий. Принципы построения комплекса позволяют использовать его в общей системе автоматизированного проектирования производственных зданий. В настоящее время ведется его адаптация к этой системе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Леденев В.И. Статистические энергетические методы расчета шумовых полей при проектировании производственных зданий. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2000. 156 с.

Азама Нилас, В.М. Струлев

**ВЛИЯНИЕ ДИАМЕТРА ПУСТОТ НА АРМИРОВАНИЕ
МНУГОПУСТОТНЫХ ПАНЕЛЕЙ ПЕРЕКРЫТИЯ**

РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОИЗВОДИТСЯ ПО ДВУМ ГРУППАМ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ. ПО ПЕРВОЙ ГРУППЕ ПРОИЗВОДИТСЯ РАСЧЕТ ПО ПРОЧНОСТЬ НОРМАЛЬНЫХ И НАКЛОННЫХ СЕЧЕНИЙ, УСТОЙЧИВОСТИ И ВЫНОСЛИВОСТИ. ПО ВТОРОЙ ГРУППЕ ПРОИЗВОДИТСЯ РАСЧЕТ ПО ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ И ДЕФОРМАЦИЯМ.

В условиях массового производства даже незначительная экономия металла может дать большой экономический эффект.

При расчете прочности наклонных сечений определяется диаметр, класс и шаг поперечной арматуры, которая устанавливается на приопорных участках длиной равной четверти от пролета.

Если поперечная сила, воспринимаемая бетоном, больше поперечной силы, действующей от внешних нагрузок, то при небольшой высоте железобетонного элемента возможно не устанавливать поперечную арматуру, что может дать значительный экономический эффект.

Данная работа посвящена исследованию влияния диаметра пустот на поперечную силу, воспринимаемую бетоном многопустотных плит перекрытия.

Для этой цели были определены значения поперечной силы, воспринимаемой бетоном плит перекрытия, для различных диаметров пустот – 100...159 мм, для бетонов класса В20, В30, В40. Нормативная временная нагрузка принималась равной 2...12 кН/м², нагрузка от пола принималась равной 0,272 кН/м² (пол состоящий из лаг и доски на упругую прокладку). Номинальная длина панели – 6 м, ширина – 1,2 м.

На рис. 1 представлен график зависимости поперечной силы, воспринимаемой бетоном (Q_6), и статической поперечной силы ($Q_{\text{стат}}$) в зависимости от диаметра пустот.

Из графика видно, что при временной нагрузке равной 2 кН/м² при любых диаметров пустот $Q_6 \geq Q_{\text{стат}}$. С увеличением временной нагрузки целесообразно уменьшение диаметра пустот, что может привести к экономии дорогостоящей арматуры.

Следует отметить, что с уменьшением диаметра пустот происходит увеличение расхода бетона, однако, экономия арматуры приводит в целом к положительному экономическому эффекту. Значительная экономия металла достигается не только за счет приопорных каркасов, которые можно при соответствующих условиях ($Q_6 \geq Q_{\text{стат}}$) не устанавливать, но и за счет верхней арматурной сетки, которая предназначена для устранения обрушения сводов пустот при выемке пуансонов.

Уменьшение диаметра пустот приводит к увеличению толщины сводов и, как следствие, отпадает целесообразность постановки верхней арматурной сетки.

Экономия металла может достигнуть 17 кг на одно изделие.

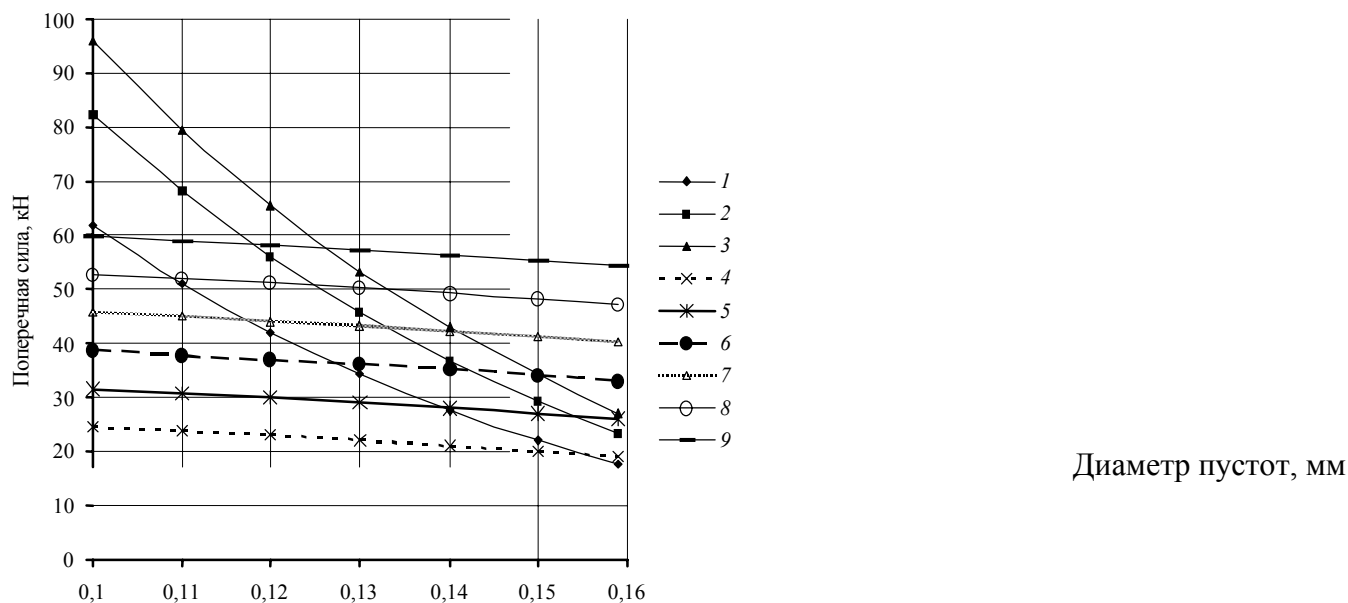


Рис. 1 График зависимости поперечной силы воспринимаемой бетоном (Q_b) и статической поперечной силы ($Q_{стат}$) от диаметра пустот:

1 – Q_b при бетоне класса В20; 2 – Q_b при бетоне класса В30; 3 – Q_b при бетоне класса В40; 4 – $Q_{стат}$ при временной нагрузке 2 кН/м²; 5 – $Q_{стат}$ при временной нагрузке 4 кН/м²; 6 – $Q_{стат}$ при временной нагрузке 6 кН/м²; 7 – $Q_{стат}$ при временной нагрузке 8 кН/м²; 8 – $Q_{стат}$ при временной нагрузке 10 кН/м²; 9 – $Q_{стат}$ при временной нагрузке 12 кН/м²

Кафедра "Конструкция зданий и сооружений"

УДК 692.23

Т.Ф. Ельчищева, Т.Н. Богданова

ПОВЫШЕНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ КАЧЕСТВ НАРУЖНЫХ СТЕН ЦЕХА ПО ПРОИЗВОДСТВУ γ -КИСЛОТЫ

Наружные стены зданий химических предприятий, связанных с производством и переработкой неорганических солей, в процессе эксплуатации подвергаются воздействию солевой производственной среды в виде аэрозоля и пыли. Высокая влажность внутреннего воздуха вызвана как особенностями производственного процесса (открытые аппараты для проведения химических реакций), так и высокой гигроскопичностью солей.

Нами в рамках данной работы был изучен тепловлажностный режим наружных стен вновь проектируемого цеха по производству γ -кислоты. Наружные стены запроектированы из бетонных стеновых блоков толщиной 300 мм, плотностью $\rho = 2500 \text{ кг/м}^3$. Стены изнутри оштукатурены цементно-песчаным раствором толщиной 20 мм $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$. В воздухе цеха содержится смесь солей (хлорида и сульфата натрия) и влаги. Для установления наилучшего с теплофизической точки зрения положения утеплителя по сечению стены было рассмотрено три вида конструктивных решений:

- 1) с утеплителем, располагающимся снаружи, с вентилируемой воздушной прослойкой и экраном из стеклопластика (рис. 1);
- 2) с утеплителем, располагающимся снаружи, слоем штукатурки из цементно-песчаного раствора по сетке из стекловолокна (рис. 2);
- 3) с утеплителем, располагающимся с внутренней стороны стены, защитным слоем штукатурки по сетке из стекловолокна (рис. 3).

В качестве утеплителя рассматривались жесткие минераловатные плиты $\rho = 200 \text{ кг/м}^3$. В соответствии с рекомендациями [1], коэффициент паропроницаемости плит $\mu_{ут}$ должен в три и более раз превышать μ_k конструкционного материала. В нашем случае $\mu_{ут} = 0,49$,

$\mu_k = 0,03 \text{ мг}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$. Используемая для нанесения штукатурки сетка из стекловолокна является стойкой в условиях агрессивного воздействия солевой производственной среды.

