

Министерство образования и науки Российской Федерации
Тамбовский государственный технический университет
Ассоциация "Объединенный университет имени В.И. Вернадского"
Воронежская государственная технологическая академия
Донской государственный технический университет
Казанский государственный технологический университет
Московский государственный университет инженерной экологии
Санкт-Петербургский государственный технологический институт
Саратовский государственный технический университет
Ярославский государственный технический университет

XXI Международная научная конференция

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
В ТЕХНИКЕ И ТЕХНОЛОГИЯХ
(ММТТ-21)**

Сборник трудов

Том 11

ОСЕННЯЯ ШКОЛА МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ



Тамбов
Издательство ТГТУ
2008

УДК 62.001.57
ББК Z966я43
МЗ4

Редакционная коллегия:

доктор технических наук, профессор В.С. Балакирев (общая редакция),
доктор технических наук, профессор С.И. Дворецкий,
доктор технических наук, профессор Р.И. Макаров,
кандидат технических наук, доцент А.В. Майстренко

МЗ4 Математические методы в технике и технологиях (ММТТ-21) :
сб. тр. XXI Междунар. науч. конф. В 11 т. Т. 11 : Осенняя
школа молодых ученых / под общ. ред. д-ра техн. наук,
проф. В.С. Балакирева ; Тамб. гос. техн. ун-т. – Тамбов :
Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 268 с. – 160 экз. –
ISBN 978-5-8265-0774-2.

В сборник включены труды участников Осенней школы молодых ученых, состоявшейся 16 – 18 октября 2008 г. в Тамбовском государственном техническом университете в рамках XXI Международной научной конференции "Математические методы в технике и технологиях". Представленные материалы характеризуют современные подходы к математическому моделированию и оптимизации технологических и социально-экономических процессов. Рассмотрены задачи автоматизации и контроля процессов, синтеза программно-технических средств управления и прогноза. Приведены рефераты магистерских диссертаций и дипломных работ в области математического моделирования и автоматизации технологических процессов.

Сборник предназначен для научных и педагогических работников, занимающихся применением математических методов и компьютерных технологий для анализа и синтеза автоматизированных технологических и организационно-технических систем.

УДК 62.001.57

ББК Z966я43

Доклады рецензированы и отредактированы Программным комитетом конференции ММТТ-21.

ISBN 978-5-8265-0774-2

© ГОУ ВПО «Тамбовский государственный
технический университет» (ТГТУ), 2008

Научное издание

XXI Международная научная конференция

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
В ТЕХНИКЕ И ТЕХНОЛОГИЯХ
(ММТТ-21)**

Сборник трудов

Том 11

ОСЕННЯЯ ШКОЛА МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

Научное редактирование: В.С. Балакирев, С.И. Дворецкий,
А.В. Майстренко

Техническое редактирование: Н.В. Майстренко

Компьютерная верстка: А.В. Майстренко, Н.В. Майстренко

Редактор Т.М. Глинкина

Инженер по компьютерному макетированию Т.А. Сынова

Подписано в печать 16.12.2008.

Формат 60 × 84 / 16. 15,58 усл. печ. л.

Тираж 160 экз. Заказ № 571

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ПОТОКА ЖИДКОСТИ В КАНАЛАХ РОТОРНО-ИМПУЛЬСНОГО АППАРАТА

С.Н. Четырин, А.В. Киселев

Тамбовский государственный технический университет, mahp@tambov.ru

Роторно-импульсные аппараты (РИА) используются для интенсификации гидромеханических и массообменных процессов.

Математическая модель, достаточно полно отражающая основные закономерности нестационарных гидромеханических процессов в канале статора аппарата, базируется на уравнении Бернулли, записанном в нестационарной форме [1]:

$$\beta l \frac{dV}{dt} + \lambda(t) \frac{lV^2}{2d_s} + \xi(t) \frac{V^2}{2} + \frac{B(t)vV}{2d_s} = \frac{\Delta P}{\rho}, \quad (1)$$

где β – коэффициент количества движения потока жидкости через прерыватель; $l = l_c + \delta + l_p$ – длина прерывателя, м; δ – величина зазора между ротором и статором, м; $V(t)$ – средняя по сечению канала статора скорость потока жидкости, м/с; $\lambda(t)$ – коэффициент гидравлического сопротивления трения; d_s – эквивалентный диаметр канала статора, м; $l_{c,p}$ – длина канала ротора, статора, м; $\xi(t)$ – суммарный коэффициент местного гидравлического сопротивления; $B(t)$ – коэффициент гидравлического сопротивления, учитывающий потери напора, линейно зависящие от скорости потока; v – коэффициент кинематической вязкости жидкости, м²/с²; $\Delta P = P_p - P_c$ – общий перепад давления между полостью ротора и камерой статора, Па; P_p – давление в полости ротора, Па; P_c – давление в камере статора, Па; ρ – плотность жидкости, кг/м³.

Нестационарное уравнение Бернулли позволяет определить скорость $V(t)$, ускорение dV/dt , расход $Q(t)$, амплитуду импульсов давления $P(t)$ и по ним определить значения кинематических и динамических параметров потока жидкости, необходимые для расчета удельной энергии воздействий.

Проверка адекватности расчетных и экспериментальных данных производилась нами на установке, состоящей из РИА-150 и центробежного насоса ХМ50-32-200К, в качестве жидкости использовались вода и подсолнечное масло объемом $V = 45$ л.

Установка работает следующим образом. Жидкость центробежным насосом из емкости нагнетается в полость ротора, проходит каналы ротора, зазор и каналы статора, попадает в рабочую камеру, далее через выходные патрубки возвращается обратно в емкость. При работе установки контролировались следующие параметры: температура на выходе из аппарата, давление на входном и выходном патрубках аппарата, расход продукта и потребляемая мощность. Давление на входе в аппарат создавалось равным 0,2; 0,3; 0,4, МПа.

Расчет параметров по уравнению (1) проводился с помощью математического пакета MathCAD v.13.0 при следующих данных аппарата: $a_p = 3$ мм – ширина канала ротора, $a_c = 3$ мм – ширина канала статора, $H = 16$ мм – высота канала, $b_p = 23$ мм и $b_c = 23$ мм – расстояние между двумя ближайшими стенками соседних каналов ротора и статора, $R_p = 75$ мм – радиус ротора, $\delta = 0,1$ мм – зазор между ротором и статором, $l_p = 10$ мм – длина ротора, $l_c = 17$ мм – длина статора, $z = 18$ – число каналов в роторе и статоре.

Одним из важных параметров является расход жидкости через РИА. Расходы Q_{cp1} и Q_{cp2} за одно совмещение каналов ротора и статора и при транзитивных течениях через один канал определяются по формулам, м³/ч:

$$Q_{cp1} = \frac{1}{\tau} \left(\int_0^{\tau} Q(t) dt \right); \quad Q_{cp2} = \frac{1}{T - \tau} \left(\int_{\tau}^T Q(t) dt \right).$$

Общий расход через все каналы статора $Q_{полн}$ равен, м³/ч: $Q_{полн} = Q_{cp} z^2 n \cdot 60$, где $Q_{cp} = Q_{cp1} + Q_{cp2}$; n – число оборотов ротора в минуту.

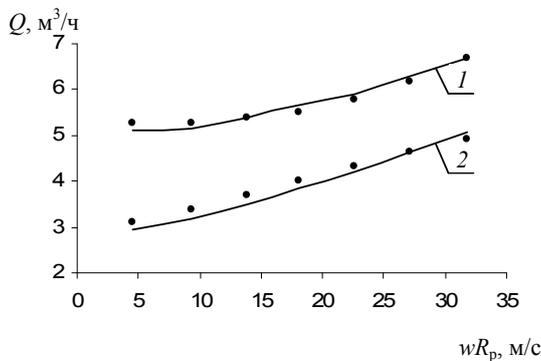


Рис. 1. Зависимость расхода жидкости от линейной скорости ротора:

1 – вода ($\mu = 0,0018$ Па · с, $\rho = 1000$ кг/м³); 2 – подсолнечное масло ($\mu = 0,059$ Па · с, $\rho = 930$ кг/м³); ••• – экспериментальные данные, — – расчет по формуле (2)

На основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что необходимо ввести поправочную функцию для соответствия расчетных и экспериментальных данных:

$$Q = Q_{полн} + f(wR_p) = Q_{cp} z^2 n \cdot 60 + f(wR_p), \quad (2)$$

где

$$f(wR_p) = awR_p^3 - bwR_p^2 + cwR_p + 3d;$$

$$a_{1,2} = 3,5 \cdot 10^{-4}; \quad b_{1,2} = 0,02; \quad c_{1,2} = 0,25; \quad d_1 = 1 \text{ (вода)}; \quad d_2 = 0,1 \text{ (масло)}.$$

Расчетный и экспериментальный график зависимости расхода жидкости от wR_p при давлении на входе в аппарат 0,2; 0,3; 0,4, МПа показан на рис. 1.

1. Промтов, М.А. Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика / М.А. Промтов. – М. : Машиностроение, 2001.

МАКРОКИНЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УГЛЕРОДОБРАЗОВАНИЯ

А.В. Локтюшев

Ярославский государственный технический университет, loktyushevav@ystu.ru

К макрокинетическим факторам, существенно влияющим на протекание процесса получения технического углерода, относятся факторы, связанные с испарением сырья в жидкой фазе и продольным перемешиванием потока. В классической кинетической модели мономолекулярного преобразования сырья в монодисперсный продукт влияние этих факторов на возможные варианты протекания процесса не изучено [1].

Ниже такое исследование проводится с использованием совокупности уравнений, системно связывающих процессы испарения и образования технического углерода.

Введем уровень описания модели с параметризацией, которая позволяет далее раскрывать значения параметров через внешние переменные (параметры технологического режима и конструкции реактора). Математическая модель включает в себя:

а) уравнение испарения жидкой фазы: $dC_{ж}/dt = -(S_k(T - T_k)K_{исп})/\lambda$, где $C_{ж}$ – концентрация сырья в жидкой фазе, кг/м³; $K_{исп}$ – коэффициент теплоотдачи, характеризующий гидродинамику распыла, $K_{исп} = f(v, Re)$; S_k – поверхность капель в 1 м³, характеризующая качество распыла, м²/м³; T и T_k – температура в реакторе и температура испарения сырья; λ – теплота испарения сырья;

б) уравнения изменения концентрации сырья в газовой фазе: $dn_c/dt = S_k(T - T_k)K_{исп}/\lambda - K_{сч}S_k n_c n_c$, где n_c – концентрация сырья в газовой фазе; n_c – концентрация частиц технического углерода; $K_{сч}$ – коэффициент, характеризующий процесс разложения сырья на поверхности технического углерода;

в) известные уравнения образования зародышей и частиц: $dN_3/dt = K_{ин}n_c + K_p N_3 n_c - K_o n_c$, $dn_c/dt = n_c + K_ч N_3$, где $K_{ин}$, K_p , K_o – константы инициирования, роста и обрыва цепи; $K_ч$ – константа скорости образования частиц.

Для составления уравнения приняты основные предположения, известные в литературе для модели образования монодисперсного технического углерода из мономолекулярного сырья.

Исследования возможных химико-технологических эффектов, проявляющихся при изменении параметров, связанных с макрокинетикой, базируются на варьировании значения константы скорости испарения сырья. При больших значениях константы наблюдается (рис. 1) развитие процессов по классической схеме, описанной в литературе: почти мгновенный переход жидкой фазы в газообразную и последующее медленное падение концентрации сырья в газовой фазе (графики в верхней части рис. 1); лавинообразное возрастание концентрации зародышей с последующим быстрым их падением (колоколообразный график в нижней части рис. 1); близкое к скачкообразному возрастанию количество частиц до концентрации, близкой к постоянной вне зависимости от значительного количества еще неразложившегося сырья.

Практическое постоянство концентрации частиц n_c при наличии сырья в газовой фазе объясняется полным расходом зародышей за счет их поглощения поверхностью образовавшихся частиц. Именно зародыши являются источником образования новых частиц. Падение концентрации сырья происходит с нарастающей скоростью за счет увеличения поверхности частиц S_k (даже при условии постоянства количества частиц). Нарастание поверхности объясняется увеличением массы частичек за счет их взаимодействия с молекулами сырья в газовой фазе.

Картина процесса качественно меняется при уменьшении скорости испарения (уменьшение константы $K_{исп}$) за счет увеличения размера капель распыливания сырья (более грубого распыла) или за счет уменьшения температуры газового потока ($K_{исп}$) (рис. 2).

Кривая изменения концентрации сырья в газовой фазе имеет ярко выраженный участок относительно медленного нарастания, ее максимум не достигает начального значения концентрации жидкого сырья за счет того, что оно успевает израсходоваться на рост частиц; подавляется рост концентрации зародышей за счет их осаждения на поверхности частичек при относительно малой интенсивности "подпитки" сырьем из газовой фазы. Имеется тенденция к возникновению колебательности (многоэкстремальности) кривой изменения концентрации зародышей.

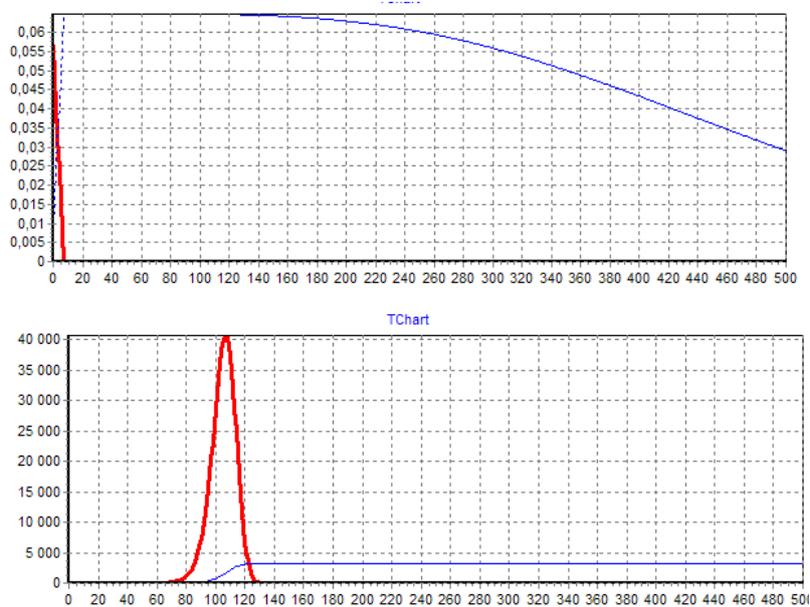


Рис. 1

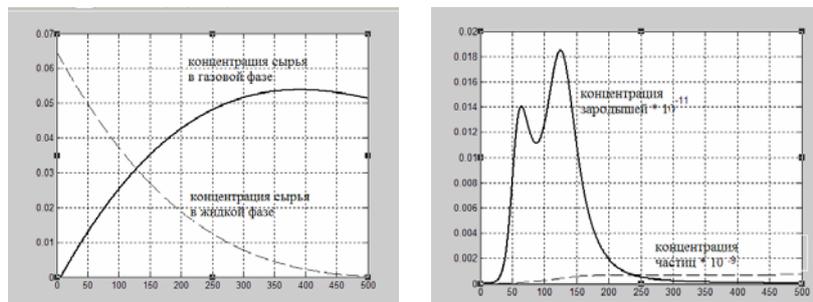


Рис. 2

В рассмотренном примере она имеет два экстремума: первый объясняется развитием цепного процесса и его приостановлением за счет нехватки молекул сырья в газовой фазе, второй экстремум можно объяснить за счет быстрого пополнения молекул газовой фазы до их критического количества, приводящего ко второму развитию цепного процесса. Наконец, далее концентрация зародышей N_z падает практически до нуля за счет малой скорости пополнения газовой фазы молекул сырья и интенсивности возрастания взаимодействия зародышей с растущей поверхностью.

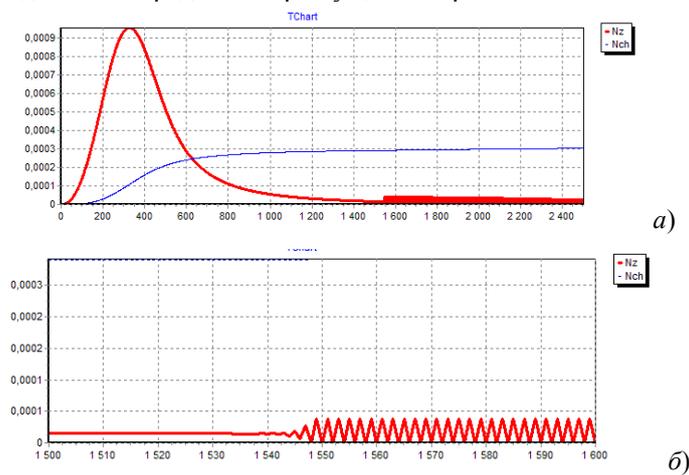


Рис. 3

Возможны режимы, когда колебательный характер изменения концентрации зародышей будет выражен более явно (рис. 3, а). После ярко выраженного первого экстремума нарастания числа зародышей следует участок многоэкстремальности функции $N_z(t)$, связанный с пополнением концентрации сырья в газовой фазе, чередованием зарождения и обрыва цепного процесса за счет поглощения зародышей углеродной поверхностью (рис. 3, б).

Наконец, еще большее уменьшение скорости испарения сырья приводит к псевдостационарности кинетической кривой для концентрации зародышей, т.е. практическому подавлению цепного процесса. "Критическая" масса зародышей, необходимая для развития цепного процесса, не успевает накапливаться. Это объясняется превалированием скорости поглощения зародышей над скоростью их образования при малой интенсивности источника такого образования (концентрации молекул сырья). Концентрация сырья в газовой фазе существенно уменьшается по причине ее медленного пополнения молекулами, покидающими жидкую фазу, и весь процесс существенно затягивается по каждой из переменных процесса.

Таким образом, управление качеством распыливания и скоростью испарения сырья оказывает решающее влияние на характер протекания процесса и, в конечном итоге, на показатели качества получаемого продукта.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ ЗЕРНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ С УПРАВЛЯЕМЫМИ СЕГРЕГИРОВАННЫМИ ПОТОКАМИ

Ал-др А. Уколов, О.О. Иванов, Ю.В. Шарый, В.Н. Долгуниин

Тамбовский государственный технический университет, Fibonachy@yandex.ru

Для интенсификации процессов переработки зернистых материалов с высокой склонностью к сегрегации и совершенствования оборудования предложен принцип управления сегрегированными потоками [1], для практической реализации которого необходима разработка соответствующего математического описания.