Оценка влажностного режима утепленных наружных стен проводилась нами по графоаналитическому методу К.Ф. Фокина [3]. Параметры внутреннего воздуха в цехе следующие: температура $t_b = 18 \text{ }^\circ\text{C}$; относительная влажность $\varphi_b = 75 \%$; упругость водяного пара $e_b = 1548 \text{ Па}$. Параметры наружного воздуха: расчетная зимняя температура, равная средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92, $t_n = -10,8 \text{ }^\circ\text{C}$; относительная влажность $\varphi_n = 83 \%$; упругость водяного пара $e_n = 200 \text{ Па}$.

Для здания цеха, по опыту строительства аналогичных зданий, влажностный режим и условия эксплуатации стен определяли с учетом воздействия солевой производственной среды [2]. Исходя из условий эксплуатации *Б* в соответствии со СНиП II-3-79*, принимали нормируемое эксплуатационное влажностное содержание стенового материала.

Сопrotивление теплопередаче наружных стен R_0 , $\text{м}^2\cdot\text{C}/\text{Вт}$, рассчитывали по общепринятой схеме и принимали не меньше требуемого значения R_0^{TP} . Для здания цеха с мокрым режимом эксплуатации стен R_0^{TP} рассчитывали как для здания, отвечающего санитарно-гигиеническим и комфортным условиям.

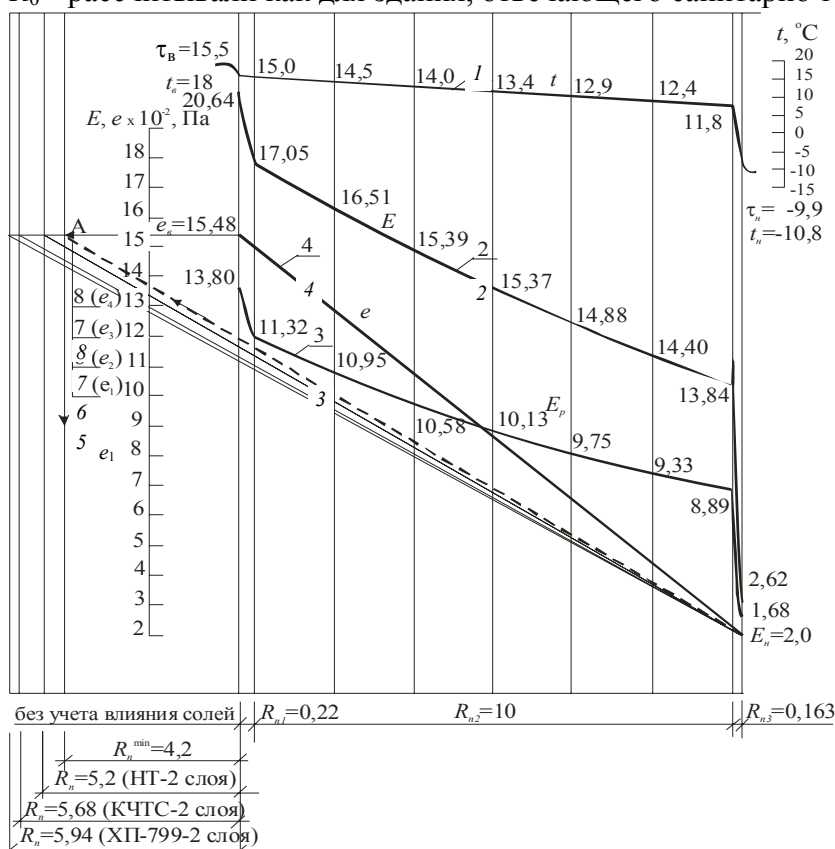


Рис. 1 Схема влажностного режима наружных стен с учетом дополнительного утепления (с вентилируемой воздушной прослойкой):

1 – изменение по сечению стены температуры t , $^\circ\text{C}$; 2, 3 – то же, максимальной упругости водяного пара, соответственно, над поверхностью воды (E) и насыщенного солевого раствора (E_p); 4, 5, 6, 7, 8 – то же, упругости водяного пара, соответственно, при отсутствии защитного покрытия с внутренней стороны ограждения (e), защитным покрытием с минимально допустимым сопротивлением паропрооницанию (e_1), с покрытием НТ (e_2), с покрытием КЧТС (e_3), с покрытием ХП-799 (e_4).

Расчет производили для двух возможных случаев:

1 Когда на поверхности стен не допускается образования конденсата и $\Delta t_n = t_b - t_{\text{pp}}$ (t_{pp} – температура точки росы с учетом понижения давления насыщенного пара над раствором смеси солей, $^\circ\text{C}$). Для указанных t_b и φ_b , $t_{\text{pp}} = 17,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Тогда $R_0^{\text{TP}} = 10,587 \text{ м}^2\cdot\text{C}/\text{Вт}$ и толщина утеплителя составляет 820 мм.

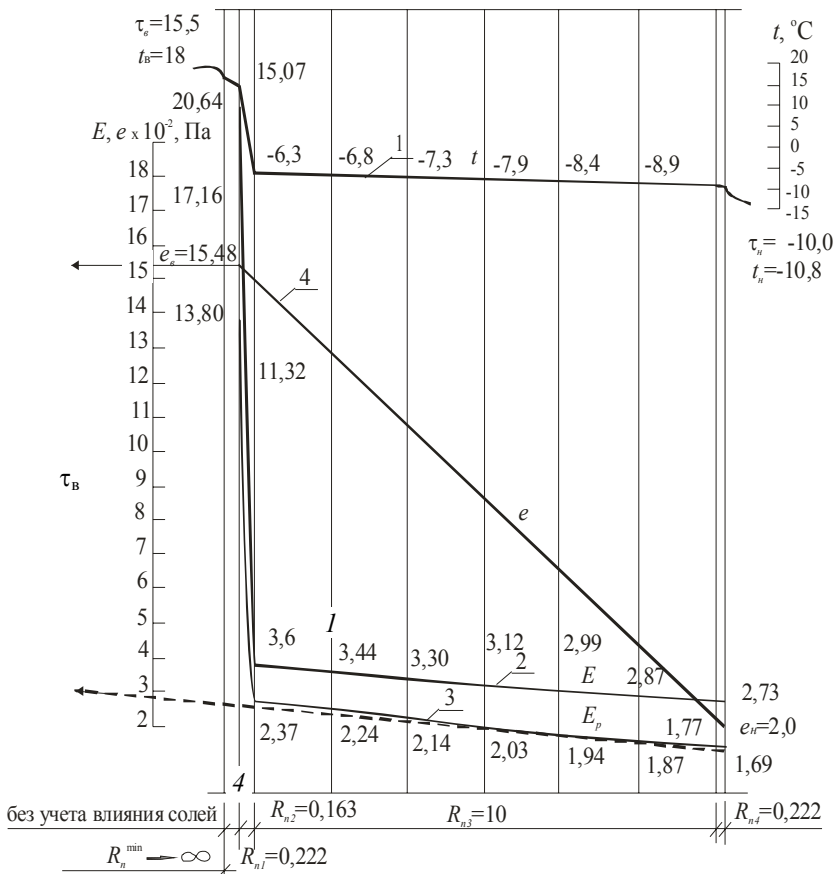
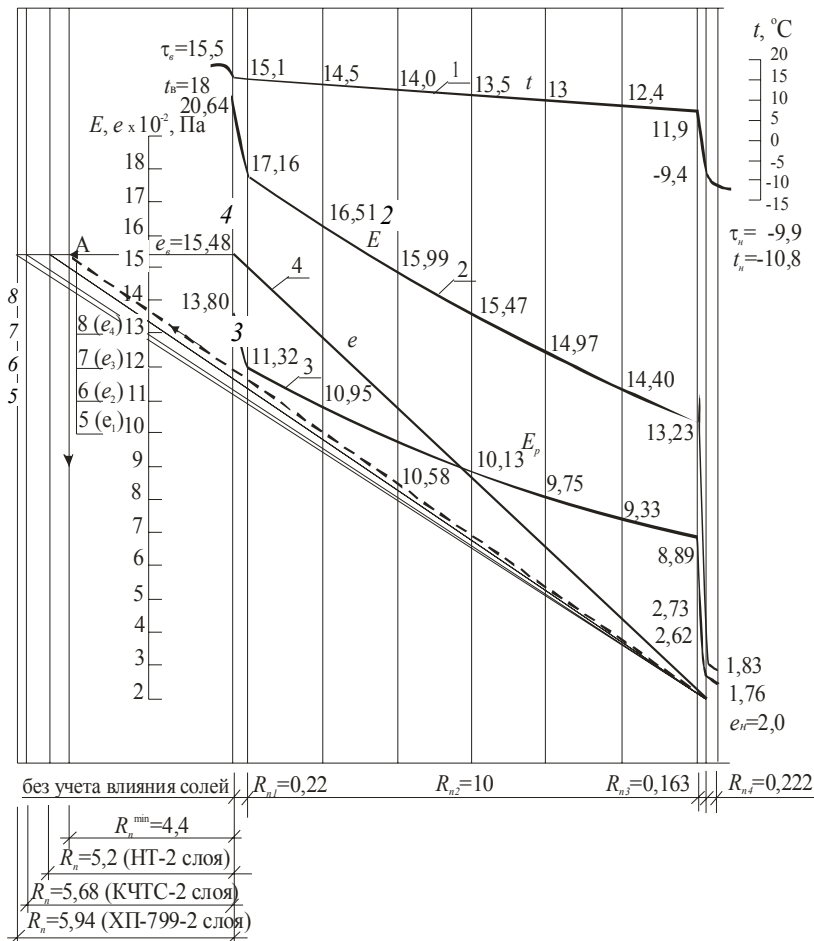


Рис. 3 Схема влажностного режима наружных стен с учетом дополнительного утепления (утеплитель располагается с внутренней стороны стены):

1 – изменение по сечению стены температуры t , °С; 2, 3 – то же, максимальной упругости водяного пара, соответственно, над поверхностью воды (E) и насыщенного солевого раствора (E_p); 4 – то же, упругости водяного пара, соответственно, при отсутствии защитного покрытия с внутренней стороны ограждения (e)

2 Когда на поверхности стен допускается образования конденсата, для предотвращения его воздействия на стены устраивается защитное покрытие и $\Delta t_n = t_v - t_p$, (t_p – температура точки росы, °С). Вычисленное значение t_p составило 13,5 °С и $R_0^{TP} = 1,17 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$. Толщина утеплителя – 80 мм, R_0 составляет $1,348 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$.

ДЛЯ ДАЛЬНЕЙШИХ РАСЧЕТОВ ПРИНЯЛИ ТОЛЩИНУ УТЕПЛИТЕЛЯ, РАССЧИТАННУЮ С УЧЕТОМ ВОЗМОЖНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ КОНДЕНСАТА НА ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ОГРАЖДЕНИЯ.

В РЕЗУЛЬТАТЕ РАСЧЕТОВ И ПОСТРОЕНИЙ УСТАНОВЛЕНО, ЧТО БЕЗ УЧЕТА ВЛИЯНИЯ СОЛЕЙ КОНДЕНСАЦИИ ВОДЯНОГО ПАРА В СТЕНЕ НЕ БУДЕТ, ТАК КАК ЛИНИИ E И E_p НЕ ПЕРЕСЕКАЮТСЯ. ПРИ УЧЕТЕ ВЛИЯНИЯ СОЛЕЙ (ЛИНИЯ E_p), НАБЛЮДАЕТСЯ ПЕРЕСЕЧЕНИЕ E_p С E , ЧТО СВИДЕТЕЛЬСТВУЕТ О ВОЗМОЖНОСТИ КОНДЕНСАЦИИ ВОДЯНОГО ПАРА В ОГРАЖДЕНИЯХ БЕЗ ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ. ЭТО НАБЛЮДАЛОСЬ ДЛЯ ВСЕХ ВАРИАНТОВ УТЕПЛЕНИЯ.

ТИП ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ СТЕН НАЗНАЧАЛИ С ТАКИМ МИНИМАЛЬНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ ПАРПРОНИЦАНИЮ R_{II}^{MIN} , КОТОРОЕ ГАРАНТИРУЕТ ОТ ВЫПАДЕНИЯ КОНДЕНСАТА В ТОЛЩЕ СТЕН. УСТАНОВЛЕНО, ЧТО В ДАННОМ СЛУЧАЕ МОЖНО ИСПОЛЬЗОВАТЬ ПОКРЫТИЯ: НАИРИТОВОЕ НТ, НА ОСНОВЕ ХЛОРИРОВАННОГО КАУЧУКА КЧТС И ХЛОРПОЛИЭТИЛЕНОВОЕ ХП-799. ПРИ РАСПОЛОЖЕНИИ УТЕПЛИТЕЛЯ С ВНУТРЕННЕЙ СТОРОНЫ СТЕН ОГРАЖДЕНИЕ НЕ ГАРАНТИРОВАНО ОТ УВЛАЖНЕНИЯ ДАЖЕ ПРИ НАЛИЧИИ ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ, ТАК КАК $R_{II}^{\text{MIN}} \rightarrow \infty$.

Поэтому оптимальным является расположение утеплителя в подобных зданиях с внешней стороны наружных стен.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Гликин С.М. Прогрессивные ограждающие конструкции промышленных зданий. М.: Стройиздат, 1990. 232 с.

2 Ельчищева Т.Ф. Повышение эксплуатационных качеств ограждающих конструкций реконструируемых промышленных зданий при воздействии солей: Дис. ... канд. техн. наук. Пенза, 2000. 25 с.

КАФЕДРА "АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО ЗДАНИЙ"

УДК 624.15

Д.А. Прокин, В.М. Антонов

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АРМИРОВАННЫХ ГРУНТОВ

Лабораторные испытания проводились в компрессионных и сдвиговых приборах на образцах песчаного грунта, взятых из карьера Красненькое города Тамбова. В соответствии с [1] песок мелкий, степень неоднородности по Хазену $C_u = d_{60}/d_{10} = 2,8$ – песок однородный.

ВЛАЖНОСТЬ ГРУНТА ОСНОВАНИЯ БЫЛА БЛИЗКА К ОПТИМАЛЬНОЙ $w = 10\%$. КОЭФФИЦИЕНТ ВОДОНАСЫЩЕНИЯ $S_r = 0,31$ – ГРУНТ МАЛОВЛАЖНЫЙ. ПЛОТНОСТЬ СУХОГО ГРУНТА $\rho_d = 1,35$ Г/СМ³, ПЛОТНОСТЬ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ $\rho_s = 2,59$ Г/СМ³.

Прочностные характеристики для неармированного основания: угол внутреннего трения $\varphi = 32^\circ$; удельное сцепление $c = 3,3$ кПа.

В ПРИБОРЕ ОДНОПЛОСКОСТНОГО СРЕЗА БЫЛИ ПРОВЕДЕНЫ ИСПЫТАНИЯ В СООТВЕТСТВИИ С [2], ПО МЕТОДУ НЕКОНСОЛИДИРОВАННО-НЕДРЕНИРОВАННОГО СРЕЗА ПРИ НОРМАЛЬНЫХ ДАВЛЕНИЯХ: 0,1; 0,2; 0,3 МПа. ОБРАЗЦЫ-БЛИЗНЕЦЫ БЫЛИ ПОДГОТОВЛЕНЫ ОБЪЕМНЫМ МЕТОДОМ НЕПОСРЕДСТВЕННО В КАМЕРЕ СДВИГОВОГО ПРИБОРА ПРИ ПОСТОЯННОЙ ПЛОТНОСТИ $\rho = 1,55$ Г/СМ³,

В качестве армирующего материала использовались: сетки с размерами ячеек 1×1 см с диаметром стержней 1, 2, 3 мм; пластик толщиной 0,5, 1, 2, 3 мм; стержни диаметром 0,5, 1, 2, 3 мм, которые располагались с шагом 30, 15, 10 мм, и геотекстиль. Все армирующие элементы располагались перпендикулярно плоскости среза.

Результаты опытов на сдвиг представлены в табл. 1.

1 Прочностные характеристики армированного грунта

Вид арматуры	Процент армирования	Напряжения сдвига при вертикальной нагрузке Р, мПа			С, кПа	$\varphi, ^\circ$
		0,1	0,2	0,3		
Без арматуры	-	0,075	0,125	0,2	0,03	32
Сетка $d_s = 1$ мм	0,273	0,1	0,175	0,25	0,05	36,8
Сетка $d_s = 2$ мм	1,13	0,125	0,175	0,3	0,05	41,1
Сетка $d_s = 3$ мм	2,54	0,1	0,172	0,31	0,01	48,37
Пластик $t_s = 0,5$ мм	2	0,075	0,125	0,22	0,02	36,8

Пластик $t_s = 1$ мм	4	0,07 5	0,17 5	0,2 5	0,0 2	41,1
Пластик $t_s = 2$ мм	8	0,07 5	0,15	0,2 2	0,0 2	36,8
Пластик $t_s = 3$ мм	12	0,1	0,17 5	0,2 7	0,0 3	41,1
3 ст. $d_s = 0,5$ мм	0,014	0,07 5	0,15	0,2 2	0,0 2	36,8
3 ст. $d_s = 1$ мм	0,055	0,07 5	0,22 5	0,2 2	0,0 4	32
3 ст. $d_s = 2$ мм	0,22	0,07 5	0,15	0,2 2	0,0 2	36,8