Нами разрабатывается математическая модель для одного из вариантов реализации названного принципа на базе барабанного теплообменного аппарата традиционной конструкции. В дополнение к традиционной конструкции аппарат содержит устройство для многоступенчатого управления сегрегированными потоками путем изменения их величины и направления. В результате управления названными потоками обеспечивается возможность организации процессов разделения и смешения неоднородных частиц и совмещенных процессов без нарушения основных функций теплообменного аппарата.

Модель основывается на адаптации основного уравнения массопередачи для условий сегрегированной зернистой среды.

Динамика распределения целевого компонента вдоль длины барабана z описана следующим уравнением:

$$\partial c / \partial t = D_{\text{пр}} \partial^2 c / \partial z^2 + I_v^+ + I_v^-, \quad 0 \leq z \leq L, \quad (1)$$

где $D_{\text{пр}}$ – коэффициент продольного перемешивания (расчетный), $\text{м}^2/\text{с}$; $I_v^-(z) = \omega n F c(\tau, z) / (2\pi S(z))$ – функция, описывающая исчерпывающее воздействие подъемных лопастей; $I_v^+(z)$ – функция, мощности целевого компонента, обусловленная сегрегированными потоками в поднимающейся и опускающейся частях завесы; t – время, $с$; L – длина барабана, м . Граничные условия имеют вид: $\left. \frac{\partial c}{\partial z} \right|_{z=0, L} = 0$, $c(z, 0) = c_0$ (процесс сепарации), $c(z, 0) = 1, 0 < z < 0,42L$; $c(z, 0) = 1; 0,42L < z < L$ (процесс смешения).

Функция мощности целевого компонента, обусловленная сегрегированными потоками, может быть записана следующим образом:

$$I_v^+ = \frac{\gamma l}{2} \sum_i (g_i^1(z) \bar{c}_1^i(t) + g_i^2(z) \bar{c}_2^i(t)),$$

где g_i – функция плотности распределения потока частиц вдоль барабана после i -й ячейки.

В связи с осуществлением процесса смешения посредством уравновешенных продольных импульсов вдоль оси барабана для всех сегрегированных потоков модель смешения может быть реализована на базе математического описания процесса сепарирования, когда поперечными сегрегированными флюктуациями можно пренебречь.

Разработанная модель процессов с управляемыми сегрегированными потоками реализована на ЭВМ. С этой целью уравнение динамики процесса (1) с соответствующими граничными условиями приведено к алгебраическим уравнениям с использованием разностной схемы Кранка – Николсона, являющейся схемой второго порядка аппроксимации. Шаг переменной z выбран при этом кратным длине ячейки и рабочей длине барабана.

При использовании общепринятого обозначения произвольной функции f в точке (t_j, z_i) в виде f_i записаны следующие разностные аналоги для каждого члена уравнения (1):

$$\frac{\partial c}{\partial t} \cong \frac{c_i^{j+1} - c_i^j}{\Delta t}; \quad \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \cong c_{i-1}^{j+1/2} - 2c_i^{j+1/2} + c_{i+1}^{j+1/2}; \quad I_v^- = \gamma c_i^{j+1/2};$$

$$I_v^+ = \frac{l}{2} \gamma \sum_{s=1}^k [g_s^1(z_i) \left(\frac{f_1(c_s^{j-k}) + f_1(c_{s+1}^{j-k})}{2} \right) + g_s^2(z_i) \left(\frac{f_2(c_s^{j-k}) + f_2(c_{s+1}^{j-k})}{2} \right)].$$

Граничные условия в разностной форме записаны в виде: $C_{-1}^{j+1/2} = C_1^{j+1/2}$, $C_{n-1}^{j+1/2} = C_{n+1}^{j+1/2}$.

После подстановки разностных аналогов в уравнение (1) с учетом разностных граничных условий уравнение динамики распределения целевого компонента в аппарате с управляемыми сегрегированными потоками сводится к системе $n + 1$ линейных уравнений с $n + 1$ неизвестными:

$$-a_i c_{i-1}^{j+1} + P_i c_i^{j+1} - q_i c_{i+1}^{j+1} = f_i, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n,$$

где $a_0 = 0, q_n = 0$.

Решение последней системы найдено с использованием метода факторизации [2].

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОНФЕТНЫХ МАСС

Д.В. Леонов, Е.И. Муратова, С.Г. Толстых

Тамбовский государственный технический университет, topt@topt.tstu.ru

Современные требования, предъявляемые к кондитерским изделиям, заключаются в необходимости обеспечения стабильности их качественных характеристик. В данное время оценка качества кондитерских изделий осуществляется экспертным методом путем дегустации по пятибалльной шкале с использованием коэффициентов весомости, учитывающих значимость каждого показателя, и выходного контроля готовой продукции. Этот метод не позволяет технологам прогнозировать структурно-механические свойства готовой продукции, что в условиях современного рынка существенно осложняет проектирование новых видов продукции, не позволяя своевременно реагировать на изменения в предпочтениях потребителей. Одним из наиболее перспективных направлений решения данной проблемы является переход от экспертной системы оценки показателей качества кондитерских изделий к комплексной оценке, включающей инструментальные методы определения физико-химических показателей полуфабрикатов на различных стадиях производства.

Полуфабрикатами в производстве массовых сортов конфет являются помадные, желейные, сбивные, пралиновые кондитерские массы. Данные о реологических свойствах кондитерских масс на различных технологических стадиях производства могут быть использованы для управления качеством готовой продукции. С этой целью нами изучено влияние: соотношения пектинов и буферных солей на реологические свойства желейных масс; концентрации и дисперсности фитодобавок на реологические свойства помадных масс. Оценка реологических показателей особенно важна для желейных масс, так как в их рецептуру входят студнеобразователи, небольшое изменение концентрации или вида которых приводит к значительному изменению структурно-механических и органолептических свойств желейных масс и студней [1].

Исследования проводились после стадии темперирования кондитерских масс на ротационном вискозиметре НААКЕ VT7R-plus с устройством термостатирования в режиме постоянной скорости деформации [2]. Снятие и обработка полученных экспериментальных данных осуществлялись с помощью персонального компьютера посредством программного обеспечения RheoWin 3.

Установлено, что в зависимости от вида пектина несколько меняется вид зависимостей вязкости от скорости деформации, смещается точка, после которой происходит разрушение структуры желейной массы, и начинается резкое снижение вязкости (рис. 1). Это позволяет сделать вывод о том, что структура желейных масс на пектинах марки Classic разрушается быстрее, чем на Унипектине.

По результатам экспериментальных исследований удалось количественно описать зависимости важнейших реологических характеристик кондитерских масс (вязкости и напряжения сдвига) от соотношения исследуемых ингредиентов, скоростей деформации и температуры. Так, зависимость вязкости желейной массы η , Па·с, от скорости деформации γ , с⁻¹, и концентрации C , %, пектина Classic AS 507 описывается формулой:

$$\eta(\gamma, C) = d(C)e^{-0,001a(C)\gamma^2} \left[1 + 10^{-6}b(C)(\gamma - c(C))^3 \right],$$

где a , b , c , d – коэффициенты.

Зависимости, полученные в ходе исследования помадных масс, указывают, что вязкость помады значительно возрастает по мере увеличения концентрации и уменьшения размеров частиц вносимых фитодобавок. Это объясняется тем, что порошки крапивы, горчицы и мяты имеют сильно развитую удельную поверхность, обуславливающую адсорбцию влаги и набухание частиц, что приводит к увеличению сопротивления частиц перемещению друг относительно друга.

Зависимость, описывающая влияние дисперсности крапивного порошка и скорости деформации на вязкость помадных масс, имеет следующий вид:

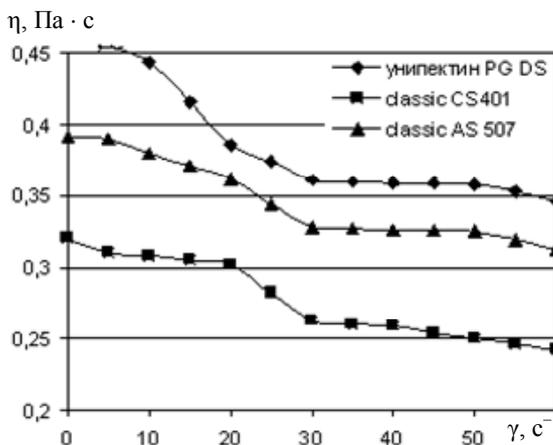


Рис. 1. Зависимости вязкости желейной массы от скорости деформации для различных видов пектина

$$\eta(\gamma, D) = d(D)e^{-0,001a(D)\gamma^2} \left[1 + 10^{-6}b(D)(\gamma - c(D))^3 \right],$$

где D – дисперсность, мм; a , b , c , d – коэффициенты уравнения.

Полученные зависимости позволяют прогнозировать реологические характеристики кондитерских масс для различных соотношений рецептурных ингредиентов с учетом их физико-химических свойств и технологических параметров отдельных стадий производственного процесса и обеспечить стабильность качественных характеристик готового продукта.

1. Хрундин, Д.В. Факторы, влияющие на прочность гидроколлоидных пектиновых структур / Д.В. Хрундин, Н.К. Романова, О.А. Решетник // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2008. – № 3.

2. Шрамм, Г. Основы практической реологии и реометрии / Г. Шрамм ; пер. с англ. И.А. Лавыгина. – М. : КолосС, 2003.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ РАБОЧЕЙ ОБЛАСТИ АППАРАТА СИНТЕЗА МОНОМЕТИЛАНИЛИНА

Е.Ю. Филатова

Тамбовский государственный технический университет, fil_el@mail.ru

При проектировании нового контактного аппарата синтеза монометиланилина (ММА) возникла необходимость определения основных геометрических характеристик, обеспечивающих заданную производительность при выполнении условий прочности конструкции вследствие неравномерности температурных нагрузок при регенерации.

С этой целью нами разработана математическая модель температурного поля рабочей области контактного аппарата синтеза ММА, которая включает в себя взаимосвязанные задачи теплопроводности, описывающие распределение температур по длине и поперечному сечению насыпного слоя катализатора, а также изменение температуры стенки трубки трубного пучка контактного аппарата.

$$a \left(\frac{\partial t(x, r)}{\partial x} + \frac{\partial^2 t(x, r)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t(x, r)}{\partial r} \right) + Kt(x, r) = S(x), \quad 0 \leq x \leq l, \quad 0 \leq r \leq R_0; \quad (1)$$

$$\frac{\partial t(x, 0)}{\partial r} = 0, \quad \lambda \frac{\partial t(x, R_0)}{\partial r} + \alpha_1(t(x, R_0) - t_T(x, R_0)) = 0, \quad t(0, r) = t_0, \quad (2)$$

$$K = a \frac{\alpha_1 \Pi}{Gc}; \quad S(x) = a \frac{\alpha_1 \Pi t_T(x, R_0)}{Gc} + \frac{q_v(x)}{c\rho}; \quad a = \frac{\lambda}{c\rho}; \quad (3)$$

$$\frac{\partial^2 t_T(x, r)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t_T(x, r)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t_T(x, r)}{\partial r} = 0, \quad 0 \leq x \leq l, \quad R_0 \leq r \leq R_1; \quad (4)$$

$$\frac{\partial t_T(0, r)}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial t_T(l, r)}{\partial x} = 0, \quad (5)$$

$$\lambda_T \frac{\partial t_T(x, r)}{\partial r} - \alpha_1(t_T(x, R_0) - t(x, R_0)) = 0; \quad \lambda_T \frac{\partial t_T(x, R_1)}{\partial r} + \alpha_2(t_T(x, R_1) - t_c) = 0. \quad (6)$$

Здесь t, t_T – температуры потока и стенки трубки, °С; x – продольная координата, м; r – радиальная координата, м; R_0, R_1 – внутренний и наружный радиусы стенки трубки, м; l – длина трубки, м; λ_T – теплопроводность материала стенки трубки, Вт/(м · К); a, c, ρ – температуропроводность, м²/с, теплоемкость, Дж/(кг · К), плотность потока, кг/м³, соответственно; G – массовый расход газа, кг/с; Π – оmyаемый периметр стенки трубки, м; α_1, α_2 – коэффициент теплоотдачи к внутренней и наружной поверхности трубки, Вт/(м² · К); $q_v(x)$ – удельный тепловой эффект химических реакций, Вт/м²; t_c – температура среды в межтрубном пространстве, °С; t_0 – начальная температура газа, °С.

При формулировке математической модели приняты следующие допущения: в процессе регенерации катализатора скорость взаимодействия отложенных на поверхностях гранул смол и паровоздушного потока лимитируется количеством воздуха; продольные тепловые потоки внутри стенок труб отсутствуют; температуры гранул катализатора и оmyающего их потока равны.

Предложенная математическая модель позволяет оценить перепад температур по радиусу трубки и изменение температуры смеси по длине реакционной зоны контактного аппарата.

На основе математической модели (1) – (6) проведены расчеты, сравнительный анализ результатов которых показал, что при внутреннем диаметре трубок 0,0506, 0,0322 и 0,021 м максимальный перепад температур по радиусу трубки составляет 27, 19, 12, 55 и 3,96 °С.

Изменения температуры паргазовой смеси по длине реакционной зоны контактного аппарата в процессе синтеза ММА и температуры паровоздушной смеси при регенерации катализатора представлены на рис. 1.

Адекватность математической модели температурного поля реакционной зоны контактного аппарата проверялась путем сравнения расчетных значений с данными заводского журнала наблюдений технологических параметров (ОАО "Пигмент", г. Тамбов). Действующий в

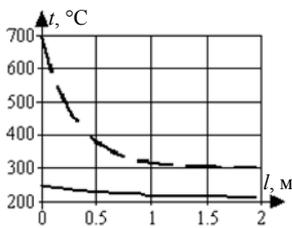


Рис. 1. Температурное поле в трубном пространстве контактного аппарата по длине l реакционной зоны: — — синтез; - - - - регенерация

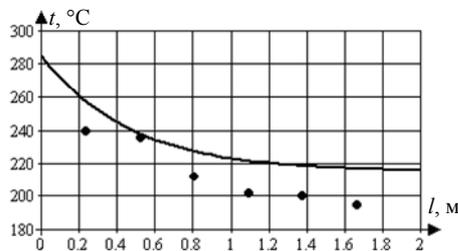


Рис. 2. Сравнение измеренной и расчетной температуры t по длине l реакционной зоны контактного аппарата: ••• — измерение; — — расчет

цехе № 6 ОАО "Пигмент" контактный аппарат снабжен шестью датчиками температуры, установленными в гильзе, расположенной внутри одной из трубок трубного пучка.

На рис. 2 показаны расчетные и измеренные значения температурного поля, при этом установлено, что средняя относительная ошибка равна 7,45 %.

МОДЕЛИРОВАНИЕ АУТОСТАБИЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ В БИОРЕАКТОРЕ С ДВУМЯ БИОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Е.Н. Альбицкая, А.А. Арзамасцев

Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина

Процесс аутостабилизации температуры в популяции микроорганизмов в биореакторе с одним биологическим объектом, работающем в периодических и непрерывных условиях, изучался в [1, 2].

Целью данной работы являлось изучение процесса аутостабилизации температуры в биореакторе с двумя биологическими объектами.

Нами рассматриваются микроорганизмы, различающиеся такими характеристиками, как скорость роста, энергия активации, их зависимость от температуры и т.д. При этом обе популяции непосредственно не взаимодействуют друг с другом, а лишь конкурируют за общий субстрат. Основные допущения, которые использованы для построения математической модели, аналогичны модели, используемой в [1, 2]. Математическая модель такого объекта имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} dT/dt &= \mu_{r1}X_1H_1/cp + \mu_{r2}X_2H_2/cp - kp(T - T_{ext})/cpV + Q_T; \\ dX_1/dt &= \mu_{r1}X_1 + Q_{X_1}; \quad dX_2/dt = \mu_{r2}X_2 + Q_{X_2}; \\ dS/dt &= -\mu_{r1}X_1/Y_1 - \mu_{r2}X_2/Y_2 + Q_S; \\ dC/dt &= K_L a(C^* - C) - q_{1O_2} - q_{2O_2} + Q_C \end{aligned}$$

с начальными условиями:

$$\begin{aligned} T(0) &= T_0, \quad X_1(0) = X_{10}, \quad X_2(0) = X_{20}, \quad S(0) = S_0, \quad C(0) = C_0; \\ \mu_{ri} &= \mu_{mi}(T)SC/(S + K_{Si})(C + K_{Ci}), \quad i = 1, 2; \quad q_{iO_2} = X_i(\mu_{ri}\beta_i + \alpha_i), \quad i = 1, 2; \\ \mu_{mi}(T) &= a_{1i} \exp(-E_{1i}/RT) - a_{2i} \exp(-E_{2i}/RT), \quad i = 1, 2; \\ C^*(T) &= 14,438 - 0,34755T + 4,6557 \cdot 10^{-3}T^2 - 2,62965 \cdot 10^{-5}T^3; \\ Q_T &= F(T_{in} - T)/V = D(T_{in} - T), \quad Q_{Xj} = D(X_{jin} - X_j), \quad j = 1, 2; \\ Q_S &= D(S_{in} - S), \quad Q_C = D(C_{in} - C). \end{aligned}$$

Биологические объекты для приведенной модели были подобраны таким образом, чтобы зависимости скорости роста от температуры для них имели максимум при различных значениях температуры 28 и 61 °С. Данные взяты из [2]. Одна зависимость соответствует бактериям *Pseudomonas cells* [4], другая – *Bacillus sp.* [4]. В модели использованы следующие начальные условия: $C_0 = 7,22$ мг/л и концентрации биомасс и кислорода во входном потоке биореактора: $X_{1in} = 0$ г/л, $X_{2in} = 0$ г/л, $C_{in} = 0$ мг/л.

Математическая модель реализована в виде программы на языке Borland Delphi.

На рис. 1 показаны динамические характеристики биореактора с двумя биообъектами при различных значениях S_0 .

На рис. 1, а изображен график изменения температуры. Как только температура достигает уровня 29 °С, что происходит примерно через 1 ч, видно, что первый биообъект практически "выключается" (рис. 1, б), в это же время наблюдается экспоненциальный рост второй популяции, что видно на рис. 1, в. Как только температура достигает 29 °С, рост первого биообъекта полностью прекращается, о чем свидетельствует горизонтальная линия на рис. 1, б, начиная примерно с 1,5 ч. Рост второго биообъекта наблюдается до тех пор, пока температура в биореакторе не достигнет 65 °С, этот момент соответствует 9 ч от начала эксперимента. После этого наблюдается линейный рост второго биообъекта, что соответствует режиму аутостабилизации. Момент времени 16 ч соответствует полному исчерпанию субстрата. В этот момент наблюдается снижение темпе-

ратуры в биореакторе от 69 °С до внешней температуры, которая равна 33 °С.