Продолжение табл. 1

Вид арматуры	Про- цент арми- рова- ния	Напряжения сдвига при вер- тикальной на- грузке Р, мПа			С, кПа	$\varphi, ^\circ$
3 ст. $d_s = 3$ мм	0,495	0,1	0,17 5	0,2 5	0,0 5	36,8
5 ст. $d_s = 0,5$ мм	0,023	0,1	0,15	0,2 5	0,0 4	36,8
5 ст. $d_s = 1$ мм	0,092	0,1	0,15	0,2 2	0,0 5	32
5 ст. $d_s = 2$ мм	0,366	0,1	0,17 5	0,2 5	0,0 5	36,8
5 ст. $d_s = 3$ мм	0,824	0,07 5	0,17 5	0,2 5	0,0 1	41,1
7 ст. $d_s = 0,5$ мм	0,032	0,1	0,15	0,2 2	0,0 5	32
7 ст. $d_s = 1$ мм	0,128	0,1	0,17 5	0,2 5	0,0 5	36,8
7 ст. $d_s = 2$ мм	0,513	0,1	0,17 5	0,2 7	0,0 3	41,1
7 ст. $d_s = 3$ мм	1,15	0,1	0,2	0,2 7	0,0 4	41,1
Текстиль	8	0,07 5	0,17 5	0,2 5	0,0 1	41,1

На компрессионном приборе испытания проводились в соответствии с [2], нагрузка на рычаг прибора давалась ступенями в 0,03; 0,06; 0,09; 0,12; 0,15 кН, это соответствовало давлению на грунт в 50; 100; 150; 200; 250 кПа. Каждая ступень нагрузки выдерживалась до условного затухания деформаций. Армирующий элемент располагался перпендикулярно оси действия вертикальной нагрузки, на глубине 0,25, 0,5, 0,75 от высоты образца.

В табл. 2 представлены результаты испытаний проведенных на компрессионном приборе.

2 ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АРМИРОВАННОГО ГРУНТА

Вид арматуры	Процент армирования	Глубина заложения	Значения модуля деформации при вертикальной нагрузке P , кПа			
			100	150	200	250
БЕЗ АРМАТУРЫ		–	1142	1582	2290	3164
Сетка $d_s = 1$ мм	0,49	1,8	1368	1444	1857	2167
		1,2	1300	2889	3250	3250
		0,6	1444	1625	1733	1857

Продолжение табл. 2

Вид арматуры	Процент армирования	Глубина заложения	Значения модуля деформации при вертикальной нагрузке P , кПа			
			100	150	200	250
Сетка $d_s = 2$ мм	1,96	1,8	2364	2889	2889	3714
		1,2	2167	2364	3250	3714
		0,6	2364	2889	3250	2364
Сетка $d_s = 3$ мм	4,42	1,8	2364	2889	2889	3250
		1,2	1733	1733	1857	2364
		0,6	1857	1857	2167	2364
Пластик $t_s = 0,5$ мм	2	1,8	3714	5200	5200	6500
		1,2	2167	3714	5200	6500
		0,6	1300	2600	3250	3714
Пластик $t_s = 1$ мм	4	1,8	3714	3714	5200	6500
		1,2	3714	3714	5200	5200
		0,6	2600	2600	3250	3714
Пластик $t_s = 2$ мм	8	1,8	2363	3250	5200	6500
		1,2	2167	3250	3714	5200
		0,6	2363	3250	5200	6500
Пластик $t_s = 3$ мм	12	1,8	2167	2600	3714	6500
		1,2	5200	6500	8667	8667
		0,6	2600	3250	3714	5200
3 ст. $d_s = 0,5$ мм	0,029	1,8	2167	3250	3250	5200
		1,2	2600	5200	6500	8667
		0,6	2363	3250	6500	8667
3 ст. $d_s = 1$ мм	0,115	1,8	1733	2364	3250	5200
		1,2	1300	3714	5200	6500
		0,6	2167	2364	2364	5200
3 ст. $d_s = 2$ мм	0,46	1,8	2364	5200	6500	8667
		1,2	3714	3714	6500	8667
		0,6	3250	3714	6500	6500
3 ст. $d_s = 3$ мм	1,04	1,8	2167	3250	3714	5200
		1,2	1625	6500	6500	6500
		0,6	1733	3250	5200	6500
5 ст. $d_s = 0,5$ мм	0,043	1,8	5200	5200	8667	8667
		1,2	1857	3714	6500	8667
		0,6	2364	5200	6500	8667

Продолжение табл. 2

Вид арматуры	Процент армирования	Глубина заложения	Значения модуля деформации при вертикальной нагрузке P , кПа			
			100	150	200	250
5 ст. $d_s = 1$ мм	0,172	1,8	1367	2167	3714	6500
		1,2	1444	1857	3250	3250
		0,6	1857	2364	3250	3250
5 ст. $d_s = 2$ мм	0,69	1,8	2364	3714	6500	6500
		1,2	3250	3714	6500	6500
		0,6	2364	3714	6500	8667
5 ст. $d_s = 3$ мм	1,55	1,8	2167	3714	6500	6500
		1,2	1083	3250	5200	8667
		0,6	2167	3714	6500	8667
7 ст. $d_s = 0,5$ мм	0,61	1,8	3714	5200	5200	8667
		1,2	1857	2600	5200	6500
		0,6	1625	3714	6500	8667
7 ст. $d_s = 1$ мм	0,24	1,8	1857	3250	5200	6500
		1,2	1625	2167	2600	3714
		0,6	2167	3250	3250	3714
7 ст. $d_s = 2$ мм	0,98	1,8	2167	3714	5200	6500
		1,2	3714	5200	8667	8667
		0,6	3250	5200	6500	8667
7 ст. $d_s = 3$ мм	2,2	1,8	6500	6500	8667	8667
		1,2	5200	6500	6500	8667
		0,6	3714	6500	6500	8667
Текстиль	8	1,8	765	1182	2167	3250
		1,2	813	1182	1625	2364
		0,6	1083	1444	1733	1857

По результатам экспериментов выявлено следующее:

1 Армирование значительно повышает прочностные характеристики грунтов (удельное сцепление возросло при армировании сетками и пластиком в 1,5 раза, угол внутреннего трения в 1,3 раза) и модуль общей деформации (в 2,74 раза при армировании пластиком и стержнями).

2 Армирование геотекстилем привело к увеличению ϕ в 1,3 раза; значения сцепления и модуля деформаций не изменялись.

3 Оптимальное значение процента армирования при стержневом армировании $\mu = 0,029$, сетчатом армировании $\mu = 0,273$, армировании пластиком $\mu = 0,075$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 ГОСТ 25100–95 Грунты. Классификация.

2 ГОСТ 12248–96 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости.

КАФЕДРА "КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ"

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ДРЕВЕСИНЫ НАГЕЛЬНОГО ГНЕЗДА

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ВЛИЯНИЮ ТЕМПЕРАТУРЫ НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ДРЕВЕСИНЫ НАГЕЛЬНОГО ОТВЕРСТИЯ ПРАКТИЧЕСКИ ОТСУТСТВУЮТ. ОДНАКО ИЗВЕСТНО, ЧТО ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДРЕВЕСИНЫ СУЩЕСТВЕННО.

Влияние температуры в [1] при расчете деревянных конструкций учитывается коэффициентом $m_t = 1$ при $t < 35$ °С и 0,8 при $t \leq 50$ °С [1], а также коэффициентом m_b [1], который учитывает условия эксплуатации. На эти коэффициенты умножаются при расчете расчетные сопротивления, модули упругости и сдвига.

В нашем случае модули упругости, соответствующие направлению волокон, при различных температурах (20, 40, 60 и 80 °С) определяли по формулам, приведенным в [2]

$$E_{d,90}^{сж.т} = (0,062 - 0,0001T) \cdot 10^4; \quad (1)$$

$$E_d^{сж.а} = (1,1 - 0,00166T) \cdot 10^4. \quad (2)$$

Деревянные образцы изготавливали из сосны. Влажность древесины согласно [3] находилась в пределах $\omega = 12 \dots 18$ %. Толщина деревянных образцов принята равной 80 мм при диаметре условно жесткого штампа – 20 мм и длине 120 мм. Расстояния от торцов элемента вдоль волокон древесины до оси штампа $S \geq 6d$ и от оси штампа до боковой грани образца $S \geq 3d$.

В отверстия вставляли штампы с обеспечением плотной посадки, при этом исключали запрессовывание их с целью исключения смятия древесины нагельного гнезда.

Для количественной оценки напряжений, возникающих при смятии древесины нагельного гнезда, использовали проволочные тензорезисторы с базой 10 мм и АИД-4. Разметка мест наклейки тензодатчиков и подготовка образца к температурным испытаниям показана на рис. 1.

Заданная температура испытания (от 20 до 80 °С) поддерживалась при помощи съемной печи, контактного термометра и реле включения печи.

Нагружение производили с помощью разрывной машины UR 2167-P 50 и специального нагружающего устройства, обеспечивающего зазор между пластиной и образцом не менее 2 мм, со скоростью 1 мм/мин [4].

Теоретический расчет перемещений и напряжений проводили методом конечных элементов с использованием программы Лира-8.

Распределение напряжений в зоне нагельного гнезда принимали по формуле [5], считая радиус отверстия и штампа условно одинаковыми

$$\sigma_r = k\sigma_{ср} \left(\cos \varphi - \cos \frac{\varphi_0}{2} \right) \cos \varphi, \quad (3)$$

где $\sigma_{ср} = \frac{N}{\delta d_{ш}}$; $N = N_{I-II}$ – действующая на образец нагрузка, равная условному пределу пропорциональности смятия древесины нагельного гнезда, кН; δ – толщина деревянного элемента, см; $d_{ш}$ – диаметр жесткого штампа, см

$$k = 1/(1 - \cos \varphi_0/2)^2;$$

$\varphi_0 = 144^\circ$ – максимальный угол распределения давления; φ – угол определения напряжений (постановки тензодатчиков) по направлению к волокнам древесины.



a)

б)

Рис. 1 Разметка мест наклейки тензодатчиков (а) и подготовка образца к температурным испытаниям (б)

Экспериментальные значения напряжений в образце до условного предела пропорциональности определялись по закону Гука

$$\sigma = E\varepsilon, \quad (4)$$

где E – модуль упругости древесины сосны, принимаемый в зависимости от угла постановки тензодатчиков к направлению волокон деревянного образца и температуры испытания (формулы 1-2), МПа.

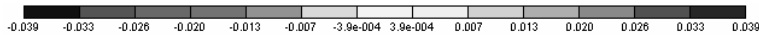
Эпюры теоретических значений напряжений при условном пределе пропорциональности (верхняя граница упругой работы древесины) для температуры 20 °С представлены на рис. 2.

В табл. приведены значения полученных напряжений.

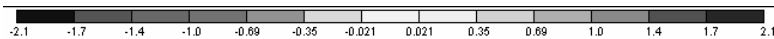
Выводы по работе:

1 Установлена условный предел пропорциональности (N_{I-II}) древесины в отверстии нагельного гнезда для температур 20, 40, 60, 80 °С и диаметра штампа 20 мм:

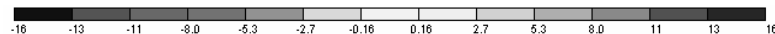
а) Перемещения u , мм



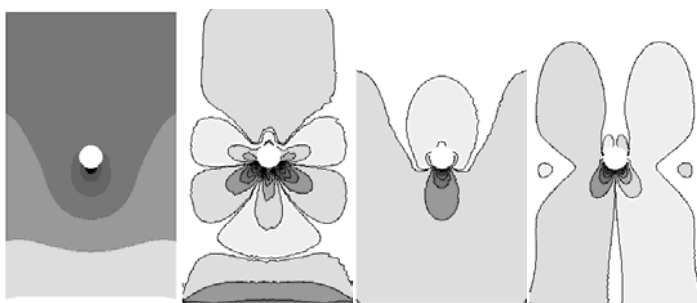
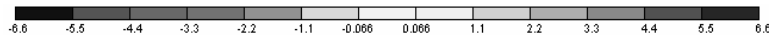
б) Напряжения x , МПа



в) Напряжения y , МПа



г) Напряжения касательные, МПа



a)

б)

в)

г)

Рис. 2 Изолинии напряжений смятия и перемещений вокруг отверстия нагельного гнезда при условном пределе пропорциональности для диаметра штампа 20 мм при температуре испытаний 20 °С

Таблица

Угол направ- ления к волокну, φ, °	Напряжения, МПа				
	Теоретиче- ские	Экспериментальные			
		при температуре испытаний, °С			
	20	20	40	60	80
0	0,776	-0,132	-0,89	-0,034	-0,790
45	-4,07	-5,563	-4,635	-3,321	-5,162
90	-10,302	-8,155	-6,757	-7,170	-10,34
135	-4,07	-5,563	-4,635	-3,321	-5,162
180	0,776	-0,132	-0,89	-0,034	-0,790

2 Существенного влияния температуры на величину N_{I-II} не наблюдалось.

3 Определены теоретические и экспериментальные напряжения смятия в отверстии.

4 Выполнена статистическая обработка данных методом простой регрессии с использованием программного комплекта Stadia.

5 Получены адекватные регрессионные уравнения для всех температур. В общем виде уравнение представляет собой полином третьей степени.

6 Температура не влияет на общий вид распределения напряжений смятия в отверстии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 СНИП II-25-80. Деревянные конструкции. Нормы проектирования / Госстрой СССР. М.: Стройиздат, 1983. 31 с.

2 Стородубцева Т.Н. Композиционный материал на основе древесины для железнодорожных шпал: Трещиностойкость под действием физических факторов: Монография / Т.Н. Стородубцева; Воронежская государственная лесотехническая академия. Воронеж: Изд-во Воронежского гос. ун-та, 2002. 216 с.

3 Рекомендации по испытанию деревянных конструкций / ЦНИИСК им. Кучеренко. М.: Госстрой СССР, 1981. 38 с.

4 Рекомендации по испытанию соединений деревянных конструкций / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. М.: Стройиздат, 1980. 40 с.

5 Дмитриев П.А. Экспериментальные исследования соединений элементов деревянных конструкций на металлических и пластмассовых нагелях и теория их расчета с учетом упруговязких и пластических деформаций: Дис ... докт. техн. наук. Новосибирск, 1975. 526 с.

КАФЕДРА "КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ"

УДК 514.181.6

Г.М. Михайлов, А.С. Горбачев, Ю.А. Тепляков

ПОСТРОЕНИЕ АКСОНОМЕТРИЧЕСКИХ ПРОЕКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СФЕРИЧЕСКОЙ КООРДИНАТНОЙ СЕТКИ

Вопрос построения аксонометрических проекций достаточно широко освещен в отечественной литературе [1, 2].

При построении аксонометрических проекций руководствуются основной теоремой аксонометрии Польке. Из теоремы следует, что аксонометрические оси и показатели искажения по ним могут быть выбраны произвольно.

Проблема построения изображений по пространственной модели связана со сложностью задания направлений проецирования. Для облегчения решения этой задачи в статье предлагается способ, основанный на применении сферической координатной сетки (рис. 1).

Способ предусматривает наличие модели, содержащей три взаимоперпендикулярные плоскости π_1 ; π_2 ; π_3 с жестко закрепленным макетом объекта, ориентированного по осям X ; Y ; Z и координатной сферической сетки, образованной меридианами и параллелями с центром O , обусловленным точкой пересечения осей.

Порядок градуировки сетки позволяет идентифицировать кодирование узловых точек с одинаковыми расчетными параметрами в разных октантах.

Выбор направления проецирования осуществляется в этом случае путем совмещения узловой точки A координатной сетки с центром сферы O , совпадающим с центром масс макета объекта, расположенного внутри сферы.

Аксонometriю считают заданной, если известно расположение аксонометрических осей, их положительное направление и коэффициенты искажения по этим осям.

Проекция угла наклона γ – направления проецирования на ортогональном чертеже и углы ω и φ координатной сетки (рис. 2) связаны выражением:

$$\gamma'' = \arctg \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\cos \omega}; \quad \gamma' = \omega.$$

По выбранному направлению проецирования \bar{s} и тригонометрической связи углов γ , ω и φ определяют расчетные параметры изображений. Расчеты показывают, что пространственные изображения лежат в интервале следующих значений исходных параметров: $0^\circ < \omega < 90^\circ$, $0^\circ < \varphi < 90^\circ$, когда направление проецирования не параллельно ни осям, ни плоскостям проекций.

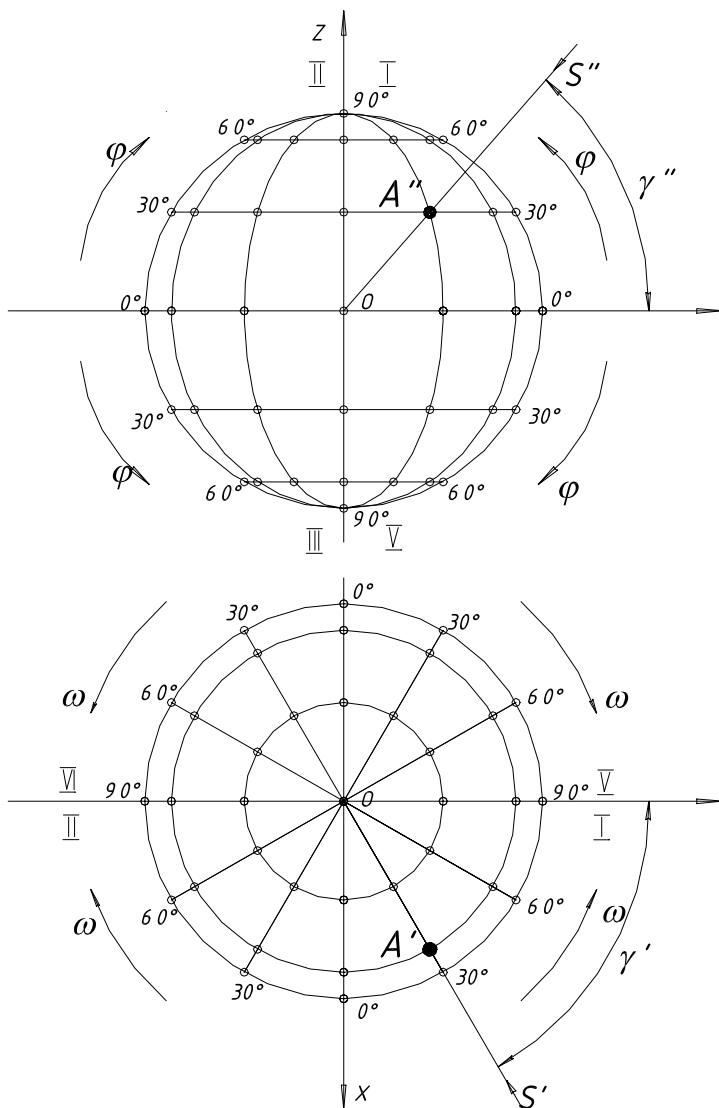


Рис. 1 Координатная сферическая сетка

Другие φ оны также дают пространственное изображение объекта, но с меньшим эффектом трехмерности, вплоть до образования двумерных проекций.