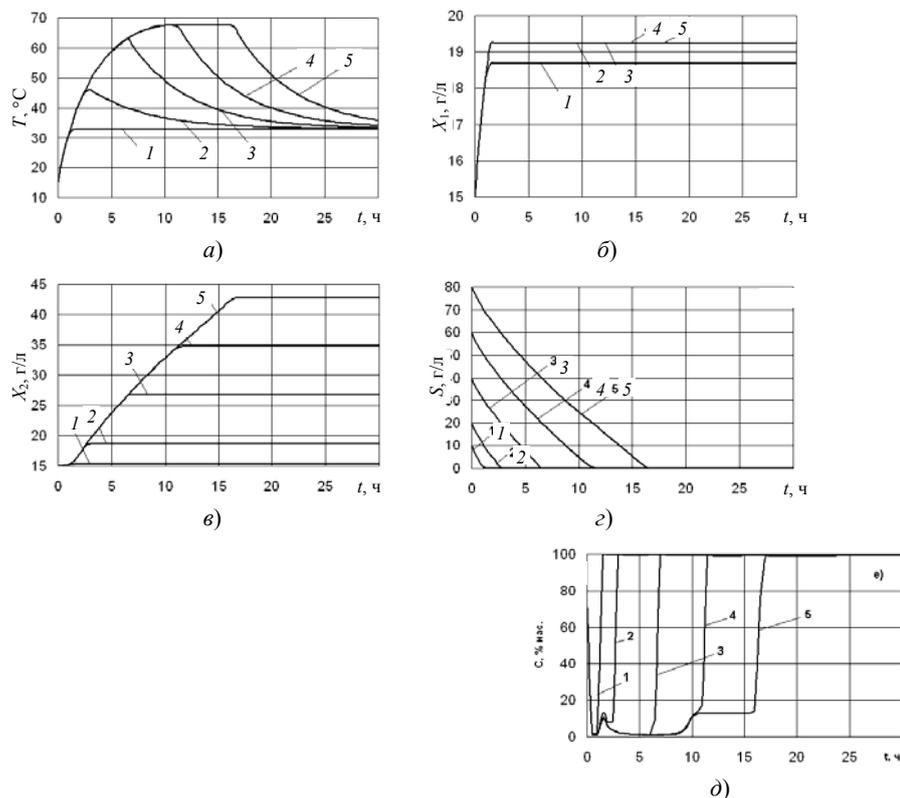


Рис. 1. Динамические характеристики биореактора с двумя биообъектами в периодическом режиме ($D = 0$) при $T_0 = 15$ °С, $X_{10} = 15$ г/л, $X_{20} = 15$ г/л, $T_{ext} = 33$ °С. Номера линий соответствуют различным значениям S_0 :

1 – 10; 2 – 20; 3 – 40; 4 – 60; 5 – 80 г/л; а – температура;
 б и в – концентрации биомассы первого и второго биообъекта;
 з и д – концентрации субстрата и растворенного кислорода

Свойства первого и второго биообъектов не восстанавливаются, поскольку субстрат уже исчерпан. На графике, показывающем концентрацию кислорода от времени (рис. 1, з), видно, что в начальный момент времени, когда первая и вторая культура растут наиболее быстро, концентрация кислорода опускается до нулевого уровня. В тот момент, когда рост первой культуры останавливается вследствие повышенной температуры, наблюдается всплеск концентрации кислорода. Однако после этого, в момент времени 2,5 ч, когда концентрация биомассы первого объекта становится достаточно большой, концентрация кислорода снова падает. Это означает, что культура развивается очень интенсивно. Момент времени 9 ч соответствует выходу биореактора на режим аутостабилизации температуры. Концентрация кислорода до этого момента и после полного исчерпания субстрата стабилизируется на постоянном уровне – 15 % от насыщения. После того как субстрат полностью исчерпан, концентрация кислорода достигает насыщения.

1. Арзамасцев, А.А. Компьютерное моделирование саморегулирования температуры в популяциях микроорганизмов. Сообщение 1: периодический режим / А.А. Арзамасцев // Вестник ТГУ. – 1996. – Т. 1. – Вып. 1. – С. 71 – 77.
2. Арзамасцев, А.А. Математическое моделирование саморегулирования температуры в популяциях микроорганизмов: непрерывный процесс / А.А. Арзамасцев, Е.Н. Альбицкая // Вестник ТГУ. – 2007. – Т. 12. – Вып. 6. – С. 709 – 714.
3. Перт, С.Дж. Основы культивирования микроорганизмов и клеток / С.Дж. Перт. – М.: Мир, 1978.
4. Madsen, N.F. Adv. Microbiol. Eng. / N.F. Madsen, J.F. Andrews. – Part 1. – N.Y.-L.: John Wiley & Sons, Inc., 1973. – P. 77.

РАЗРАБОТКА ИНТЕНСИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ БИОСИНТЕЗА БАКТЕРИОРОДОПСИНА

С.А. Морозов, В.А. Жаворонков

Московский государственный университет инженерной экологии

Галобактерии, получившие название галофильных (т.е. "любящих соль"), обладают уникальной способностью использовать энергию солнечного света за счет содержащегося в их мембранах особого пигментсодержащего белка бактериородопсина (БР). В условиях недостатка кислорода в пурпурных мембранах галобактерий индуцируется синтез БР, позволяющего осуществлять на свету процесс дыхания. БР является одним из наиболее перспективных биотехнологических наноматериалов поскольку может применяться в водородной энергетике, оптических технологиях и медицине.

В данной работе предлагается новая технология культивирования галобактерий с использованием универсальных полостных фотобиореакторов с вихревым потоком [1]. Основное преимущество этого фотобиореактора по сравнению с другими аппаратами связано с тем, что в нем совмещены зоны светоподвода и массообмена, возможность в большом диапазоне регулировать изменения режима перемешивания растущей культуры и расхода газовой фазы. За счет совмещения стрессового (относительный недостаток кислорода) и благоприятного фактора (освещение), оказываемого на галобактерии, появляется возможность интенсифицировать биосинтез БР. В рамках нашего исследования проведено две ферментации галобактерий в фотобиореакторе.

В ферментации № 1 (рис. 1) использовалась лампа мощностью 11 Вт. При постоянном уровне аэрации культуры, по мере роста бактерий возник недостаток кислорода, следствием чего было появление БР в составе их мембран. На 73 часу роста, когда цвет среды приобретал пурпурно-красноватый оттенок, уменьшали расход воздуха. Для стимулирования биосинтеза БР тогда же включали освещение. Общее время ферментации № 1 составило 138 ч, оптическая плотность (OD) по окончании ферментации (измеренная при светофильтре 590 нм) составила OD = 1,9.

В ферментации № 2 (рис. 1) использовалась более мощная лампа 20 Вт. Освещение аппарата происходило все время ферментации. Все остальные параметры были схожи с первым опытом. Цвет среды начал меняться раньше. Расход воздуха уменьшили уже на 46 часу роста. Длительность ферментации составила 53 ч. Оптическая плотность по окончании ферментации достигла OD = 2,3. Выход продукта (БР) во втором опыте оказался примерно на 10 % выше, чем в первом. Следовательно, процесс биосинтеза БР с постоянным освещением начинается на ранних стадиях роста культуры галобактерий и проходит эффективнее. Обе ферментации характеризовались высоким качеством биомассы (малым содержанием каротиноидов).

В ферментерах с внешним освещением такой процесс ферментации длится примерно 8 суток, содержание БР в культуральной среде составляет 1750 мг/л [2]. На нашем фотобиореакторе удалось сократить продолжительность процесса до 2 суток, а выход продукта повысить до 2000 мг/л. Следовательно, в фотобиореакторе процесс проходит в 4 раза быстрее и эффективнее.

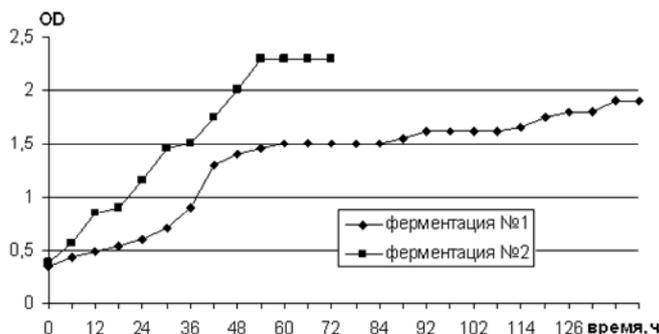


Рис. 1. Динамика изменения оптической плотности

1. Жаворонков, В.А. Разработка фотобиореакторов для интенсивного культивирования микроорганизмов : дис. ... канд. техн. наук / В.А. Жаворонков. – М. : МИХМ, 1987.

2. Каленов, С.В. Культивирование дрожжей и галобактерий в условиях контролируемого окислительного стресса : дис. ... канд. техн. наук / С.В. Каленов. – М. : РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2007.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ФИЛЬТРОВАНИЯ ПЫЛЕГАЗОВОГО ПОТОКА ДЛЯ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ЗЕРНИСТОГО СЛОЯ

Р.А. Важинский, Е.В. Романюк, И.В. Чугунова

Семилукский комбинат строительных материалов, ВГТА, г. Воронеж,
scercso@mail.ru

Преимущества цилиндрических зернистых слоев малого радиуса кривизны делают их достаточно перспективными при обеспыливании газов в центробежном поле.

В целях разработки стабильного гидродинамического режима фильтрования проведены теоретические и экспериментальные работы по изучению особенностей сопротивления вращающихся пористых тел при прохождении через них газа [1, 2]. При этом использован обширный материал по разделению жидких гетерогенных систем с твердой дисперсной фазой в центробежном поле.

В связи с этим представляет интерес оценка влияния центробежных сил на перепад давления ΔP при центростремительном перемещении пылегазового потока. Для вывода зависимости, описывающей процесс фильтрования, принимаем $\Delta P_{\text{ос.лин}} = \Delta P_{\text{ос.ст}} - \Delta P_{\text{ос.ц}}$, где $\Delta P_{\text{ос.лин}}$ – разность давлений при прохождении потока через осадок при вращающемся зернистом слое; $\Delta P_{\text{ос.ст}}$ – разность давлений при неподвижном фильтрующем элементе; $\Delta P_{\text{ос.ц}}$ – разность давлений, определяемая центробежными силами. Справедливость этого равенства очевидна, если учесть, что $\Delta P_{\text{ос.ст}}$ и $\Delta P_{\text{ос.ц}}$ направлены в противоположные стороны.

Для определения $\Delta P_{\text{ос.ц}}$ элементарное давление, развиваемое в центробежном поле внутри коаксиального элемента осадка радиусом R и толщиной dR , рассчитываем по формуле $d(\Delta P)_{\text{ос.ц}} = \rho_{\text{ос}} \omega^2 R dR$, где R – радиус осадка; dR – толщина осадка; $\rho_{\text{ос}}$ – плотность осадка, кг/м³, рассматриваемая здесь как постоянная величина; ω – угловая скорость, 1/с. После интегрирования получаем: $\Delta P_{\text{ос.ц}} = 0,5 \rho_{\text{ос}} \omega^2 (R_{\text{ос.н}}^2 - R_{\text{п.н}}^2)$. С учетом $R_{\text{ос.н}} = R_{\text{п.н}} + h_{\text{ос}}$, выражая ω через n , получаем:

$$\Delta P_{\text{ос}} = (\pi^2 n^2 / 1800) \rho_{\text{ос}} [(R_{\text{п.н}} + h_{\text{ос}})^2 - R_{\text{п.н}}^2] = (\pi^2 n^2 / 1800) \rho_{\text{ос}} h_{\text{ос}} (2R_{\text{п.н}} + h_{\text{ос}}),$$

где $h_{\text{ос}}$ – толщина зернистого слоя; n – число оборотов.

С учетом того, что $R_{\text{п.н}} = F/2\pi L$, а $\pi L(R_{\text{ос.н}}^2 - R_{\text{п.н}}^2) = x_y V$, где L – длина цилиндра; F – площадь сечения рабочей зоны аппарата, после преобразования последнего уравнения имеем: $h_{\text{ос}} = 2x_n w / [(2x_n w / R_{\text{п.н}} \tau + \tau^2)^{1/2} + 1/\tau]$. Наконец, после очевидных подстановок и преобразований получим

$$\Delta P_{\text{ос.ц}} = (\pi^2 n^2 / 900 g) \rho_{\text{ос}} R_{\text{п.н}} g \frac{x_{\text{н}} w}{[(2x_{\text{н}} w / R_{\text{п.н}} \tau + 1/\tau^2)^{1/2} + 1/\tau] R_{\text{п.н}}} \times$$

$$\times \left[2R_{\text{п.н}} + \frac{2x_{\text{н}} w}{(2x_{\text{н}} w / R_{\text{п.н}} \tau + 1/\tau^2)^{1/2} + 1/\tau} \right].$$

Таким образом, разработанная модель позволяет упростить процесс выбора эффективного гидродинамического режима при фильтровании пылегазовых потоков с помощью вращающегося зернистого слоя.

1. Красовицкий, Ю.В. Обеспыливание промышленных газов в огнеупорном производстве / Ю.В. Красовицкий и др. – Вильнюс : Техника, 1996.

2. Энергосберегающее пылеулавливание при производстве керамических пигментов по "сухому" способу / В.А. Горемыкин и др. – Воронеж : Воронежский гос. ун-т, 2001. – 296 с.

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ФИЛЬТРОВАНИЯ

Е.В. Романюк, Р.А. Важинский, И.В. Чугунова

Воронежская государственная технологическая академия, scercso@mail.ru

Для описания процесса фильтрования существует ряд зависимостей [1], характеризующих протекание процесса с отложением осадка на поверхности зернистого слоя, с постепенным закупориванием пор и на вращающемся зернистом слое. Анализ и применение этих уравнений можно значительно облегчить переходом к их безразмерной форме.

Для процесса фильтрования с отложением осадка на поверхности зернистого фильтра после ряда преобразований получено уравнение в обобщенных переменных:

$$Eu_{\text{ц}} = \pi_2 / Re_{\text{м}} \Gamma \{ \pi_1 / \pi_2 + [\ln(No_{\text{м}} + 1) / No_{\text{м}}]^{1/(1-s)} \}, \quad (1)$$

$$Eu = \Delta P_{\text{общ.ц}} / \rho w^2, \quad No = 2wx_{\text{н}} \tau / R_{\text{п.н}}, \quad Re_{\text{м}} = wd\rho / \mu,$$

$$\Gamma = h_{\text{н}} / d, \quad \pi_1 = r_{\text{п}} h_{\text{н}}^2, \quad \pi_2 = [r'_0 (1-s) \mu^s w^{1+s} h_{\text{н}}^{1-s} x_{\text{н}} \tau]^{1/(1-s)},$$

где $Eu_{\text{ц}}$, $Re_{\text{м}}$, $No_{\text{м}}$, Γ – числа Эйлера, модифицированные числа Рейнольдса, гомотронности и параметрический симплекс геометрического вида; π_1 , π_2 – безразмерные числа гидродинамического подобия; w – скорость фильтрования; ρ – плотность частиц; $x_{\text{н}}$ – объемная концентрация дисперсной фазы; $h_{\text{н}}$ – толщина зернистого слоя; τ – продолжительность фильтрования; $\Gamma_{\text{н}}$ – удельное сопротивление зернистого слоя; μ – динамическая вязкость, Па · с; S – показатель сжимаемости.

После преобразований уравнения (1) для плоского зернистого слоя при отложении сжимаемого осадка в обобщенных переменных получаем:

$$Eu_{\text{пл}} = (\pi_2 / Re_{\text{м}} \Gamma) (\pi_1 / \pi_2 + 1).$$

Для анализа процесса с постепенным закупориванием пор зернистого слоя после преобразований получаем зависимость:

$$(1/Eu)^{1/2} = (1/Eu_{\text{н}})^{1/2} - C Re^{1/2} (No + \pi_1);$$

$$Eu = \Delta P / \rho w^2, \quad Eu_{\text{н}} = \Delta P_{\text{н}} / \rho w^2, \quad C = x_{\text{н}} / \pi l (B \mu d_3 / N_{\text{н}})^{1/2},$$

$$Re = wd_3 \rho / \mu, \quad No = w \tau / d_3, \quad \pi_1 = -w K_{\text{п}} [1 - \exp(-m \tau)] / d_3 m,$$

где $N_{\text{н}}$ – коэффициент Корлиолиса; K – коэффициент проскока; d_3 – диаметр зерна; l – длина.

Для анализа процесса фильтрования с отложением осадка на вращающихся зернистых перегородках (при проскоке $K_{\text{п}} = 0$) получаем

$$Eu_{\text{ос.дин.}} = Eu_{\text{ос.ст}} - Eu_{\text{ос.ц}}, \quad Eu_{\text{ос.ст}} = \pi'_2 / Re_{\text{м}} \Gamma [\ln(2No'_M + 1)]^{1/(1-s)},$$

где $Eu_{\text{ос.дин.}} = \Delta P_{\text{дин.}} / \rho_{\text{г}} w^2$; $Eu_{\text{ос.ст}} = \Delta P_{\text{ос.ст}} / \rho_{\text{г}} w^2$;

$$Eu_{\text{ос.ц}} = \Delta P_{\text{ос.ц}} / \rho_{\text{г}} w^2, \quad \pi'_2 = [1/2 r'_0 (1-s) \mu^s w^s h_{\text{н}}^{1-s} R_{\text{п.н}}]^{1/(1-s)},$$

$$No'_M = wx_{\text{н}} \tau / R_{\text{п.н}}, \quad \Gamma = h_{\text{н}} / d.$$

Здесь безразмерные комплексы $Eu_{\text{ос.ц}}$, $Eu_{\text{ос.ст}}$, $Eu_{\text{ос.дин.}}$, π'_2 , $Re_{\text{м}}$, No'_M , Γ характеризуют гидродинамическое подобие рассматриваемого процесса фильтрования; $\Delta P_{\text{дин.}}$, $\Delta P_{\text{ос.ст}}$, $\Delta P_{\text{ос.ц}}$ – разность давлений: при прохождении потока через осадок при вращающемся зернистом слое, при неподвижном фильтрующем элементе, при учете центробежных сил.

После преобразований получаем:

$$Eu_{\text{ос.дин.}} = \pi'_2 / Re_{\text{м}} \Gamma [\ln(2No'_M + 1)]^{1/(1-s)} - 1/2 C \Phi_{\text{ц}} No'_M.$$

Регенерация наступит при очевидном условии, вытекающем из предыдущей формулы:

$$Eu_{\text{ос.дин.}} = Eu_{\text{ос.ст}} - Eu_{\text{ос.ц}} = 0, \quad D (\ln(2No'_M + 1))^{1/(1-s)} = No'_M,$$

где $D = 2\pi'_2 / C \Phi_{\text{ц}} Re_{\text{м}} \Gamma$; $C = 2R_{\text{п.н}} g \rho_{\text{ос}} / w^2 \rho_{\text{г}}$; $\Phi_{\text{ц}} = R_{\text{п.н}} n^2 / 900$.

Автоматизация расчетов процессов пылеулавливания дает возможность избежать ошибок, связанных с человеческим фактором, и ускоряет процесс принятия решений, аналитическую обработку поступающей информации, обеспечивает гибкость при изменении набора параметров или значений критериев.

Для этой цели на языке программирования Visual Basic for Application (VBA) нами написана компьютерная программа, позволяющая получить результаты расчета в табличной и/или графической форме.

1. Красовицкий, Ю.В. Обеспыливание промышленных газов в огнеупорном производстве / Ю.В. Красовицкий и др. – Вильнюс : Техника, 1996.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

А.В. Селезнев, Л.В. Гольцева

Санкт-Петербургский государственный технологический институт

В химической промышленности для реализации процессов теплообмена используют разные типы теплообменных аппаратов, среди которых наиболее распространенными являются кожухотрубчатые теплообменники и теплообменники типа "труба в трубе". Процесс теплообмена как сложное физическое явление представляет собой совокупность элементарных процессов – теплопроводности, конвекции, излучения. Моделирование каждого из явлений и процесса в целом представляет значительные трудности. Для изучения методов моделирования теплообменных аппаратов нами разработана интеллектуальная информационная система, состоящая из модулей разработчика и пользователя, различающихся правами доступа.

Модуль пользователя позволяет осуществлять структурный и параметрический синтез требуемой модели и проводить на ней эксперимент с целью изучения влияния конструктивных и технологических параметров на эффективность теплообмена. В свою очередь модуль разработчика предоставляет возможность внесения изменений в базу данных.

Интеллектуальная информационная система включает в себя кроме базы данных также и базу знаний. При этом база данных состоит из таблиц с информацией о различных теплообменных аппаратах (название, изображение, описание и технические параметры), характеристик теплоносителей и материалов, из которых изготовлен аппарат. База знаний содержит информацию о процессе теплообмена и соответствующих математических моделях. Для каждого из элементарных процессов теплообмена дается его описание, основное уравнение и методика определения соответствующих коэффициентов. Коэффициенты теплоотдачи жидкости при вынужденной и естественной конвекции определяются на основании критериальных уравнений конвективной теплоотдачи Нуссельта, Прандтля, Рейнольдса, Галилея, Грасгофа, Пекле. Коэффициент теплопередачи определяется с учетом теплоотдачи для горячего и холодного теплоносителя и термических сопротивлений стенки. При этом рассчитываются коэффициенты теплопроводности, удельной теплоемкости, объемного расширения, динамической вязкости в зависимости от температуры.

Математические модели рассматриваются для динамического (переходного) и стационарного (установившегося) режимов функционирования с учетом всех элементарных процессов при различных направлениях движения потоков (прямоток и противоток).

При решении уравнений теплообмена рассчитывается температура потоков в предположении, что движение теплоносителя и хладагента характеризуется гидродинамическими моделями идеального смешения, идеального вытеснения, однопараметрической диффузионной моделью или их комбинацией. Для решения этих уравнений используются известные численные методы.

В интеллектуальной информационной системе помимо решения уравнений математических моделей имеется возможность просмотра 3D-модели рассчитываемого теплообменного аппарата.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ ТРЕХКОМПОНЕНТНЫХ ВОДНО-СПИРТОВЫХ СМЕСЕЙ ИСПАРЕНИЕМ ЧЕРЕЗ МЕМБРАНУ

О.О. Горбенко

Московский государственный университет инженерной экологии, zubov@msuie.ru

Математическое описание процесса перапарации многокомпонентных смесей затруднено недостаточным знанием всей совокупности физико-химических процессов, протекающих в системе. В многокомпонентных смесях может происходить взаимное перекрестное влияние компонентов друг на друга, усложняющее перенос веществ через мембрану. В виду трудности исследования механизма процесса массопереноса можно считать нецелесообразным создание приемлемой детерминистической модели из-за больших временных и материальных затрат. В условиях недостаточного знания механизма явлений задачи математического описания и оптимизации процесса можно решить с помощью экспериментально-статистических методов.

Вопрос о влиянии на процесс различных технологических переменных с учетом их взаимодействия в общем случае может быть решен с помощью нахождения полинома степени n , включающего k независимых переменных [1]:

$$y = b_0 + \sum_{1 \leq i \leq k} b_i x_i + \sum_{1 \leq i < j \leq k} b_{ij} x_i x_j + \dots + \sum_{i_1 i_2 \dots i_k} b_{i_1 i_2 \dots i_k} x_1^{i_1} x_2^{i_2} \dots x_k^{i_k}, \quad (1)$$

где b_0, b_i, b_{ij} – эмпирические коэффициенты; x_1, x_2, \dots, x_k – переменные; $\overline{i_1, i_2, \dots, i_k}$ – натуральные числа.

Если в качестве переменных выступает состав (доли компонентов x_1, x_2, \dots, x_k), то на них накладывается дополнительное ограничение, т.е. переменные x_i подлежат нормированию согласно выражению:

$$\sum_{1 \leq i \leq q} x_i = 1. \quad (2)$$

В этом случае независимыми являются лишь $q - 1$ переменных и для использования требуется особый подход. Преобразование формулы (1) с учетом связи (2) позволяет получить полином степени n в приведенной форме [1]:

$$y = \sum_{1 \leq i \leq q} \beta_i x_i + \sum_{m=2}^n \left\{ \sum_{1 \leq i < j \leq q} \beta_{ij}^{(m)} x_i x_j (x_i - x_j)^{m-2} \right\} + \sum_{m=3}^n \left\{ \sum_{1 \leq i < i_2 < \dots < i_m \leq q} \beta_s x_{i_1}^{s_1} x_{i_2}^{s_2} \dots x_{i_m}^{s_m} \right\}, \quad (3)$$

где индекс $s = i_1^{s_1} i_2^{s_2} \dots i_m^{s_m}$, $s_1 + s_2 + \dots + s_m = 1$.

Методика поиска коэффициентов данного полинома основана на специальном планировании эксперимента [1], которое обеспечивает равномерный разброс экспериментальных точек по симплексу, стороны которого делят на 2, 3 и более уровней. Для создания модели необходимо знать отклик системы, соответствующей узловым точкам пересечения линий уровня.

Исходя из принятого количества уровней, возможно несколько вариантов расположения экспериментальных точек в симплексе: линейное, квадратичное, неполно-кубическое (3 уровня), кубическое (4 уровня) и т.д. Чем больше экспериментальных точек участвует в построении модели, тем она точнее, но при этом возрастает степень полинома и число искомых коэффициентов.

Применительно к рассматриваемому случаю описания трехкомпонентной смеси с двумя независимыми переменными (концентрациями) использование полиномов выше 4 степени можно считать нецелесообразным, поскольку это приведет к громоздким уравнениям и увеличит временные затраты на эксперименты, а низкая степень не позволит получить адекватную модель.

В [2] для построения модели используется схема неполно-кубической решетки, требующая семи экспериментальных точек, а зависимость (3) для нашего случая имеет вид:

$$y(x_1, x_2, x_3) = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{123} x_1 x_2 x_3,$$

где y – состав пермеата; x_i – массовые доли компонентов в исходной смеси ($i = 1, 2, 3$); $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_{12}, \beta_{13}, \beta_{23}, \beta_{123}$ – искомые коэффициенты полинома.

Такой подход обеспечивает достаточную точность при поиске зависимости состава пермеата (по легколетучему компоненту) от исходного состава смеси. Однако, как показала практика, использование этих формул для поиска других свойств (индивидуальные производительности, селективность и пр.) неприемлемо в связи с неадекватностью результата.

Для построения моделей вместо неполно-кубической можно использовать более точную схему решетки четвертой степени. Для поиска полинома требуется 15 экспериментальных точек, расположенных на симплексе.

Для данного случая зависимость (3) записывается в виде:

$$y(x_1, x_2, x_3) = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + \gamma_{12} x_1 x_2 (x_1 - x_2) + \gamma_{13} x_1 x_3 (x_1 - x_3) + \gamma_{23} x_2 x_3 (x_2 - x_3) + \beta_{1123} x_1^2 x_2 x_3 + \beta_{1223} x_1 x_2^2 x_3 + \beta_{1233} x_1 x_2 x_3^2, \quad (4)$$

где x_i – массовые доли компонентов в исходной смеси; $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_{12}, \beta_{13}, \beta_{23}, \gamma_{12}, \gamma_{13}, \gamma_{23}, \beta_{1123}, \beta_{1223}, \beta_{1233}$ – искомые коэффициенты полинома.

Поскольку число экспериментальных точек в плане равно числу искомых коэффициентов, то их можно найти, решив систему из 15 уравнений (4) при концентрациях $x_1 : x_2 : x_3$, соответствующих узлам решетки.

$$y_1^0 = y(x_1, x_2, x_3); \quad y_2^0 = y(x_1, x_2, x_3); \quad \dots; \quad y_n^0 = y(x_1, x_2, x_3), \quad n = 15. \quad (5)$$

Данная методика планирования эксперимента использовалась нами при исследовании трехкомпонентной смеси состава вода-этанол-изопропанол при различных концентрациях. Испытания проводились на отечественной ионообменной мембране МА-40.

Таблица 1

		Удельная производительность, кг/(ч · м ²)			Состав пермеата, кг/кг		
		J_w	J_e	J_i	Y_w	Y_e	Y_i
Коэффициенты к уравнению (4)	β_1	0,97	0	0	1	0	0
	β_2	0	0,383	0	0	1	1
	β_3	0	0	0,34	0	0	1
	β_{12}	0,58	-0,28	0	1,32	-1,32	0
	β_{13}	0,46	0	-0,36	1,52	0	-1,52
	β_{23}	0	-0,16	-0,08	0	-0,4	0,4
	γ_{12}	-0,29	-0,31	0	-1,44	1,44	0
	γ_{13}	-0,61	0	-0,21	-1,97	0	2,133
	γ_{23}	0	-0,65	0,587	0	-1,6	1,6

δ_{12}	-1,68	1,86	0	1,44	-1,44	0
δ_{13}	-1,84	0	0,91	2,133	0	-1,81
δ_{23}	0	-0,97	-1,39	0	1,6	-1,6
β_{1123}	-11,4	2,53	1,195	-10	5,6	3,6
β_{1223}	-5,32	1,85	1,984	-5	6,56	-1,39
β_{1233}	4,123	0,94	2,197	4,256	-4,16	0,384

С целью повышения точности для трехкомпонентных смесей поиск полинома осуществлялся для индивидуальных производительностей этанола (J_e), изопропанола (J_i) и воды (J_w). Состав пермеата находился по этанолу (Y_e), воде (Y_w) и изопропанолу (Y_i).

Решение системы (5) позволило найти коэффициенты для (4), значения которых для различных случаев представлены в табл. 1.

Сравнение результатов расчета по формулам (4, 5) с учетом коэффициентов, предложенных в таблице с экспериментальными данными, позволяет утверждать, что ошибка определения основных технологических характеристик работы мембраны не превышает 18 – 26 % для трехкомпонентных смесей.

1. Зедгинидзе, И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных смесей / И.Г. Зедгинидзе. – М. : Наука, 1976.
2. Ахназарова, С.Л. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии / С.Л. Ахназарова, В.В. Кафаров. – М. : Высшая школа, 1978.

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ ПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ

А.В. Ляшенко

Владимирский государственный университет, hahonka@mail.ru

Объектом исследования является стекловаренная печь, которая характеризуется непрерывностью протекающих процессов во времени и значительной инерционностью. В ранее проведенных исследованиях динамика входных каналов аппроксимировалась характеристиками звена чистого запаздывания [1]. Инерционность процесса стекловарения и случайный характер изменения переменных определяют необходимость использования статистических методов анализа для обработки данных, что позволяет уменьшить фактор неопределенности и избежать некоторых ошибок.

Данное исследование нацелено на анализ возможности повышения точности регрессионной модели путем включения лаговых значений независимых переменных. Для определения оптимального лага переменных использовано центральное композиционное ротатабельное планирование второго порядка. Исследование проводилось на примере построения модели плотности вырабатываемого листового стекла.

По экспериментальным данным стекольного производства за один год непрерывной работы (358 наблюдений) построено квадратичное регрессионное уравнение плотности стекла только с переменными, имеющими временной сдвиг:

$$\begin{aligned} \text{Пл}(t) = & 4,30705 + 0,00367 \Theta_{\text{cm1}}(t-4) - 0,0065083 \Theta_{\text{cm3}}(t-4) - \\ & - 0,002209G(t-4) + 0,00000405 \Theta_{\text{cm2}}^2(t-4) - \\ & - 0,00000295 \Theta_{\text{cm1}}(t-4) \Theta_{\text{cm3}}(t-4) - \\ & - 0,00000236 \Theta_{\text{cm1}}(t-4)G(t-4) + 0,00000432 \Theta_{\text{cm3}}(t-4)G(t-4), \end{aligned} \quad (1)$$

где t – текущее время в сутках; Θ_{cm1} – температура стекломассы по оси первой пары горелок, °С; Θ_{cm3} – температура стекломассы по оси третьей пары горелок, °С; G – производительность технологической линии по сваренной стекломассе, т/смена.

Модель плотности стекла (1) адекватно описывает результаты наблюдений. Коэффициент детерминации, равный 91 %, статистически значим при уровне значимости $\alpha = 0,05$. Точность модели, оцениваемая по величине остаточной дисперсии $S_{\text{ост}}^2$, равна $9,4 \cdot 10^{-7}$ (г/см³)².

Далее по экспериментальным данным нами построено линейное регрессионное уравнение плотности стекла со всеми рассматриваемыми факторами:

1. Анализ моделей плотности стекла

Модель регрессии	Кон-станта b_0	Коэффициенты регрессии при факторах					$S_{\text{ост}}^2$	R^2
		Θ_{cm1}	Θ_{cm3}	G	C_{SiO_2}	$C_{\text{Fe}_2\text{O}_3}$		
С включением лаговых значений	2,91301	0,0000904	-0,000172	-0,00005	-0,00438	–	$1,9 \cdot 10^{-6}$	82
Без включения лаговых значений МНК	3,2097	–	-0,000059	–	-0,00897	0,0068	$2,8 \cdot 10^{-6}$	86
Без включения лаговых значений ОМНК	2,9385	–	-0,0000149	–	-0,00587	0,00203	$9 \cdot 10^{-6}$	60

$$\begin{aligned} \text{Пл}(t) = & 2,91301 + 0,0000904\Theta_{\text{cm1}}(t-4) - 0,000172\Theta_{\text{cm3}}(t-4) - \\ & - 0,00005G(t-4) - 0,00438C_{\text{SiO}_2}(t), \end{aligned} \quad (2)$$

где C_{SiO_2} – концентрация оксида кремния в стекле, %.

Полученная модель (2) адекватно описывает результаты наблюдений. Коэффициент детерминации R^2 равен 82 %. Значимость проверялась по критерию Фишера при уровне значимости $\alpha = 0,05$. Расчетное значение критерия превысило табличное значение ($402 > 2,4$). Остаточная дисперсия составила величину $1,9 \cdot 10^{-6} (\text{г/см}^3)^2$.

Затем модель плотности стекла (2) сравнивалась с разработанными ранее моделями плотности без временного сдвига, оценки параметров которых получены с использованием обычного и обобщенного методов наименьших квадратов (МНК и ОМНК). Сравнительный анализ наглядно представлен в табл. 1.

В данной таблице присутствует независимая переменная $C_{\text{Fe}_2\text{O}_3}$ – это концентрация оксида железа в стекле, %. Прочерк в табл. 1 означает, что данный фактор для соответствующего уравнения регрессии незначим.

В результате проведенного анализа на примере построения модели плотности стекла было установлено, что включение в модель регрессии временного запаздывания факторных переменных позволило повысить точность описания по сравнению с моделями, не учитывающими лаговые значения независимых переменных.

1. Управление качеством листового стекла (флот-способ) : учеб. пособие / Р.И. Макаров, В.В. Торбеев, Е.Р. Хорошева и др. – М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2004. – 152 с.

2. Налимов, В.В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В.В. Налимов, Н.А. Чернова. – М. : Наука, 1965. – 340 с.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АБСОРБЦИИ АММИАКА В КОЛОННЕ С ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПСЕВДООЖИЖЕННОЙ НАСАДКОЙ

И.Ф. Киссельман

Березниковский филиал ПермГТУ, turion64turion64@mail.ru

Для компьютерного моделирования процесса абсорбции аммиака водой в колонне с вращающейся подвижной насадкой нами построена математическая модель (ММ) процесса, базирующаяся на ячеечной структуре потоков с изменением числа ячеек идеального смешения в зависимости от гидродинамического режима в каждой секции аппарата [1] и использования корректирующего коэффициента, учитывающего вращение элементов подвижной насадки. При этом число единиц переноса на одну секцию определено по величине объемного коэффициента массопередачи, отнесенного к газовой фазе. Число ячеек идеального перемешивания в одной секции определяется через критерий Пекле для неподвижной насадки, который в свою очередь есть функция критерия подобия Рейнольдса для жидкости и производного критерия Галилея для элемента подвижной насадки.

Кинетика процесса описана зависимостью константы равновесия растворения аммиака в воде от температуры с учетом парциального давления аммиака в газовой фазе, находящейся в состоянии равновесия с раствором аммиака определенной концентрации [1].

В основу описания процесса массопередачи положены зависимости объемного коэффициента массопередачи, отнесенного к газовой фазе от объемных коэффициентов массопередачи в газовой и жидкой фазах, которые в свою очередь рассчитываются через скорость газа и плотность орошения для данных конструктивных параметров секции и элемента подвижной насадки. Высота псевдооживленного слоя определяется по степени его расширения, зависящей от величины скорости газа с учетом скорости начала псевдооживления. Гидравлическое сопротивление слоя рассчитывается по критериальной зависимости от скорости газа и плотности орошения для конкретных конструктивных параметров.