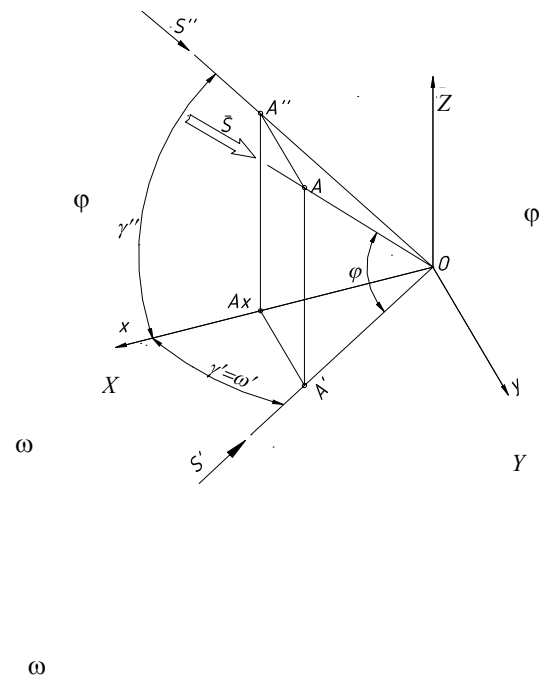


Рис. 2 Схема проецирования на пространственной модели

Использование пространственной модели обеспечивает теоретически обоснованное и точное построения изображения пространственной модели в прямоугольных аксонометрических проекциях, при параллельном проецировании.

Список ЛИТЕРАТУРЫ

1 Елисеева Н.А. Теория аксонометрических проекций в научных трудах профессора Д.И. Каргина: Межвуз. науч.-метод. сб. Саратов: СГТУ, 2001. 227 с.

2 Елисеев О.К. Труды И. Кеплера и начала аксонометрии: Межвуз. науч.-метод. сб. Саратов: СГТУ, 2002. 80 с.

КАФЕДРА "ПРИКЛАДНАЯ ГЕОМЕТРИЯ И КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА"

УДК 625.7(07)

Т.И. ЛЮБИМОВА

ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА БЕТОНА С ДОБАВКОЙ АЦФ-ОЛИГОМЕРОМ

Экспериментально установлено, что интенсификация структурообразования цементного камня в присутствии органоминеральных добавок оказывает влияние на рост прочности во времени.

Прочность бетона с пластифицирующими добавками в основном зависит от тех же факторов, что и для обычного бетона. Добавки ПАВ, в том числе и водорастворимых смол, вносят дополнительный вклад в синтез прочности в той мере, в какой они влияют на пористость цементного камня и контактной зоны, а также в целом в морфологию микроструктуры. Поэтому, исходя из особенностей, вносимых модифицированными АЦФ-смолами в процесс структурообразования цементного камня и бетона, изучены изменения прочности в зависимости от водосодержания, вида и количества добавки, расхода цемента, наполнителя и его дисперсности и отношения песка к щебню.

Установлено, что при прочих равных условиях, приготовление бетонной смеси по отдельной технологии обеспечивает повышение активности связующего и увеличение прочности бетона на 10...15 % в сравнении с традиционным способом перемешивания. С учетом этого в экспериментальных исследованиях бетонную смесь с добавками АЦФ смол и наполнителями приготавливали отдельным способом, используя для получения связующей части турбулентный, а для бетонной смеси – обычный смеситель.

Выявлена особенность влияния АЦФ-смол на формирование макроструктуры, заключающаяся в одновременном увеличении и подвижности бетонной смеси с осадкой конуса 0...6 см и прочности бетона в рациональных пределах дозировок (0,1...0,2 %). При этом, как и для цементного камня, наблюдается экстремальный характер изменения прочностных показателей и прирост прочности по 0,15 % ПАВ составляет 18...23 % для АЦФ-ЗМ (модифицированная).

Добавка 0,15 % АЦФ-ЗМ позволяет получить равнопластичную бетонную смесь с начальной осадкой конуса 4...6 см при сокращении водосодержания на 10...12 % и общий прирост прочности для бетона.

Упрочняющий эффект малых дозировок АЦФ смол связан с особенностями формирования микроструктуры бетона, снижением контактной пористости микроструктуры, что свидетельствует о повышении прочности сцепления цементного камня с заполнителем и подтверждается приростом прочности образцов на растяжение при изгибе на 25...35 %.

Наиболее интенсивный рост прочности бетона с добавками наблюдается в начальные сроки твердения до семи суток. Так, если прирост прочности эталонного бетона после трех суток твердения в воздушно-влажных условиях при температуре 25...30 °С составляет до 30 %, то бетона с добавками АЦФ-ЗМ достигает 50 и 60 % марочной прочности. В дальнейшем нарастание прочности бетона относительно стабилизируется и к 180 суткам нормального твердения на 10...15 % выше, чем контрольного бетона.

Для бетонных смесей с наполнителями и добавками АЦФ смол изменения прочности бетона носит неодинаковый характер и зависит от дисперсности наполнителя.

Вклад грубодисперсных наполнителей в изменение прочности бетона определяется крупностью частиц, адсорбционной активностью их по отношению к воде и АЦФ смолам. Если снижение водопотребности в обычных бетонных смесях при условии их удобоукладываемости приводит к повышению прочности бетона, то при использовании грубодисперсных наполнителей эта общеизвестная закономерность нарушается. В результате структурирующего действия до некоторого предельного содержания наполнителя и снижения соответственно водопотребности за счет уменьшения величины общей поверхности контакта прочность бетона возрастает. На рост прочности бетона при этом существенное влияние оказывает добавка АЦФ-ЗМ. Дальнейшее увеличение количества наполнителя, несмотря на

снижение водопотребности и упрочняющее действие добавки АЦФ-ЗМ, вследствие разбавляющего эффекта и уменьшения активной клинкерной части цемента приводит к снижению прочности бетона.

Анализ полученных данных свидетельствует, что основой снижения энергозатрат в технологии бетонов возможно при использовании многокомпонентных органоминеральных добавок с объединением эффекта водоредуцирующего действия ПАВ, пуццолановой активности наполнителей и усиливающего эффекта направленного формирования изоструктурных фаз с добавками-ускорителями твердения.

КАФЕДРА "ГОРОДСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО И АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ"

УДК 534.2

*А.Ю. Воронков, А.М. Макаров, П.Ю. Потылицин**

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА ПРОСЛЕЖИВАНИЯ ЗВУКОВЫХ ЛУЧЕЙ ПРИ ОЦЕНКЕ ШУМА В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

При оценке акустических параметров помещений и определении энергетических характеристик отраженных звуковых полей в производственных зданиях с источниками шума в последнее время начинает

*Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. В.И. Леденева.

применяться метод прослеживания звуковых лучей (ray tracing), разработанный в 70-х гг. XX столетия для целей архитектурной акустики [1]. Метод позволяет производить компьютерное моделирование процессов распространения звуковых лучей с учетом объемно-планировочных параметров помещения, места размещения оборудования в объеме помещения, звукопоглощающих характеристик ограждений, оборудования и других факторов.

Для реализации метода разработана компьютерная программа, построенная в соответствии с принципами прослеживания траекторий и изменения энергий заданного набора звуковых лучей. При этом вся излучаемая источником звуковая энергия P равномерно распределяется между N лучами. На каждый луч приходится акустическая мощность P/N . Направления лучей задаются вероятностным образом в соответствии с диаграммой направленности источника. Отражение звука от поверхностей при расчетах может быть принято зеркальным или рассеянным по закону Ламберта. В последнем случае предполагается, что отраженная энергия луча распространяется в одном из направлений, определяемом вероятностным образом в соответствии с законом отражения. При достаточно большом количестве лучей распределение "отраженных лучей" повторяет в совокупности всю диаграмму рассеяния отраженной энергии. Прослеживание и учет энергетического вклада каждого из N лучей позволяют определять результирующие энергетические параметры поля. Звуковые лучи прослеживаются до тех пор, пока их энергия не уменьшится в 10^6 раз.

Имеющийся опыт использования метода прослеживания лучей показывает, что по способу регистрации звуковой энергии в расчетных точках существует два подхода.

В работе [2] пространственный угол распространения луча принимается равным $4\pi/N$ с круглым поперечным сечением, а сам луч распространяется по центральной оси угла. Радиус поперечного сечения луча увеличивается пропорционально пройденному лучом пути. Если расчетная точка попадает в пределы пространственного угла, то в ней учитывается вклад энергии луча. При таком представлении лучей уменьшается погрешности дискретизации, и следовательно, можно ограничивать количество лучей N . В то же время данный способ задания лучевой картины имеет существенный недостаток. Связано это с тем, что по мере прослеживания луча происходит увеличение размеров трубки, а так как коэффициенты звукопоглощения учитываются только на центральной оси луча, то возникают различия между учитываемым и действительным поглощением поверхности. Особенно заметно это проявляется в помещениях с большими различиями в звукопоглощающих характеристиках, например, в помещениях

со звукопоглощающими потолками. Исследования, выполненные с использованием метода прослеживания лучей при рассмотренном выше подходе, показали, что такое представление лучей обеспечивает достаточно надежное решение задач в помещениях с примерно одинаковыми коэффициентами звукопоглощения. В случае больших различий звукопоглощения поверхностей метод дает значительные погрешности. При этом величина погрешностей зависит от принимаемого количества лучей.

В работах [3 – 5] лучи задаются с бесконечно малыми пространственными углами распространения. Это представление в наибольшей мере соответствует понятию луча. При таком подходе точка приема лучей может быть представлена в виде прозрачного круглого экрана или шара. Размеры областей в точке приема должны быть достаточными для усреднения проходящих через них лучей. Как показано в [5 – 6], радиусы областей могут быть 1,0 м и более. Плотность звуковой энергии в расчетной точке определяется путем суммирования энергии отдельных лучей, проходящих через область в течение единицы времени, и деления суммы на площадь области. Исходя из соотношения размеров области приема и помещения определяется необходимое количество испускаемых источником лучей [7]. Их количество может достигать десятков тысяч [8]. Большое количество лучей необходимо для уменьшения погрешностей при замене непрерывного фронта волны ограниченным количеством лучей. Исследования, выполненные с использованием такого подхода, показали, что метод обеспечивает более точное решение задач и даже при больших различиях коэффициентов звукопоглощения.

Данный подход используется нами в настоящее время при оценке распространения шума в производственных помещениях. Сравнение расчетных и экспериментальных данных показало достаточную точность расчетов. Расхождения не превышают $\pm 2.0 \dots 3.0$ дБ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Schroeder M.R. Computer models for concert hall acoustics // Amer. J. Phys., 1973. V. 41. № 4. P. 461 – 471.
- 2 Бенцианова Ю.Е., Виноградова Э.Л., Индлин Ю.А. Методика расчета акустических параметров залов с помощью ЭВМ // Труды НИКФИ, 1986. Вып. 126. С. 5 – 17.
- 3 Krokstand A., Strom S., Sordal S. Calculating the acoustical room response by the use of a ray tracing technique // Sound and Vibration, 1968. V. 8. № 1. P. 118 – 125.
- 4 Wayman I.L., Vanyo I.P. Three-dimensional computer simulation of reverberation in an enclosure // IASA, 1977. V. 62. № 1. P. 213 – 215.
- 5 Krokstand A., Strom S. Acoustical design of the multipurpos Hjertrnis nall in Sanderfjord // Applied Acoustics, 1979. V. 12. № 1. P. 45 – 63.
- 6 Бенцианова Ю.Е., Виноградова Э.Л., Индлин Ю.А. и др. Методика и расчет на ЭВМ импульсного отклика зала // Тезисы докладов X Всесоюзной акустической конференции. М., 1993. С. 87 – 90.
- 7 Кочергин И.А. Расчет уровней звукового давления, создаваемых источником в несоразмерном помещении // Повышение безопасности труда на предприятиях черной металлургии. М., 1985. С. 28 – 35.
- 8 Giuliana B., Renato S. A computers simulation procedure for the optimization of the joint effect of barriers and absorbing material in industrial halls / Internoise 83, 1983. P. 599 – 603.

Кафедра "Городское строительство и автомобильные дороги"
содержание

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

- | | | |
|---|---|----|
| 1 | Калятин Д.К., Осипов А.А., Першина С.В. ПРИГОТОВЛЕНИЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СМЕСЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ДВУХСТАДИЙНОГО ДОЗИРОВАНИЯ | 3 |
| 2 | Борщев В.Я., Шубин Р.А., Уколов Ал-др.А. ПЕРЕМЕЩЕНИЕ МЕЛКИХ И КРУПНЫХ ОДИНОЧНЫХ ЧАСТИЦ В ЗЕРНИСТОЙ СРЕДЕ ПРИ УМЕРЕННЫХ СКОРОСТЯХ ... | 7 |
| 3 | Акулин В.В., Промтов М.А. МЕТОД РАСЧЕТА | 12 |

	СКОРОСТИ И УСКОРЕНИЯ ПОТОКА ЖИДКОСТИ В КАНАЛАХ РОТОРНО-ИМПУЛЬСНОГО АППАРАТА	
4	<i>Меметов Н.Р., Шубин И.Н., Монаенков М.Ю.</i> ПОЛУЧЕНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ АДсорбентов ПИРОЛИЗОМ ГАЗООБРАЗНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ ...	16
5	<i>Чупрунов С.Ю., Колмакова М.А., Ковальчук Д.М., Орлов А.Ю.</i> К ВОПРОСУ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ТЕРМОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ СУШКЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ПОЛУПРОДУКТОВ	19
6	<i>Ковынев А.А., Шеришуква А.И., Першина С.В.</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗЕРНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ	23
7	<i>Коптев А.А., Шеришуква А.В.</i> ДВИЖЕНИЕ ЖИДКОСТИ МЕЖДУ ОДНОНАПРАВЛЕННО ВРАЩАЮЩИМИСЯ ПЕРФОРИРОВАННЫМИ ДИСКАМИ	25
8	<i>Орехов В.С., Воякина Н.В., Марков А.В., Главатских Н.С.</i> РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ИОНОВ Na^+ , K^+ , H^+ , SO_4^{2-} В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ РАСТВОРАХ СУСПЕНЗИЙ	28
9	<i>Баранов А.А., Королев С.В., Пироженко А.А.</i> РАСЧЕТ ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТИ АППАРАТА ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ГОРЕНИЯ ДЛЯ ЭЖЕКЦИОННОГО ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА	33
10	<i>Брянкин К.В., Толмачев Д.О., Брыкина Е.В., Романова Е.В.</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУЩЕСТВУЮЩЕГО СУШИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ АЗОПИГМЕНТОВ	37
11	<i>Зюзина О.В., Страшинов Н.М., Терехова Л.В., Куликова Г.М.</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЛАГОПРОНИЦАЕМОСТИ ПОЛИМЕРНОЙ ПЛЕНКИ ДЛЯ КОЛБАСНОГО КОПЧЕНОГО ПЛАВЛЕНОГО СЫРА	41
12	<i>Ступников К.И., Михалева З.А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА КАЧЕСТВО ВОДНО-СПИРТОВЫХ РАСТВОРОВ	44
13	<i>Лазарев С.И., Вязовов С.А.</i> КИНЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИОНООБМЕННОЙ МЕМБРАНЫ МК-40 ПРИ ОБРАТНООСМОТИЧЕСКОМ РАЗДЕЛЕНИИ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ БЕЛОФОРА	48
14	<i>Кисляков М.М., Харченко В.Ю., Харченко Е.Ю.</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ СЫРЬЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ФТАЛОЦИАНИНА МЕДИ	51
15	<i>Березкина Н.А., Плотникова О.А., Солопова</i>	55

	<i>О.В., Филиппова Н.А.</i> ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЕРМИКУЛЬТУРЫ КАК БИОЛОГИЧЕСКОГО АГЕНТА ПРИ УТИЛИЗАЦИИ МЕЛАССНОЙ БАРДЫ	
16	<i>Козлов Д.В., Пахомов А.Н., Колюх А.Н.</i> К РАС- ЧЕТУ КИНЕТИКИ ИСПАРЕНИЯ ОРГАНИЧЕ- СКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ	58
	