Для оценки технологической эффективности процесса вычисляется степень извлечения по числу единиц переноса на одну ячейку идеального перемешивания с коррекцией по величине абсорбционного фактора, зависящего от константы равновесия.

Выполнена проверка адекватности ММ сравнением с результатами эксперимента на опытной установке.

Проведен анализ параметрической чувствительности основного гидродинамического показателя – гидравлического сопротивления колонны и конечной концентрации аммиака по основным конструкционным

Таблица 1

Параметр конструкции	Диапазон изменения	Перепад давления, кПа	Чувствительность, кПа/доля ед.	Конечная концентрация, г/м ³	Оценка чувствительности
S_{cc}	0,7 ... 0,25	1,6..3,2	1,2...9,4	0,117 ... 0,034	0,22...0,24
H_c , м	0,45 ... 0,1	3,2 ... 1,1	0,75...7,135	0,117 ... 0,034	0,12...0,27
D_k , м	2,4 ... 1,2	1,4 ... 1,7	5,6...6,2	0,27 ... 0,083	1,2...0,3
$\rho_{\text{нз}}$ кг/м ³	800...250	3,5 ... 1,9	2,8...3	0,122 ... 0,206	0,12...0,18

параметрам – доле свободного сечения ограничительно-распределительной решетки S_{cc} , высоты статического слоя насадки H_c и плотности материала $\rho_{\text{нз}}$. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Выполнены многократные расчеты технологического процесса с оценкой влияния основных конструктивных и режимных параметров колонны на выходные результирующие переменные, характеризующие эффективность функционирования аппарата. В результате расчетов выявлены управляющие параметры, обеспечивающие эффективный режим абсорбции, наиболее сильно влияющие на целевые функции при решении задачи оптимизации.

Полученные результаты показали возможность применения разработанной ММ для оптимизации конструкции и технологического режима абсорбции аммиака в колонне с вращающейся подвижной насадкой.

1. Замянин, А.А. Абсорберы с псевдооживленной насадкой / А.А. Замянин, В.М. Рамм. – М. : Химия, 1980. – 184 с.
2. Влияние распределения массы по объему насадочного тела на интенсивность гидродинамических процессов в трехфазном псевдооживленном слое / В.Ф. Беккер, В.В. Кафаров, А.Г. Шумихин, А.И. Черепанов // ТОХТ. – 1988. – Т. XXII. – С. 581 – 582.

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ АБСОРБЕРА С ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПСЕВДООЖИЖЕННОЙ НАСАДКОЙ

И.Ф. Киссельман

Березниковский филиал ПермГТУ, turion64turion64@mail.ru

На основе разработанной нами математической модели абсорбции аммиака в колонне с вращающейся подвижной насадкой [1] выполнена оптимизация конструктивных параметров колонны. Для этого в ходе предварительного вычислительного эксперимента выявлены основные варьируемые параметры конструкции: диаметр колонны D_k ,

Таблица 1

Параметр конструкции	Диапазон изменения	Перепад давления, кПа	Степень извлечения	Удельная интенсивность абсорбции, г/(м ³ · с)
S_{cc} , доли ед.	0,7...0,25	1,6...3,2	0,788...0,878	6,5...7,3
H_c , м	0,45...0,1	3,2...1,1	0,903...0,719	4,2...14,9
D_k , м	2,4...1,2	0,7...2,4	0,775...0,931	6,4...6,6
ρ_n , кг/м ³	800...250	3,5...1,9	0,898...0,828	8,6...6,7

высота статического слоя насадки H_k , кажущаяся плотность насадки ρ_n , доля свободного сечения опорно-распределительной решетки S_{cc} . Также определены рабочие диапазоны изменения этих параметров, которые приведены во втором столбце табл. 1. В [1] определена чувствительность выходных параметров процесса – перепада давления на псевдооживленном слое и конечной концентрации по этим основным конструктивным параметрам колонны. Анализ чувствительности подтвердил целесообразность оптимизации по этим параметрам.

В качестве критерия оптимальности выбрана удельная объемная интенсивность абсорбции аммиака, характеризующая число граммов аммиака поглощаемых одним кубическим метром объема псевдооживленного слоя за одну секунду.

Постановка задачи оптимизации сведена к поиску максимальной удельной интенсивности процесса абсорбции на выявленных диапазонах изменения основных параметров конструкции: диаметра колонны, высоты статического слоя насадки, кажущейся плотности насадки, доли свободного сечения опорно-распределительной решетки при ограничениях на перепад давления и степень извлечения.

Для решения задачи использован известный метод поочередного изменения переменных (метод Гаусса – Зейделя), выполнены две полных итерации по всем переменным. Найдено оптимальное значение диаметра колонны, равное 1,73 м. Оптимальные значения других параметров лежат на границах допустимых диапазонов их изменения и равны: высота статического слоя насадки – 0,1 м, кажущаяся плотность насадки – 800 кг/м³, доля свободного сечения опорно-распределительной решетки – 0,25.

1. Киссельман, И.Ф. Математическое моделирование абсорбции аммиака в колонне с вращающейся псевдооживленной насадкой / И.Ф. Киссельман // Наст. сборник. – С. 30 – 31.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕЦЕПТУР СБИВНЫХ КОНФЕТ

М.А. Романенко, П.М. Смолихина, Е.И. Муратова

Тамбовский государственный технический университет, topt@topt.tstu.ru

Современные принципы создания высококачественных пищевых продуктов основаны на выборе и обосновании определенных видов сырья и таких соотношений компонентов, которые обеспечили бы достижение прогнозируемого качества готовой продукции и определенных потребительских и технологических характеристик. Получение продуктов заданного состава требует использования при их проектировании высокотехнологичных решений – математического обеспечения и программных алгоритмов [1].

Ввиду сложности проектируемого объекта традиционно расчет рецептур осуществляется с использованием математических моделей, в качестве которых наиболее часто используются регрессионные уравнения, устанавливающие однозначную связь между составом проектируемого продукта и его свойствами. В большинстве случаев свойства оцениваются посредством субъективных экспертных оценок в соответствии с существующими нормативными документами на данную группу продуктов. В соответствии с этим применение традиционных регрессионных моделей сводится к определению коэффициентов уравнения регрессии и к вычислению по полученному уравнению оптимальных процентных содержаний пищевых компонентов в продукте при достижении наибольшей экспертной оценки.

Основными процессами, приводящими к потере качества при хранении сбивных конфет, являются высыхание образцов и увеличение содержания редуцирующих веществ.

Для визуализации математических моделей содержания редуцирующих веществ в массе после сбивания, уменьшения содержания влаги и увеличения содержания редуцирующих веществ в процессе хранения нами написана программа в среде Matlab 7.0.1.

Данная программа может быть использована для проектирования изменения основных физико-химических показателей сбивных глазированных конфет в зависимости от рецептуры в процессе хранения образцов, упакованных в этикет различного типа.

В качестве результата программа выдает начальное содержание редуцирующих веществ в массе в виде "reducir = 11.0027" и графики изменения содержания влаги и редуцирующих веществ в конфетах в процессе хранения. При этом графики изменения влажности конфет в процессе хранения разделяются в зависимости от упаковки: в бумаге, металлизированной пленке и флоу-пак.

Пример результатов работы программы представлен на рис. 1, 2.

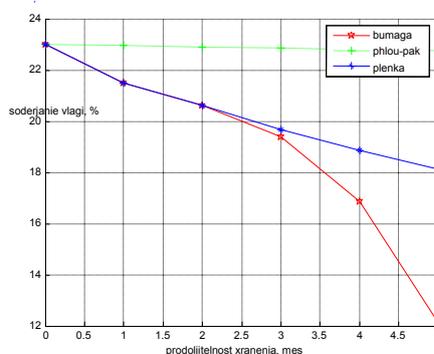


Рис. 1. Пример изменения содержания массовой доли влаги при хранении конфет, изготовленных по базовой рецептуре

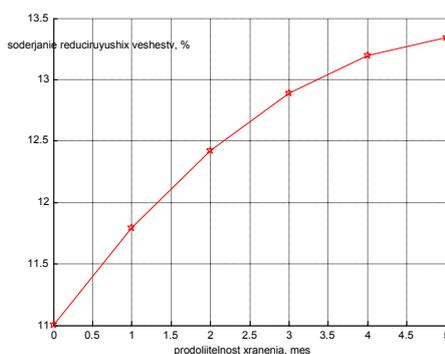


Рис. 2. Пример изменения содержания массовой доли редуцирующих веществ при хранении конфет, изготовленных по базовой рецептуре

С помощью программы можно прогнозировать изменение свойств сбивных конфет типа "Птичье молоко" при варьировании содержания в них сахара, патоки, сгущенного молока, лимонной кислоты, пищевых волокон и фруктозы. Полученные результаты иллюстрируются графиками, что облегчает подбор требуемых параметров массы.

Разработанная компьютерная программа позволяет прогнозировать динамику изменения основных физико-химических показателей в образцах, упакованных в этикет различного типа, в процессе хранения.

1. Федоров, В.Г. Планирование и реализация экспериментов в пищевой промышленности / В.Г. Федоров, А.К. Плесконос. – М. : Пищевая промышленность, 1980.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАНЕСЕНИЯ ГАЛЬВАНОПОКРЫТИЙ НА ДЕТАЛИ БОЛЬШОЙ ПРОТЯЖЕННОСТИ

С.Ю. Денисов, Ю.В. Литовка

Тамбовский государственный технический университет, bethoven86@mail.ru

Современные условия производства предъявляют повышенные требования к качеству изготавливаемых деталей. Это также относится и к качеству нанесения гальванических покрытий. Одним из главных критериев качества таких покрытий является их равномерность.

Подвергаются гальванической обработке не только малые и средние детали, но и крупные, имеющие большую длину. И здесь мы сталкиваемся с дополнительной проблемой – падением потенциала по длине катода.

Неравномерность распределения напряжения на катоде в связи с его большими размерами сильно осложняет гальванический процесс, делая электрическое поле в ванне еще более неоднородным, что приводит к различной толщине покрытия в разных точках поверхности. Это обстоятельство обуславливает необходимость разработки подсистемы автоматизированного проектирования гальванического процесса с крупногабаритными катодами, ядром которой является математическая модель процесса.

Математическая модель толщины покрытия включает в себя следующие уравнения и формулы. Толщина покрытия в каждой точке катода рассчитывается по формуле, полученной из закона Фарадея:

$$\delta(x, y, z, T) = \frac{\Delta}{\rho} \int_0^T \eta(t, C_1, C_2, i_k(x, y, z, \tau)) i_k(x, y, z, \tau) d\tau,$$

где T – время протекания процесса; Δ – электрохимический эквивалент вещества; ρ – плотность вещества.

Катодный выход по току является функцией температуры t , плотности тока i_k и концентрации компонентов электролита. Данная зависимость является аппроксимацией экспериментальных данных.

Исходя из закона Ома в дифференциальной форме, плотность тока на катоде будет рассчитываться по формуле: $i_k(x, y, z, \tau) = -\chi \partial \varphi / \partial n|_{S_k}$, где χ – удельная электропроводность электролита, 1/Ом · м; S_k – площадь поверхности катода; n – нормаль к поверхности катода.

Для нахождения распределения потенциала φ внутри ванны используется дифференциальное уравнение Лапласа:

$$\partial^2 \varphi / \partial x^2 + \partial^2 \varphi / \partial y^2 + \partial^2 \varphi / \partial z^2 = 0$$

со следующими краевыми условиями:

$$\partial \varphi / \partial n|_{S_n} = 0, \quad \varphi + F_1(i_a)|_{S_a} = U_a, \quad \varphi(z) - F_2(i_k)|_{S_k} = G(z),$$

где S_n – площадь поверхности изолятора; n – нормаль к поверхности изолятора; U_a – напряжение между анодом и катодом; S_a – площадь поверхности анода; S_k – площадь поверхности катода; $G(z)$ определяется из закона Ома: $G(z) = I \rho z / S$; $F_1(i_a)$ – функция анодной плотности тока, учитывающая поляризацию на аноде; $F_2(i_k)$ – функция катодной плотности тока, учитывающая поляризацию на катоде.

Функции катодной и анодной поляризации получают аппроксимацией реальных поляризационных кривых.

Особенностью модели является учет падения напряжения в крупногабаритном катоде в краевом условии для функции $F_2(i_k)$.

РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССА И АППАРАТА УТИЛИЗАЦИИ ПОСЛЕСПИРТОВОЙ БАРДЫ

О.В. Пещерова

Тамбовский государственный технический университет, eco@nnn.tstu.ru

Актуальность проблемы переработки послеспиртовой барды связана прежде всего с принятием закона, в котором указано, что производство этилового спирта, технологией которого предусматривается получение барды, допускается при условии ее переработки или утилизации на очистных сооружениях. Перед предприятиями стоит выбор оптимального способа переработки, отвечающего низким капитальным затратам, а также энергосберегающим технологиям.

Предлагаемый способ основан на микробиологической переработке послеспиртовой барды. В качестве микроорганизмов, принимающих участие в процессе утилизации, используются дрожжи *Candida Utilis* и бактерии рода *Pseudomonos*. Такая комбинированная технологическая схема позволяет не только повысить степень очистки, но и увеличить ассортимент конечной продукции. Она включает в себя три стадии. На первой происходит подготовка послеспиртовой барды, на второй – переработка дрожжами *Candida Utilis*, на третьей – доочистка бактериями рода *Pseudomonos*.

Для определения оптимального объема аппарата с целью дальнейшего его проектирования необходимо знать кинетику роста микроорганизмов. Нами разработана математическая модель, которая использует кинетическое уравнение Моно [1]. Получена система из трех уравнений, описывающая кинетику роста дрожжей в условиях недостатка субстрата и растворенного кислорода:

$$\frac{dX}{d\tau} = \mu X - \frac{G}{V} X, \quad \frac{dS}{d\tau} = -\frac{1}{Y} \mu X + \frac{G}{V} (S_0 - S), \quad \mu = \mu_{\max} \frac{S}{S + K_S} \frac{C}{C + K_C}, \quad (1)$$

где μ – удельная скорость роста микроорганизмов, ч⁻¹; X – концентрация микроорганизмов (биомассы), г/л; μ_{\max} – максимальная удельная скорость роста микроорганизмов, ч⁻¹; S – концентрация субстрата, г/л; K_S, K_C – константы полунасыщения по субстрату и кислороду; C – концентрация кислорода, мг/л; Y – экономический коэффициент; G – расход жидкой фазы через аппарат, м³/ч; V – рабочий объем аппарата, м³.

В результате исследования математической модели получены зависимости скорости роста дрожжей от концентрации субстрата и от температуры (рис. 1).

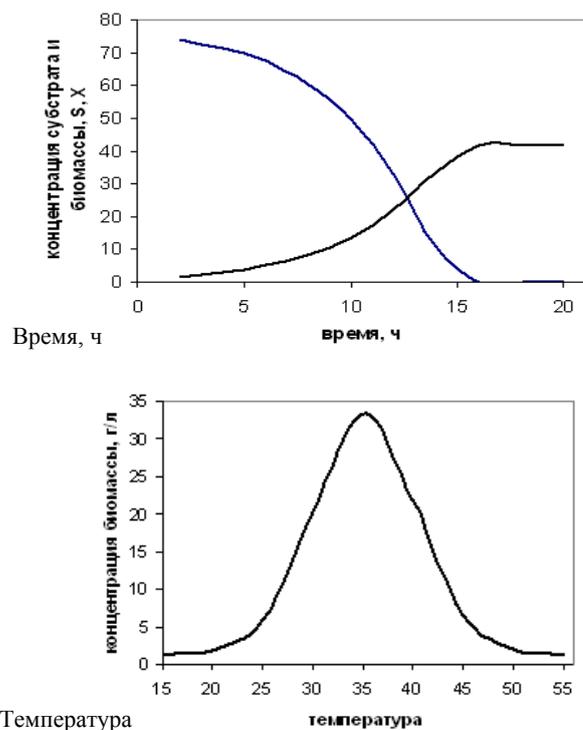


Рис. 1. Кинетические исследования (непроточный режим)

Кроме того, исследование полученной математической модели в проточных условиях позволило определить оптимальный рабочий объем дрожжерастительного аппарата. Оказалось, что при объемах аппарата более 85 м^3 прирост биомассы незначителен, но зато растут затраты на изготовление и монтаж аппарата, а при объемах аппарата менее 70 м^3 степень утилизации барды низка, как и прирост биомассы (рис. 2).

Таким образом, предложено разработать дрожжерастительный аппарат рабочим объемом 70 м^3 .

В результате расчетов определены основные размеры аппарата. Внутренний диаметр аппарата составил 4 м. Общая высота аппарата составила 9,25 м. Из прочностного расчета на внутреннее и внешнее давление определена толщина стенки дрожжерастительного аппарата – 23 мм.

Учитывая тот факт, что в процессе жизнедеятельности дрожжей выделяется значительное количество тепла, а максимальный прирост биомассы наблюдается только при температуре $33 - 35 \text{ }^\circ\text{C}$ (см. рис.1), нами предложено для поддержания постоянной температуры в аппарате использовать "рубашку" с охлаждающей водой. Из теплового расчета определена необходимая площадь теплообмена – $40,5 \text{ м}^2$. В качестве "рубашки" для дрожжерастительного аппарата принята неразъемная "рубашка" из углеродистой стали из полутруб в соответствии с ОН 26-01-76-68.

Для насыщения послеспиртовой барды кислородом, необходимым для жизнедеятельности дрожжей, а также для интенсивного перемешивания среды предложено использовать аэрирующее перемешивающее устройство типа барботер. Необходимо отметить конструктивную особенность данного устройства: отверстия для подачи воздуха в аппарат расположены снизу решетки барботера, что значительно облегчает эксплуатацию аппарата. Это связано с тем, что отверстия подачи воздуха реже забиваются. Кроме того, к ним облегчается доступ во время ремонта.

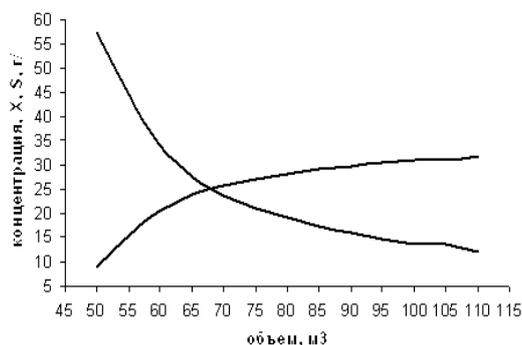


Рис. 2. К определению оптимального объема аппарата

Таким образом, на основе результатов математического моделирования спроектирован дрожжерастительный аппарат. В дальнейшем планируется более детальная аппаратная проработка предложенной технологической схемы, а также детальное изучение кинетики роста микроорганизмов с целью увеличения точности математической модели.

ТЕХНОЛОГИЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ

Н.В. Кудинов

Донской государственный технический университет, kudinov_nikita@mail.ru

В данной статье пойдет речь об имитационном моделировании сложных динамических систем с иерархической структурой на примере газотранспортной магистрали. Имитационное моделирование подразумевает сохранение структуры, связи между компонентами, способа передачи информации [1], присущих моделируемой системе. Элементы структуры системы заменяются их моделями, которые "обвязываются" информационными связями так же, как и объекты в моделируемой системе.

Компьютерное моделирование – реализация вычислительных процессов в ЭВМ на основе математических моделей с целью исследования реального процесса на основе вычисленной информации. Наиболее полный и однозначный переход от процесса к модели получается при воспроизведении физических законов. Более сложные процессы, например технологические, с определенной долей точности можно представить как суперпозицию этих законов. Для сложных процессов установить структуру физических законов, энергетических и информационных связей позволяет последовательный анализ взаимосвязей и принятие обоснованных допущений при абстрагировании. Поэтапное абстрагирование и рассмотрение "Переменных порядка" [2] на разных уровнях абстракции приводит к построению иерархии математических моделей.

При абстрагировании некоторые различия моделей отбрасываются и они объединяются в один класс, в рамках которого они не различимы. При этом некоторые важные свойства объектов теряются. Чтобы иметь возможность промоделировать процессы на объектно-ориентированном языке программирования во всей их сложности, надо последовательно, абстрагируясь от несущественных свойств, строить иерархию классов, учитывающих отброшенные свойства объектов. Множественное наследование позволяет в результате получить объекты с нужными свойствами и с необходимой степенью абстракции (синтез производных классов). Таким образом, задача создания среды объектно-ориентированного моделирования сложной системы включает этапы построения иерархии классов, порождения (придания объектам новых свойств) и их увязывания (формирования известных информационных связей).

В ходе анализа структуры магистрального газопровода нами выделено шесть уровней, для каждого из которых характерны свои классы объектов. Ниже приводится описание этих уровней.

1. Кибернетический уровень. В системах управления выделяют вход-выходные переменные и внутренние переменные, определяющие состояние объекта. На этом уровне выделяются объекты моделирования – обобщенные технические и информационно-обрабатывающие устройства, взаимодействующие с окружающими объектами через входы и выходы. Помимо конкретной внутренней структуры, функционирование объекта зависит от некоторых параметров – входной информации, передаваемой от других объектов, и параметрической информации, определяемой пользователем системы интерактивно. Второй вид информации переносит относительно медленные интерактивные воздействия пользователя.

2. Механический уровень. Процессы в реальном мире обладают свойствами инерции и диссипации энергии – они описываются дифференциальными уравнениями. В связи с этим описание реальных объектов учитывает в несколько раз больше переменных, нежели количество накопителей энергии в объекте моделирования. Абстрактные объекты, инкапсулирующие все эти переменные и формирующие динамику их изменения – объекты, относящиеся к классу "Фазовое пространство".

3. Физический уровень. При построении моделей приняты различные способы абстрагирования от пространственно-временной протяженности процессов. Различают динамические, сосредоточенные во времени и пространстве процессы, пространственно сосредоточенные или точечные. В связи с такой классификацией конструируются три класса – сосредоточенная система, пространственная сетка (определяющая технологию пространственной аппроксимации) и класс, включающий алгоритмы учета хода виртуального модельного времени. Композиция этих классов порождает объекты, полезные при моделировании физических систем общей природы.

4. Математический уровень. Представляет алгоритмы аппроксимации непрерывного распределения параметров сеточными (табличными) функциями.

5. Технический уровень. Описывает технические конструкции, являющиеся составными частями технологических объектов – виртуальные линейные участки – участки газопровода без поворотов, виртуальные сопротивления – сопротивления газопровода, связанные с изгибом трубы, заслонки, газоперекачивающие агрегаты.

6. Технологический уровень. Описывает различные классы технологических объектов. К нему относятся участки газопровода, компрессорные станции.

В ходе исследований нами разработан программный продукт, реализующий имитационное моделирование процесса транспортировки природного газа. При этом обоснован подход, позволяющий моделировать информационно-связанные объекты в общем пространстве состояний. Разработаны и опробованы принципы относительной оптимизации моделирования объектов, взаимодействующих непосредственно через переменные состояния. Рассмотрен вопрос моделирования в реальном времени. В связи с этим приводятся данные тестирования производительности на разных аппаратных платформах при различных тактовых частотах системной шины. По полученным данным производится экстраполяция и выбор аппаратной платформы, подходящей для имитационного моделирования процессов транспортировки газа с заданной точностью.

Моделирование при описанном подходе является результатом взаимодействия множества внутренних компонентов программы. Основной поток информации при моделировании передается между компонентом, реализующим численный метод решения систем дифференциальных уравнений, относящимся к классу Solver, и набором объектов, отвечающих за вычисления правых частей. Они организованы по иерархическому принципу.

Эти объекты взаимодействуют между собой при помощи интерфейсов, описанных в классе InputOutput.

Взаимодействие между объектами определяется на более высоком уровне иерархии. Например, взаимодействие между КС – класс Pump и газодинамической моделью по переменным состояниям газа определяется в объектах "участок магистрального газопровода", составляющих класс GasPipeline Part. Такая схема взаимодействия поддерживает модульный принцип и позволяет подключать внешние модули без перестройки программной и алгоритмической структуры разработанного программного модуля.

Объекты, отвечающие за расчет правых частей уравнений и определяющие внутренние переменные состояния газовой среды, наследуют структуры данных и методы классов "пространство состояний" (StateSpace) и "пространственная сетка" (Space Grid).

Такой подход, основанный на множественном наследовании и вторичном использовании кода, позволяет избежать лишних ошибок при разработке и отладке модуля.

1. Колесов, Ю.Б. Имитационное моделирование сложных динамических систем / Ю.Б. Колесов, Ю.Б. Сениченков // http://www.exponenta.ru/soft/Others/mvs/ds_sim.asp.

2. Капица, С.П. Синергетика и прогнозы будущего / С.П. Капица, С.П. Курдюмов, Г.Г. Малинецкий. – М. : Наука, 1997.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПРОЕКТИРУЕМЫХ ХТС В УСЛОВИЯХ ИНТЕРВАЛЬНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ДАННЫХ

Д.С. Дворецкий, Е.В. Пешкова, И.В. Пешкова

Тамбовский государственный технический университет, topt@topt.tstu.ru

В [1] разработана методика компьютерного моделирования химико-технологических систем (ХТС) в условиях интервальной неопределенности некоторых параметров математической модели и технологических переменных. Предложенная методика включает: постановку задачи исследования ХТС с использованием компьютерной модели; установление граничных значений технологических ограничений и показателей эффективности ХТС; построение математической модели, учитывающей интервальную неопределенность некоторых параметров и технологических переменных; разработку моделирующего алгоритма и программного комплекса, позволяющего имитировать функционирование ХТС в условиях неопределенности; исследование чувствительности показателей эффективности функционирования ХТС и выявление наиболее значимых управляющих воздействий; планирование вычислительного эксперимента по исследованию существования допустимых режимов функционирования ХТС в пространстве управляющих переменных; построение и анализ областей допустимых режимов функционирования ХТС при изменении неопределенных параметров в заданных интервалах; постановку экономически целесообразной задачи стохастической оптимизации ХТС; разработку алгоритмов стохастической оптимизации и исследование гибкости ХТС.

Согласно предложенной методике, нами проведены исследования функционирования установки синтеза азопигментов при производстве азокрасителей в рассматриваемой в [1] технологической схеме. С использованием уравнений кинетики процесса синтеза пигмента алого лакокрасочного и уравнений покомпонентного материального и теплового балансов построены математические модели непрерывных и циклических процессов диазотирования, осуществляемого в турбулентных реакторных установках диффузор-конфузорного и циклического типов.

С применением разработанных компьютерных моделей непрерывных процессов диазотирования в производстве азопигментов проведены вычислительные эксперименты по исследованию статических режимов функционирования реакторных установок диазотирования с диффузор-конфузорными устройствами турбулизации потока и циклического типа.

Технологическим регламентом непрерывного производства азопигментов к реакторной установке диазотирования предъявляются следующие требования (ограничения): по выходу диазосоединения $K_D \geq 97,0 \%$, по "проскоку" твердой фазы амина $\eta \leq 0,25 \%$, по содержанию диазосмол $\Pi_\chi \leq 0,9 \%$ и нитрозных газов $\Pi_\sigma \leq 5,0 \%$ в диазорастворе.

Выполнение вышеперечисленных требований необходимо обеспечить в условиях неопределенности отдельных параметров: концентрации твердой фазы амина $[C_a^{(0)}]_s = 370,0 (\pm 4 \%)$ моль/м³, кинетических коэффициентов растворения твердой фазы амина $A = 5,4 \cdot 10^5 (\pm 5 \%)$, кинетических коэффициентов (энергий активации $E_{04} = 87\,150 (\pm 0,2 \%)$, $E_{05} = 63\,690 (\pm 0,2 \%)$ Дж/моль) реакций разложения диазосоединения.

На рис. 1 представлены некоторые области допустимых режимов функционирования реакторных установок диазотирования в координатах "доля расхода $\gamma_N^{(1)}$ раствора нитрита натрия в первую секцию реактора – температура соляно-кислой суспензии амина на входе в реактор T_c " при случайном изменении концентрации твердой фазы амина $[C_a^{(0)}]_s$ в питании реакторной установки диффузор-конфузорного типа (рис. 1, а) и циклического типа (рис. 1, б).

Анализ графиков и областей допустимых режимов функционирования реакторной установки диазотирования производительностью 1000 т/год позволяет сделать следующие выводы:

1) при случайных отклонениях концентрации твердой фазы амина $[C_a^{(0)}]_s$ от регламентного значения и кинетических коэффициентов в уравнении растворения A и энергий активации образования диазосмол E_{04} , E_{05} от номинальных значений выход диазосоединения снижается и нарушаются требования технологического регламента, что позволяет рассматривать эти переменные как неопределенные параметры;

2) для управления процессом диазотирования целесообразно использовать распределение подачи раствора нитрита натрия по длине реактора $\gamma_N^{(i)}$, $i = 1, 2, 3$, добиваясь при этом стабилизации температуры реакционной среды T_c ;

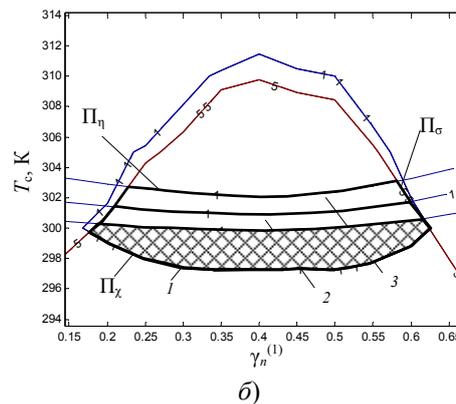
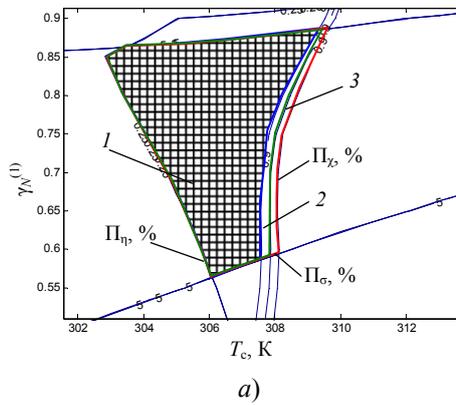


Рис. 1. Области допустимых режимов функционирования реакторных установок диазотирования:
a – диффузор-конфузорного типа; *б* – циклического типа

3) при изменении неопределенных параметров в заданных пределах существуют допустимые области изменения управляющих переменных и имеет место пересечение этих областей (заштрихованная область), что подтверждает возможность и целесообразность постановки задачи оптимизации реакторных установок диазотирования в условиях неопределенности.

1. Пешкова, Е.В. Моделирование, оптимизация и аппаратурно-технологическое оформление энергоресурсосберегающих установок синтеза азопигментов при наличии неопределенности : дис. ... канд. техн. наук. – Тамбов, 2007. – 179 с.

ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Ю.В. Плотникова, А.А. Арзамасцев

Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, arz_sci@mail.ru

Разработка малоотходных технологий является актуальной задачей для многих отраслей промышленности. Одним из таких технологических процессов, где было бы желательно использовать малоотходные технологии, является производство этанола. Общая схема такого технологического процесса показана на рис. 1. Указанная технология предложена инженером В.Я. Руди и др. Отдельные технологические решения, а также исследования кинетики процессов, их математические модели предложены А.А. Арзамасцевым.

Целью данной работы является экономическая оптимизация указанного технологического процесса с учетом современных цен на материалы, сырье, энергетические ресурсы, а также существующим уровнем оплаты труда персонала.

Проблема экономической оптимизации может быть сформулирована следующим образом. Необходимо найти вектор независимых

переменных u^* , который минимизирует значение целевой функции $Q(w, u, y)$ для вектора возмущений w , таким образом, что:

$$Q^*(w, u^*, y) = \min_{u \in U(w)} Q(w, u, y), \quad (1)$$

где Q – целевая функция; y – вектор выходных параметров объекта; U – область допустимых значений для рассматриваемых переменных.

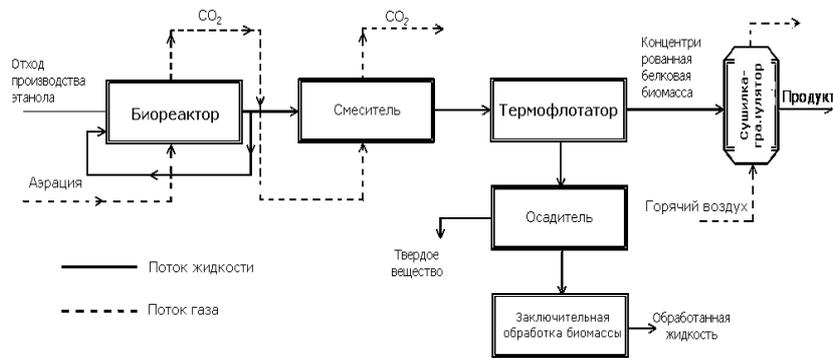


Рис. 1. Общая схема утилизации отходов производства этанола

Уравнение связи, характеризующее математическую модель объекта, имеет следующий вид:

$$y = \Psi(w, u, p), \quad (2)$$

где p – вектор параметров модели; Ψ – оператор связи.

Ограничения, накладываемые на независимые варьируемые параметры и выходные переменные, таковы:

$$R_j(w, u) \geq 0, \quad j = \overline{1, k}, \quad L_i(w, u) \geq 0, \quad i = \overline{1, m}, \quad (3)$$

где $R_j, L_i, j = \overline{1, k}, i = \overline{1, m}$ – функции.

В качестве целевой функции приняты приведенные затраты. Математические модели биореактора, термофлотатора и других технологических единиц опубликованы в наших предыдущих работах.

Решение задачи (1) – (3) осуществляли методом прямого поиска с возвратом. В результате получены конструктивные, а также технологические параметры процесса (рис. 1) при ограничениях (3) и уравнении связи (2).

ОПТИМАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ МНОГОПОТОЧНОГО ТЕПЛООБМЕНА С ГИДРОДИНАМИКОЙ "СМЕШЕНИЕ – СМЕШЕНИЕ"

И.А. Новикова

Московский государственный университет инженерной экологии,
irena_nov1@bk.ru

Задачи энергосбережения важны во всех отраслях, особенно для жилищно-коммунального хозяйства, криогенной техники и др. Энергетические затраты на нагрев/охлаждение технологического потока позволяют снизить оптимальная организация процессов теплообмена в теплообменных системах и оптимальное управление этими системами. Важной и малоизученной является задача оптимального проектирования и управления системами многопоточного теплообмена (совокупности нагревателей и холодильников).

Под оптимизацией теплообменных процессов понимается нахождение коэффициента термодинамической эффективности (совершенства) и приближение характеристики теплообменной системы к идеальной. Идеальная характеристика теплообменной системы предполагает равенство коэффициента термодинамической эффективности единице.

Коэффициент термодинамической эффективности связан с производством энтропии как отношение минимального производства энтропии к фактическому (реальному) производству энтропии теплообменной системы.

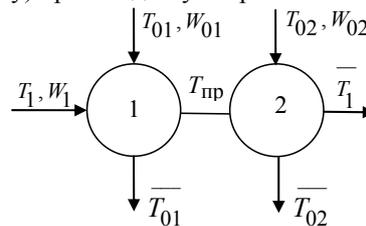


Рис. 1. Схема трехпоточной теплообменной системы

Для оптимизации теплообменных процессов рассмотрим трехпоточную теплообменную систему, состоящую из двух теплообменников и трех потоков, двух горячих потоков и одного холодного (рис. 1). Гидродинамика потоков в теплообменниках типа "смешение – смешение". Пусть известны следующие данные: α – общий коэффициент теплообмена, q – общая для системы тепловая нагрузка, входные температуры T_{0i} и водяные эквиваленты W_{0i} горячих потоков, $i = 1, 2$.

Для того, чтобы приблизить реальное производство энтропии к минимальному, необходимо минимизировать фактическое значение производства энтропии по тепловым нагрузкам и коэффициентам теплообмена при ограничениях на тепловую нагрузку $q = q_1 + q_2$ и коэффициент теплообмена $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$:

$$\sigma_{\Phi} = \sum_{i=1}^2 W_{0i} \ln(\bar{T}_{0i} / T_{0i}) + W_1 \ln(\bar{T}_1 / T_1) \rightarrow \min_{\alpha_1, \alpha_2, q_1, q_2}, \quad i = 1, 2, \quad (1)$$

где W_1 – водяной эквивалент холодного потока; \bar{T}_{0i}, \bar{T}_1 – выходные температуры горячих и холодного потоков; T_1 – входная температура холодного потока; α_1, α_2 и q_1, q_2 – коэффициенты теплообмена и тепловые нагрузки каждого теплообменника.

Для нахождения всех неизвестных температур горячих и холодного потоков используем следующие зависимости: $\bar{T}_{0i} = T_{0i} - q_i / W_{0i}$, $T_{\text{пр}} = T_1 + q_1 / W_1$, $\bar{T}_1 = T_1 + q / W_1$, $i = 1, 2$. Для ньютоновского закона теплообмена тепловые нагрузки каждого из теплообменников выражаются так: $q_1 = \alpha_1(\bar{T}_{01} - T_{\text{пр}})$, $q_2 = \alpha_2(\bar{T}_{02} - \bar{T}_1)$.