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРО- ЦЕССОВ

1	<i>Толстых С.Г., Пономарев С.В.</i> ПОИСК ОПТИ- МАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ МЕТОДА ИЗМЕ- РЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ДИФФУЗИИ ВЛА- ГИ В КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ И КОЛЛО- ИДНЫХ МАТЕРИАЛАХ	61
2	<i>Антонова Л.Л., Чуриков А.А.</i> МЕТОД НЕРАЗ- РУШАЮЩЕГО ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОГО КОН- ТРОЛЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯ- ЦИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ	65
3	<i>Харченко Е.Ю., Рапопорт Ю.М., Килимник А.Б.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ДЕРИВАТО- ГРАФИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СИНТЕЗА ФТАЛОЦИАНИНОВ МЕТАЛЛОВ	68
4	<i>Майстренко А.В., Игнатьева Н.В.</i> ПРОДУК- ЦИОННО-ФРЕЙМОВОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗНАНИЙ В ИНТЕРАКТИВНОЙ СИСТЕМЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ	72
5	<i>Жилкин В.М., Илясова С.А.</i> АВТОМАТИЗИРО- ВАННАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЙ СТЕПЕНИ ПОВРЕЖДЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАТЕ- РИАЛОВ	76
6	<i>Дворецкий Д.С., Пешкова Е.В.</i> СИНТЕЗ ГИБ- КИХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗ- ВОДСТВ: СТРАТЕГИЯ, МЕТОДЫ, РЕАЛИЗА- ЦИЯ	78
7	<i>Пчелинцев А.Н., Дьяков И.А.</i> ПРИМЕНЕНИЕ КОСИНУС-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ В ТЕХНОЛОГИИ РЕЧЕВОЙ ПОДПИСИ	82
8	<i>Образцов Д.В., Шеришорин Д.А., Макарчук М.В., Шелохвостов В.П.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗМЕНЕ- НИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СООТНОШЕНИЙ В НАНОРАЗМЕРНЫХ КВАНТОВЫХ СТРУКТУРАХ	85
9	<i>Мокрозуб В.Г., Мариковская М.П.</i> АВТОМАТИ- ЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЕМКО- СТНЫХ АППАРАТОВ	88
	
10	<i>Мозгова Г.В., Ходилин С.В.</i> ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ	92

	УСТАНОВКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАВИСИМОСТИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ И РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЖИДКИХ МАТЕРИАЛОВ ОТ СКОРОСТИ СДВИГА	
11	<i>Кочергин С.В., Телегин П.А.</i> КАЧЕСТВЕННОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЯ	96
12	<i>Туголуков Е.Н., Филатова Е.Ю.</i> АНАЛИТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ЗАДАЧ СТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ	97
13	<i>Акулинин Е.И., Ермаков А.А.</i> РЕШЕНИЕ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ МАТЕРИАЛОВ С ВЫСОКИМ ВНУТРИДИФфуЗИОННЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ В СРЕДЕ FLEXPDE	100
14	<i>Фролов С.Вл.</i> МЕТОД МОНТЕ-КАРЛО В ЗАДАЧАХ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛУЧИСТОГО ТЕПЛООБМЕНА	103
15	<i>Игнатов Д.В.</i> ЗАДАЧА АВТОМАТИЗАЦИИ ОЦЕНКИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ПРОЦЕССОРНЫХ СРЕДСТВ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ...	108
16	<i>Фролова М.С.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ТЕЛЕМЕДИЦИНСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ	115
17	<i>Муромцев Д.Ю.</i> КОНЦЕПЦИЯ ВИРТУАЛЬНОСТИ ПРИ АНАЛИЗЕ И СИНТЕЗЕ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ	118
18	<i>Блохин А.Н.</i> ПРОБЛЕМА ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ ПРИНИМАЕМЫХ РЕШЕНИЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ	121
19	<i>Белоусов О.А.</i> НЕЧЕТКИЙ РЕГУЛЯТОР ДЛЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОКАМЕРНЫМИ ПЕЧАМИ	124
20	<i>Поляков Д.Г.</i> ОБ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ОТОПИТЕЛЬНЫХ КОТЕЛЬНЫХ	126
21	<i>Балюков А.М.</i> ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗАТОР БЫСТРОМЕНЯЮЩИХСЯ СИТУАЦИЙ	130
22	<i>Тюрин И.В.</i> ОБЩАЯ ЗАДАЧА СИНТЕЗА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ МНОГОЗОННЫМИ ТЕПЛОВЫМИ ОБЪЕКТАМИ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ	133
23	<i>Беседин А.Б., Григорьев А.С., Стражник В.П.</i> ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОЙ СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ, ОПИСЫВАЕМЫХ МОДИФИЦИРОВАННЫМ УРАВНЕНИЕМ ПИРСОНА	137

24	<i>Пугачев Р.В.</i> ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ В МЕТОДАХ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗА СЧЕТ УМЕНЬШЕНИЯ ВРЕМЕНИ РЕЛАКСАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЗОНДАХ НА СТАДИИ ПОДГОТОВКИ К ПОСЛЕДУЮЩЕМУ ИЗМЕРЕНИЮ	141
25	<i>Чернышов А.В.</i> НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТРЕХСЛОЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ С БЕСКОНТАКТНЫМ ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАРУЖНЫХ СЛОЕВ	145
26	<i>Попов Р.В., Сысоев Э.В.</i> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ИССЛЕДУЕМЫХ ОБЪЕКТАХ ПРИ БЕСКОНТАКТНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА НИХ НЕПОДВИЖНОГО ТОЧЕЧНОГО ИСТОЧНИКА ТЕПЛА	149
27	<i>Ибрахим И.А.</i> СТРАТЕГИЧЕСКОЕ ПАРТНЕРСТВО В ЭНЕРГОСБЕРГАЮЩЕМ УПРАВЛЕНИИ	153
28	<i>Жуков Н.П., Майникова Н.Ф., Чех А.С., Никулин С.С.</i> МЕТОД НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ РЕЛАКСАЦИОННЫХ ПЕРЕХОДОВ В ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛАХ	155

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ

1	<i>Зубков Д.В., Турлаков Д.А., Негров В.Л.</i> ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ РАЗВАЛЬЦОВКИ ТРУБ В ТРУБНЫХ РЕШЕТКАХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ	161
2	<i>Баронин Г.С., Шапкин К.В.</i> ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЦЕССАХ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРОВ В ТВЕРДОЙ ФАЗЕ	165
3	<i>Лаврентьев А.П., Бобаков Д.А.</i> МЕТОД И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ВКЛАДЫШЕЙ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ	168
4	<i>Волков А.В., Захаржевский С.Б., Попов В.В., Родионов Ю.В.</i> ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ЖИДКОСТНОКОЛЬЦЕВОГО ВАКУУМ-НАСОСА	172

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

1	<i>Дедов В.Л., Евдокимцев О.В., Леденев В.В.</i> ШТАМПОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ СВЯЗНЫХ ГРУНТОВ НА ДЕЙСТВИЕ ПОВТОРНОГО	176
---	---	-----

	СТАЦИОНАРНОГО И НЕСТАЦИОНАРНОГО НАГРУЖЕНИЯ	
2	<i>Долженкова М.В., Гурова Е.В., Ярцев В.П.</i> АДГЕЗИОННАЯ ПРОЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ БИТУМНОЙ КРОВЛИ С КОНСТРУКЦИЯМИ ПОКРЫТИЯ	179
3	<i>Езерский В.А., Монастырев П.В.</i> ВЛИЯНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ОТКЛОНЕНИЙ НАРУЖНЫХ СТЕН НА РЕГУЛИРУЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВЕНТИЛИРУЕМЫХ ФАСАДОВ	180
4	<i>Антонов А.И., Жданов А.Е., Матвеева И.В.</i> ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОГРАЖДЕНИЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ ПО УСЛОВИЯМ ЗАЩИТЫ ОТ ШУМА	184
5	<i>Азама Нилас, Струлев В.М.</i> ВЛИЯНИЕ ДИАМЕТРА ПУСТОТ НА АРМИРОВАНИЕ МНУГОПУСТОТНЫХ ПАНЕЛЕЙ ПЕРЕКРЫТИЯ	188
6	<i>Ельчищева Т.Ф., Богданова Т.Н.</i> ПОВЫШЕНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ КАЧЕСТВ НАРУЖНЫХ СТЕН ЦЕХА ПО ПРОИЗВОДСТВУ γ -КИСЛОТЫ	190
7	<i>Прокин Д.А., Антонов В.М.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АРМИРОВАННЫХ ГРУНТОВ	195
8	<i>Умнова О.В.</i> ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ДРЕВЕСИНЫ НАГЕЛЬНОГО ГНЕЗДА	200
9	<i>Михайлов Г.М., Горбачев А.С., Тепляков Ю.А.</i> ПОСТРОЕНИЕ АКСОНОМЕТРИЧЕСКИХ ПРОЕКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СФЕРИЧЕСКОЙ КООРДИНАТНОЙ СЕТКИ	204
10	ЛЮБИМОВА Т.И. ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА БЕТОНА С ДОБАВКОЙ АЦФ-ОЛИГОМЕРОМ	206
11	ВОРОНКОВ А.Ю., МАКАРОВ А.М., ПОТЫЛИЦИН П.Ю. Особенности использования метода прослеживания звуковых лучей при оценке шума в производственных помещениях	208