Функция Лагранжа задачи (1) примет вид:

$$L = \sigma_{\phi}(T_1, W_1, q_1, q_2, \alpha_1, \alpha_2) + \lambda_1(q_1 + q_2) + \lambda_2(\alpha_1 + \alpha_2). \quad (2)$$

Для решения задачи необходимо продифференцировать функцию Лагранжа по независимым переменным и приравнять производные нулю: $\partial L / \partial q_i = 0$, $\partial L / \partial \alpha_i = 0$, $i = 1, 2$. Из этих равенств получаем условия: $\partial \sigma_{\phi} / \partial q_i = -\lambda_1$, $\partial \sigma_{\phi} / \partial \alpha_i = -\lambda_2$, $i = 1, 2$ при ограничениях на тепловую нагрузку и коэффициент теплообмена. Приравняв выражения с одинаковой правой частью λ_1 и λ_2 , получаем:

$$\partial \sigma_{\phi} / \partial q_1 = \partial \sigma_{\phi} / \partial q_2, \quad \partial \sigma_{\phi} / \partial \alpha_1 = \partial \sigma_{\phi} / \partial \alpha_2, \quad q_1 + q_2 = q, \quad \alpha_1 + \alpha_2 = \alpha. \quad (3)$$

Решая систему уравнений (3), находим оптимальные значения коэффициентов теплообмена и тепловых нагрузок, а затем находим минимальное фактическое производство энтропии.

Минимальное производство энтропии можно определить, зная температуры и водяные эквиваленты горячих потоков: $\sigma_{\min} = \alpha(1-m)^2 / m$, где m – отношение температур горячего и холодного потоков в любой точке контакта, $m = 1 - \left((1/\alpha) \sum_{i=1}^2 W_{0i} (\ln T_{0i} - \ln T) \right)$; $T = (T_{01}W_{01} + T_{02}W_{02} - q) / (W_{01} + W_{02})$ – средняя температура горячих потоков на выходе при условии выполнения неравенства $T_{0i} \geq \bar{T}$. Зная σ_{\min} и σ_{ϕ} , находим $\rho = \sigma_{\min} / \sigma_{\phi}$.

Полученная оценка термодинамического совершенства ρ может оказаться неоправданно низкой. В ряде случаев она может быть повышена. Так, например, ранее мы полагали, что температуры и водяные эквиваленты горячих потоков известны, а холодные надо было выбирать, чтобы приблизиться к полученной оценке. На самом деле может оказаться, что температуры и водяные эквиваленты холодных потоков фиксированы. Тогда будем полагать, что температура на входе в теплообменник T_i и водяные эквиваленты W_i нагреваемых потоков заданы, $i = 1, 2$, общий коэффициент теплообмена и общая тепловая нагрузка также известны.

В этом случае задача нахождения фактического производства энтропии подобна вышеизложенной задаче, только выходные температуры холодных потоков выражаются следующим образом: $\bar{T}_i = T_i + q_i / W_i$, $T_{\text{пр}} = T_{01} - q_1 / W_{01}$, $\bar{T}_{01} = T_{01} - q / W_{01}$, где \bar{T}_i – выходные температуры холодных потоков; T_{01} , \bar{T}_{01} , W_{01} – входная, выходная температуры и водяной эквивалент горячего потока и тепловые нагрузки $q_1 = \alpha_1(T_{\text{пр}} - \bar{T}_1)$, $q_2 = \alpha_2(\bar{T}_{01} - \bar{T}_2)$. Для определения минимального

производства энтропии $\sigma_{\min} = \alpha(1-m)^2 / m$ необходимо определить $m = 1 - \left((1/\alpha) \sum_i W_i (\ln T - \ln T_i) \right)$, где

$$T = \left(\sum_i T_i W_i + q \right) / \sum_i W_i \text{ при условии } T_i \leq \bar{T}.$$

Наибольшее из минимальных производств энтропии при фиксированных параметрах горячих потоков и фиксированных параметрах холодных потоков дает оценку термодинамического совершенства. Повышать данный показатель можно за счет перераспределения потоков и поверхностей теплообмена таким образом, чтобы отношения температур горячих и холодных потоков в любой точке контакта и температуры на выходе из системы были одинаковыми.

ОПТИМАЛЬНОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ В ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ ВАННЕ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ КРИТЕРИЯ РАВНОМЕРНОСТИ

Н.С. Синяков, Ю.В. Литовка

Тамбовский государственный технический университет, st042@mail.ru

Размещение деталей в ванне осуществляется с использованием приспособлений подвешочного типа. Подвески – это приспособления, с помощью которых покрываемые детали размещают в электролите гальванической ванны. Подвески являются транспортным средством, предназначенным для переноса обрабатываемых деталей с загрузочной позиции на гальваническую линию и из ванны в ванну при выполнении операций на линии.

Расположение деталей, размещаемых на подвеске, влияет на равномерность покрытия вследствие взаимного экранирования деталей, из-за этого возрастают расход металла, электроэнергии и материалов.

Для обеспечения оптимального заполнения подвески деталями необходимо учитывать некоторые ограничения по прочности элементов подвески, по току, который может давать выпрямитель, по равномерности распределения тока, обусловленной возможностью взаимного экранирования деталей в электрическом поле ванны и др.

На практике определить оптимальное размещение деталей на подвеске очень сложно, поскольку необходимо проводить большое количество трудоемких экспериментов.

Задача данной работы заключается в нахождении такого размещения деталей, при котором суммарная неравномерность покрытия будет минимальной. Для решения этой задачи необходимо сформировать критерий оптимальности или равномерности покрытия и построить математическую модель процесса.

Критерий равномерности покрытия будет выглядеть следующим образом:

$$\mathfrak{R} = 1/N \sum_{j=1}^N \left(1/S_{kj} \int_{S_{kj}} dS_{kj} (\delta_j(x, y, z) - \delta^{\min}) / \delta^{\min} \right).$$

Толщину покрытия в каждой точке катода, полученную за время j -го малого периода, можно определить по формуле: $\delta_j(x, y, z) = \eta_j i_{kj}(x, y, z) T_{1,j} \mathcal{E} / \rho$, где $i_{kj}(x, y, z)$ – катодная плотность тока в точке катода с координатами (x, y, z) . В любой точке катода с координатами (x, y, z) должно выполняться условие:

$$\delta_j^{\min} = \min_{A \subset S_k} (\delta_j(x, y, z)) \geq \delta_j^{\text{зад}},$$

где $A = \{x, y, z\}$; $\delta^{\text{зад}}$ – заданная техническими условиями минимальная толщина покрытия.

Катодный выход по току для каждого j -го малого периода можно найти из зависимости: $\eta_j = \eta_j(t, i_{kj}(x, y, z), C_1, C_2, \dots, C_m)$, где C_i – концентрация i -го компонента электролита; m – количество компонентов, влияющих на катодный выход по току. Для определения катодной плотности тока $i_k(x, y, z)$ воспользуемся законом Ома в дифференциальной форме: $i_k(x, y, z) = -\chi \text{grad } \varphi_j(x, y, z)$, где χ – электропроводность электролита, φ – потенциал электрического поля в любой точке гальванической ванны с координатами (x, y, z) .

Для описания электрического поля используется дифференциальное уравнение Лапласа:

$$\partial^2 \varphi_j / \partial x^2 + \partial^2 \varphi_j / \partial y^2 + \partial^2 \varphi_j / \partial z^2 = 0.$$

В гальванической ванне область распространения электрического поля, наводимого в электролите при прохождении тока, имеет следующие границы и краевые условия на них: футерованные токонепроводящие стенки ванны и границы электролит – воздух: $\partial \varphi / \partial n |_{S_n} = 0$, где S_n – площадь поверхности изолятора; n – нормаль к поверхности изолятора; граница электролит – анод: $\varphi + F_1(i_a) |_{S_a} = U$, где S_a – площадь поверхности анода; F_1 – функция анодной плотности тока i_a , учитывающая поляризацию анода; U – напряжение между анодом и катодом; граница электролит – j -й катод: $\varphi_j + F_2(i_{kj}) |_{S_{kj}} = 0$, где S_{kj} , $j = 1, 2, \dots, N$ – площадь поверхности j -го катода, N – количество катодов; F_2 – функция катодной плотности тока, учитывающая поляризацию катода.

Функции F_1, F_2 в общем случае нелинейные и определяются по экспериментальным данным.

Геометрические характеристики катода задаются функцией зависимости поверхности катода от его габаритных размеров: h_x – по оси x , h_y – по оси y , h_z – по оси z , конфигурации катода Φ и массива координат узловых точек катода, однозначно определяющего расположение катода в пространстве ванны Ω : $S_{kj} = S_{kj}(h_{xj}, h_{yj}, h_{zj}, \Phi_j, \Omega_j)$.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ГАЛЬВАНОПОКРЫТИЙ

С.И. Тормасин, Ю.В. Литовка

Тамбовский государственный технический университет, topm.dahaka@mail.ru

Нами проведен анализ композиционных гальванопокрытий с нанокремневыми добавками, а именно с кремневыми нанотрубками (УНТ). Показано: соответствие наномодифицированных гальванопокрытий современным требованиям (причем с большим запасом), предъявляемым к гальванопокрытиям, а также необходимость оптимизации процесса получения наномодифицированных гальванопокрытий в связи с высокой стоимостью наноматериала. Предложен критерий оптимизации – равномерность покрытия и варьируемая переменная – концентрация УНТ в растворе электролита. Задача оптимизации процесса заключается в нахождении концентрации УНТ, при которой равномерность покрытия будет наилучшей.

Для вычисления степени равномерности толщины покрытия построена математическая модель процесса, включающая в себя уравнение Лапласа, закон Фарадея, а также закон Ома в дифференциальной форме:

$$\delta(x, y, z) = \eta \mathcal{E} / \rho \Delta t i_k(x, y, z), \quad i(x, y, z) = \chi \text{grad } \varphi(x, y, z),$$

$$\partial^2 \varphi / \partial x^2 + \partial^2 \varphi / \partial y^2 + \partial^2 \varphi / \partial z^2 = 0,$$

$$\partial \varphi / \partial n = 0, \quad \varphi + F_1(i_a) = U_a, \quad \varphi - F_2(i_k, C_{\text{УНТ}}) = 0,$$

где δ – толщина покрытия; η – катодный выход по току; \mathcal{E} – электрохимический эквивалент вещества; t – время; i – плотность тока в любой точке гальванической ванны с координатами (x, y, z) ; ρ – плотность металла покрытия; χ – электропроводность электролита; φ – потенциал электрического поля в любой точке гальванической ванны с координатами (x, y, z) ; n – нормаль к поверхности изолятора; U_a – напряжение на аноде; $C_{\text{УНТ}}$ – концентрация УНТ в электролите; $F_1(i_a)$, $F_2(i_k, C_{\text{УНТ}})$ – функции, определяемые аппроксимацией экспериментальных данных.

КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА "РАЗВОЗКА ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ ПО ТОРГОВЫМ ТОЧКАМ"

А.С. Кузнецов, А.В. Бородин

Московский государственный университет прикладной биотехнологии

Рассматривается задача оптимальной развозки готовой продукции крупного предприятия, имеющего ассортимент до 200 наименований, по торговым точкам крупного города собственным автомобильным транспортом различной вместимости и грузоподъемности с учетом нечетких ограничений на время доставки.

До настоящего времени подобные задачи решались способами, основанными на принципе районирования. В этом случае на предварительном этапе производится выделение районов – группы наиболее близко расположенных торговых точек, а затем последовательно определяются маршруты движения внутри районов и закрепления за ними транспортных средств. Очевидно, что полученное таким образом решение не является оптимальным.

Нами предлагается точная математическая модель, основанная на получении из исходной последовательности ZP всех торговых точек неизвестного числа последовательностей P_j номеров торговых точек, определяющих порядок передвижения j -го автомобиля, с неизвестной заранее длиной последовательности kp_j . В терминах последовательностей математическая модель имеет следующий вид.

Условие, что j -м автомобилем не будут обслужены торговые точки, относящиеся к другой последовательности: $P_j \in ZP$, $(P_j \cap ZP = P)$, $j = \overline{1, k}$.

Условие, что в одну торговую точку едет только один автомобиль $P_{j1} \cap P_{j2} = \emptyset$ для всех $j_1 \neq j_2$.

Условие, что все торговые точки будут обслужены: $\bigcup_{j=1}^{kp_j} P_j = ZP$.

Ограничение по грузоподъемностям автомобилей:

$$\sum_{l=1}^{kp_j} ZV(P_j(l)) \leq AV_j, \quad j = \overline{1, k},$$

где ZV_i – суммарный вес i -го заказа; AV_j – грузоподъемность j -го автомобиля.

Ограничение по тароместам автомобилей:

$$\sum_{l=1}^{kp_j} ZT(P_j(l)) \leq AT_j, \quad j = \overline{1, k},$$

где AT_j – количество таромест j -го автомобиля.

Время доставки в i -ю торговую точку заказа определяется нечетким диапазоном вблизи заданного T_i .

Целевая функция определяет минимум суммарной стоимости перевозок:

$$\sum_{j=1, P_j \neq \emptyset}^{kp} \left(ZRZ(P_j(1)) + ZRZ(P_j(kp_j)) + \sum_{l=1}^{kp_j-1} (ZR(P_j(l), P_j(l+1))) \right) AC_j \rightarrow \min,$$

где ZRZ_i – расстояние от предприятия до i -й торговой точки; AC_j – стоимость проезда 1 км на j -м автомобиле или другая функция издержек.

Нами рассмотрен способ сведения предложенной сложной комбинаторной модели к задаче линейного программирования с булевыми переменными. Размерность полученной модели может достигать 200 000 переменных, что при использовании неспециализированных компьютеров, находящихся в распоряжении большинства предприятий, приводит к невозможности получения решения за "разумное" время.

В связи с этим разработаны эвристический метод, алгоритм и программа для решения задачи за "разумное" время, основанные на использовании генетических алгоритмов [1].

Генетический алгоритм – это алгоритм, который позволяет найти удовлетворительное решение аналитически неразрешимых или сложно решаемых задач через последовательный подбор и комбинирование искомым параметров с использованием механизмов, напоминающих биологическую эволюцию.

Шаг алгоритма состоит из трех основных стадий:

- генерация промежуточной популяции путем отбора текущего поколения (генерирование нескольких полных последовательностей объезда не обслуженных торговых точек);
- скрещивание особей промежуточной популяции путем кроссовера, что приводит к формированию нового поколения (попарное смешивание полученных последовательностей);
- мутация нового поколения (внесение нескольких случайных изменений в полученные путем смешивания последовательности.)

Использование обобщенной математической модели для задачи развозки готовой продукции, а также разработанного алгоритма с применением генетических методов позволяет решать данную задачу за несколько секунд. При этом значение целевой функции (для варианта минимального суммарного пробега) на модельном примере (106 торговых точек, 30 автомобилей) уменьшилось на 107 % по сравнению с оптимальным планом, рассчитанным методом районирования.

1. Гладков, Л.А. Генетические алгоритмы / Л.А. Гладков, В.В. Курейчик, В.М. Курейчик. – М. : Физматлит, 2006.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФЕРМЕНТОЛИЗА ГЛЮТЕНА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ РОСТОВОГО СУБСТРАТА В ПРОЦЕССАХ ФЕРМЕНТАЦИИ

Н.В. Федотова, В.В. Бирюков, А.Н. Поляков

Московский государственный университет инженерной экологии,
Zubov@msuie.ru

При создании питательных сред для культивирования микроорганизмов используются источники углерода и органического азота (ростовой фактор). Одним из наиболее распространенных источников углерода служит крахмал пшеницы мягких сортов. Побочный продукт при выделении крахмала – зерновой белок глютен, который после сушки используется как кормовой продукт. В ряде случаев целесообразнее обрабатывать глютен ферментным препаратом и использовать гидролизат в качестве источника органического азота для культивирования микроорганизмов (ростового фактора).

В данной работе проверена возможность применения ферментативного гидролизата глютена как источника аминного азота в процессах ферментации.

В качестве базовой технологии переработки зерна используется измельчение зерна во влажном состоянии с помощью роторно-пульсационного аппарата. **Полученная суспензия содержит крахмал, глютен и зерновые оболочки, разделяемые с помощью центробежного сепаратора. Промытую от крахмала фракцию глютена разводят дистиллированной водой до 26 – 28 %, вносят в него протеолитический фермент** и доводят величину pH до заданного значения 6,5 – 9,5. Процесс гидролиза проводят при температуре 60 °С с перемешиванием. Колбы с ферментололизатом анализируют на содержание аминного азота нингидриновым методом, содержание белка методом Лоури [1], количественное и качественное содержание аминокислот с помощью тонкослойной хроматографии.

Для подбора оптимальных параметров ферментололиза используется схема планирования эксперимента – ортогональный латинский прямоугольник с получением аддитивно-решетчатого математического описания процесса ферментололиза [2]. Перед началом опыта определяют также начальную концентрацию белка в средах методом Лоури.

Для оптимизации условий ферментололиза изменяют три фактора: концентрацию фермента, величину pH суспензии и время проведения ферментололиза.

В качестве критерия оптимальности ферментололиза выбрана концентрация лейцина – одной из наиболее значимых аминокислот в процессах биосинтеза. Концентрацию лейцина определяют методом тонкослойной хроматографии.

Для каждого из факторов выбраны 4 уровня варьирования и составлен план эксперимента для 3 факторов на 4 уровнях (концентрация фермента: 1,4, 2,1, 2,8, 5; уровень pH: 6,5, 7,5, 8,5, 9,5; время ферментололиза: 0,5, 1, 1,5, 2 часа).

Определены субоптимальные условия процесса с соответствующими концентрациями: концентрация фермента – 2,1 – 2,8 МЕ/г белка; величина pH – 8,5; время ферментололиза – 2 часа и более.

При концентрации фермента 2,5 МЕ/г белка содержание лейцина более 3,5 г/л при оптимальном pH, а с увеличением концентрации до 5 МЕ/г прирост аминокислоты сравнительно невелик (до 5,5 г/л). Учитывая дороговизну препарата, следует принять субоптимальную концентрацию 2,5 МЕ/г.

Кроме экспериментов по оценке глубины ферментололиза проведены специальные эксперименты по биосинтезу аминокислоты лизина с использованием ферментололизата глютена, полученного в субоптимальном режиме в качестве ростового фактора. В результате экспериментов показано, что концентрация лизина на среде с ферментололизатом глютена через 72 часа ферментации на 10 – 15 % выше, чем на среде с кукурузным экстрактом. Полученный результат говорит о том, что ферментативный гидролизат глютена, полученный по описанной технологии, может быть использован в качестве ростового фактора в процессе ферментации.

1. Бирюков, В.В. Основы промышленной биотехнологии / В.В. Бирюков. – М. : Колос, Химия, 2004.

2. Грачева, И.М. Технология микробных белковых препаратов, аминокислот и жиров / И.М. Грачева. – М. : Пищевая промышленность, 1980.

ВЫБОР КРИТЕРИЯ ОПТИМАЛЬНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

П.В. Плехов

Березниковский филиал ПермГТУ, onim@rambler.ru

Условием эффективной эксплуатации оборудования химико-технологического предприятия в штатном режиме является своевременный и качественный ремонт. Ремонт – это комплекс мероприятий по восстановлению исправного или работоспособного состояния изделия и восстановлению ресурсов изделия и их составных частей.

По ряду признаков различают несколько видов ремонтов:

1. По степени восстановления ресурса ремонт может быть капитальным или текущим. Капитальный ремонт выполняется для восстановления исправности и полного или близкого к полному восстановления ресурса. Текущий ремонт выполняется для обеспечения или восстановления работоспособности изделия.

2. По плановости выполнения различают плановый и неплановый ремонты. Начало планового ремонта определяется в соответствии с нормативно-технической документацией. Неплановый ремонт проводится с целью устранения последствий отказов и происшествий.

Заводы в течение многих лет применяют разработанную систему планово-предупредительного ремонта, т.е. совокупность различного вида работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования, определяемых по времени и по объему соответствующей технической документацией; фактическое состояние оборудования при этом не учитывается. Создается ситуация, в которой владельцы оборудования вынуждены проводить ремонты независимо от их необходимости и экономического эффекта от последствий ремонтов.

Более совершенной системой проведения ремонтов является ремонт по фактическому состоянию (РФС). Данная технология основана на том, что все работы по ремонту и наладке производятся в зависимости от реального текущего технического состояния оборудования, контролируемого в процессе эксплуатации без каких-либо разборок и ревизий на базе измерения соответствующих параметров [1].

Нами ставится задача создания системы ремонтов, основанной на эффективности выполнения ремонта в конкретный момент времени.

Для управления техническим обслуживанием и ремонтом (ТОиР) нужен определенный критерий, который будет влиять на предприятие в целом. Можно предложить несколько критериев для управления ремонтными циклами: экономический (K_1), экологический (K_2), имиджевый (K_3). Тогда обобщенным критерием эффективности можно считать их линейную комбинацию: $K = \alpha_1 K_1 + \alpha_2 K_2 + \alpha_3 K_3$, где $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – некоторые коэффициенты, приводящие K_i к единой размерности и характеризующие важность K_i в обобщенном критерии, $i = \overline{1, 3}$, $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1$.

Экономический критерий, в самом простом случае, может быть выражен в виде $K_1 = V - I$, где K_1 – прибыль, V – выручка, I – издержки. Соответственно, прибыль может быть увеличена за счет увеличения выручки (например, за счет увеличения объема продаж) или снижения издержек (например, снижение ТСО предприятия в целом). Определение экономических показателей в режиме, приближенному к реальному времени, возможно при наличии на предприятии ERP-системы управления, что актуально для многих крупных предприятий.

Экологический критерий должен охватывать все уровни взаимодействия предприятия с окружающей средой – от локального до глобального – и базируется на оценке разных аспектов m экологической опасности l отдельных промышленных объектов. Если в качестве составляющей критерия рассматривать оценку вероятности нежелательного независимого события K_{2i} , то

$$K_{2i} = \sum_{l=1}^L \left(\beta_l \prod_{m=1}^{M_l} K_{2i,l,m} \right),$$

где M_l – рассматриваемое количество аспектов для i -го показателя; L – количество объектов; β_l – коэффициент, учитывающий опасность последствий вероятных аварий.

Имиджевый критерий. Имидж предприятия – устойчивое представление клиентов, партнеров и общественности о престиже предприятия, качестве его товара и услуг, репутации руководителей. Имидж является средством, способствующим достижению основных целей организации. В этом смысле можно определить положительный имидж как повышающий вероятность сделки с клиентом на более выгодных для предприятия условиях, а отрицательный – снижающий эту вероятность. Имидж предприятия оценивается комбинацией экспертных оценок: надежность предприятия, уровень престижности предприятия, представления партнеров о заявленной миссии и стратегиях предприятия, информационная открытость предприятия, законопослушность предприятия, соблюдение предприятием экологических стандартов.

Имиджевый критерий K_3 представляет собой формализованную нормированную оценку:

$$K_3 = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n b_{ij},$$

где $b_{ij} \in [-B, B]$ – балльная оценка j -го эксперта степени соответствия i -го параметра позитивному имиджу; n – количество экспертов; m – число рассматриваемых параметров; B – предел изменения экспертной оценки [2].

Комплексный учет $\{K_1, K_2, K_3\}$ с экспертной оценкой $\{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3\}$ позволяет рационализировать управление ТОиР для повышения эффективности деятельности предприятия.

1. <http://www.vdmk.com/information/actualstate.htm>.
2. <http://www.cfin.ru/press/marketing/2001-3/12.shtml>.

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЯ О РЕМОНТЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

М.В. Беккер

Березниковский филиал ПермГТУ, mbekker@bk.ru

В настоящее время общепризнано преимущество ремонта технологического оборудования по его техническому состоянию перед традиционно сложившейся в нашей стране системой планово-предупредительных ремонтов (ППР). Технология ремонтов оборудования по состоянию основана на том, что все работы по ремонту и наладке производятся в зависимости от реального текущего технического состояния механизма, контролируемого в процессе эксплуатации на базе измерения соответствующих параметров. Такая технология позволяет сократить эксплуатационные расходы, существенно повысить ресурс и надежность оборудования, однако для ее внедрения необходимо отсутствующее в настоящее время на заводах достаточно точное приборное и методическое обеспечение для мониторинга технического состояния.

Как показывает практика эксплуатации информационной системы управления техническим обслуживанием и ремонтом технологического оборудования (ТОиР) на ОАО "Березниковский содовый завод", одним из наиболее ответственных из принимаемых решений является выбор альтернативы: замена аппарата на новый или капитальный ремонт старого аппарата. Решение зависит от его технического состояния, наличия финансовых, технических, трудовых и других ресурсов [1].

Ввиду отсутствия точной информации о состоянии оборудования применим стоимостный подход. При этом величину коэффициента физического износа $K_{из}$, характеризующего состояние агрегата, из-за отсутствия других методов будем рассчитывать по формуле, рекомендуемой для применения при оценке стоимости основных средств в машиностроении [2]: $K_{из} = (0,208 - 0,0034 B) T^{0,7}$, где B – оценка технического состояния агрегата по 50-балльной шкале, T – хронологический возраст станка в годах.

По величине найденного таким образом коэффициента физического износа $K_{из}$ рассчитывается остаточная стоимость на момент принятия решения для текущего технического состояния (в баллах), а также оценивается стоимость агрегата после капитального ремонта в хорошем состоянии (50 баллов). Экономический результат капитального ремонта будет равен разности между стоимостью агрегата после и до капитального ремонта.

Затем оценивается рентабельность капитального ремонта сопоставлением его экономического результата с затратами на выполнение ремонта.

Сумма затрат на капитальный ремонт включает статьи затрат:

- 1) материалы и запасные части;
- 2) технологическая электроэнергия и газ (на сварку, резку, пайку, термообработку и т.п.);
- 3) заработная плата ремонтного персонала с начислениями;

4) косвенные (накладные) расходы и скалькулирована с использованием нормативов затрат, предусмотренных в традиционной системе ППР.

Практически все нормативы этой системы относятся к единой базе – единице ремонтной сложности (ЕРС). Каждой модели оборудования присваивается категория ремонтосложности, которая измеряется количеством единиц ремонтной сложности (ЕРС). При этом различают категории ремонтосложности механической (МЧ) и электрической части (ЭЧ) оборудования. Для оценки категории ремонтосложности МЧ в качестве эталона принята ремонтосложность токарно-винторезного станка с диаметром обрабатываемого изделия до 400 мм и межцентровым расстоянием 1000 мм. Этот эталон имеет ремонтосложность, равную 11 ЕРС МЧ. Единица ремонтосложности электрической части (ЕРС ЭЧ) – это ремонтосложность условной машины, трудоемкость капитального ремонта ЭЧ которой равна 12,5 нормо-часам.

Для расчета себестоимости капитального ремонта используют следующие основные нормативы:

1) нормы расхода материалов в килограммах на одну ЕРС МЧ и отдельно на одну ЕРС ЭЧ. Эти нормы установлены дифференцированно по расходу металлов, труб, метизов, резинотехнических изделий, химикатов, краски, комплектующих изделий, смазочных и обтирочных материалов;

2) нормы затрат на комплектующие изделия на одну ЕРС МЧ в рублях. Эти нормы, к сожалению, быстро устаревают и поэтому нуждаются в регулярной индексации с учетом динамики цен на комплектующие изделия;

3) нормативы трудоемкости разных видов ремонта и работ в нормо-часах на одну ЕРС МЧ и ЕРС ЭЧ. Так, общая трудоемкость капитального ремонта, приходящаяся на одну ЕРС МЧ, равна 50 нормо-часам и, соответственно, приходящаяся на одну ЕРС ЭЧ, равна 12,5 нормо-часам.

В сравнении с покупкой нового оборудования капитальный ремонт обойдется дешевле, если стоимость этого ремонта меньше стоимости нового оборудования за вычетом выручки от продажи старого оборудования, нуждающегося в капитальном ремонте. Таким образом, оценка стоимости оборудования до и после капитального ремонта в сопоставлении с затратами на его проведение делает возможным принять обоснованное управленческое решение в отношении каждой конкретной единицы оборудования.

Нами выполнены примеры принятия решения о проведении капитального ремонта используемого в производстве кальцинированной соды на ОАО "Березниковский содовый завод" насосного агрегата Х100-80-160КДФ выпуска 2005 года с электродвигателем мощностью 22 кВт стоимостью приобретения 7385 тыс. р. при различных его технических состояниях, оцениваемых 20 и 40 баллами. Показано, что в первом случае капитальный ремонт экономически выгоден, а во втором случае выгоднее демонтировать старый агрегат, приобрести и смонтировать новый, а старый агрегат реализовать по остаточной стоимости (или утилизационной стоимости при невозможности его реализации).

1. Затонский, А.В. Автоматизация и управление техническим обслуживанием и ремонтом технологического оборудования / А.В. Затонский, В.Ф. Беккер, И.В. Панасюк // Наука в решении проблем Верхнекамского промышленного региона. – Березники, 2006. – Вып. 5. – С. 163 – 171.

2. Оборудование: рынок, предложение, цены. – 2000. – № 3.

ОПТИМИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ СУШКИ МАКАРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ В ЖАЛЮЗИЙНЫХ СУШИЛКАХ

А.И. Никитин, С.Н. Никоноров, Г.И. Старшов, В.Н. Сопляченко

Энгельсский технологический институт СГТУ, mpp@techn.sstu.ru

В настоящее время являются актуальными разработка, оптимизация и автоматизация технологического процесса сушки макаронных изделий с использованием ресурсосберегающих режимов, позволяющих получать высококачественные изделия всех видов.

При сушке макаронных изделий, особенно на малых предприятиях, существует необходимость в простой, но достаточно общей математической модели, на которой базируется эффективная система управления процессом сушки, позволяющая сократить удельные энергетические и материальные затраты при производстве изделий.

Целью нашей работы является изучение технологических режимов сушки макаронных изделий при различном сочетании управляющих воздействий и коррекция режимов в зависимости от изменения конечной влажности изделий.

Известные модели сушки оказались не адекватными по различным причинам. Однако главная проблема заключалась в трудностях измерения необходимых параметров, таких как начальное и конечное содержание влажности продукта, влажность сушильной среды и др.

На основании серии предварительных экспериментов нами составлена структурная схема процесса сушки с зависимостью выходных параметров от управляющих воздействий для каждой зоны жалюзийной сушилки (рис. 1).

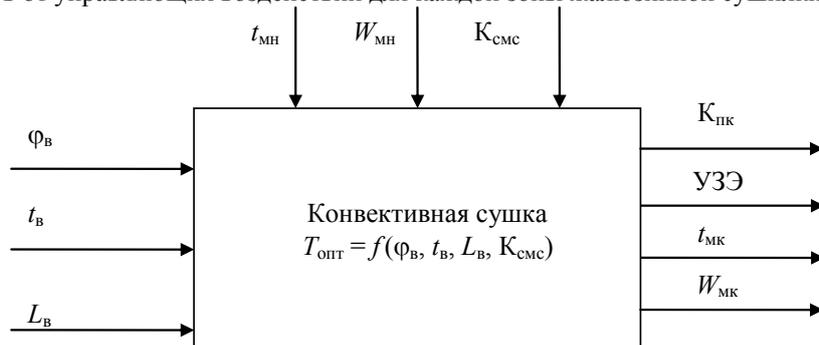


Рис. 1. Структурная схема процесса сушки

Во всех зонах сушилки в качестве контролируемых параметров [1] целесообразно использовать комплексный показатель качества ($K_{ПК}$) макаронных изделий и удельные затраты энергии (УЗЭ) на проведение этапа. Причем для каждой зоны необходимо получать низкие удельные затраты, а комплексный показатель качества должен увеличиваться от зоны к зоне таким образом, чтобы после прохождения последней достигнуть максимального значения. С целью определения оптимального времени проведения сушки ($T_{опт}$) контролируется также комплексный параметр структурно-механических свойств ($K_{смс}$).

В результате конвективной сушки в каждой зоне жалюзийной сушилки происходит высушивание изделий до определенной влажности ($W_{мк}$). В качестве управляющих воздействий целесообразно использовать температуру (t_v), относительную влажность сушильного воздуха (ϕ_v) и расход воздуха (L_v), а в качестве управляемого параметра целесообразно применять изменение комплексного параметра структурно-механических свойств ($K_{смс}$).

На основе полученных оптимальных значений параметров технологических режимов разработан следующий алгоритм управления процессом сушки, представленный на рис. 2.

Алгоритм предусматривает управление процессом сушки для отдельно взятой зоны жалюзийной сушилки. При этом в каждой зоне производится проверка принадлежности управляющих параметров оптимальной области управления. Управление по данному алгоритму производится непрерывно. Задачу управления процессом сушки макаронных изделий можно рассматривать как поддержание управляющих параметров в оптимальной области. На основании разработанного нами алгоритма управления процессом сушки и результатов проведенной оптимизации процесса сушки макаронных изделий предложена и реализована автоматизированная система управления (АСУ), подробно описанная в [2].

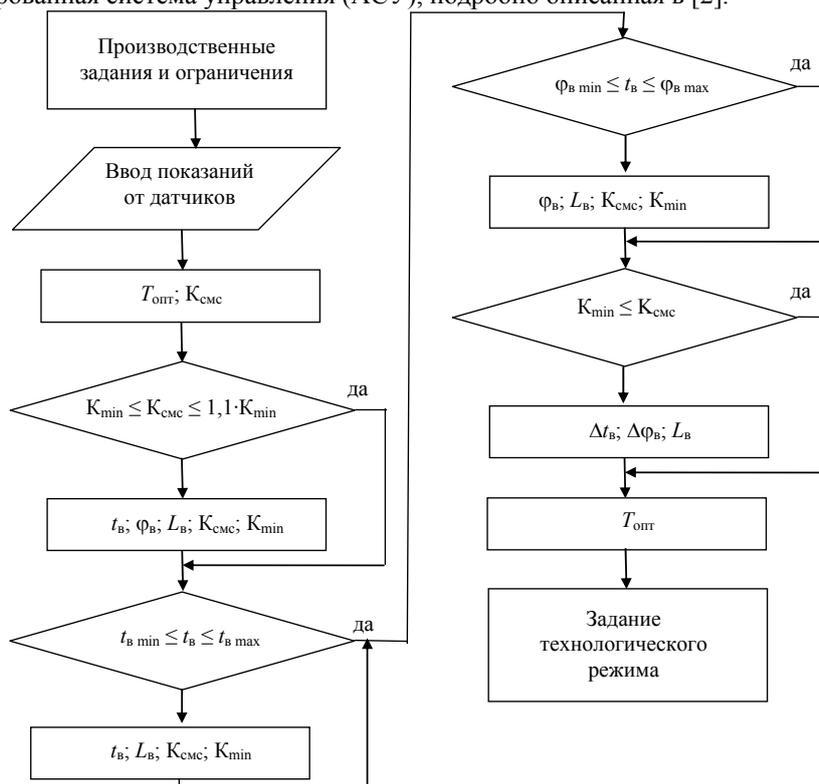


Рис. 2. Алгоритм управления процессом сушки в жалюзийной сушилке для отдельно взятой зоны

Эта АСУ обладает повышенной надежностью работы в реальных условиях эксплуатации, обеспечивает непрерывный режим функционирования и может быть использована для различных линий по производству высококачественных макаронных изделий.

1. Малышкина, В.А. Оптимальное управление процессом сушки макаронных изделий : дис. ... канд. техн. наук / В.А. Малышкина. – Оренбург, 2005. – 180 с.
2. Автоматизированная система контроля и управления линией для производства высококачественных макаронных изделий / В.М. Седелкин, А.И. Никитин, В.Н. Сопляченко, Ю.Д. Колясев // Информационные технологии в образовании : сб. материалов Межвуз. науч.-метод. конф. / СГТУ. – Саратов, 2000. – С. 156 – 157.

ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАДЕРЖЕК АВТОМОБИЛЕЙ НА РЕГУЛИРУЕМОМ ПЕРЕКРЕСТКЕ

Н.А. Наумова, Л.М. Данович, В.Н. Савин, А.С. Гавриленко

Кубанский государственный технологический университет, dlm59@mail.ru

Последние годы в крупных городах с большим числом дорожных перекрестков, оборудованных светофорами, заметно обострилась проблема задержек автомобилей на пересечениях улиц, способствующая возникновению транспортных "пробок" и снижению скорости средств передвижения. Отсюда возникает актуальная задача минимизации средних задержек транспортных средств на регулируемых перекрестках.

Согласно экспериментальным данным с достаточной степенью точности можно считать, что интервалы по времени между автомобилями на каждой полосе дороги распределены по закону Эрланга второго порядка. Под задержкой на перекрестке будем понимать время, затраченное автомобилем на ожидание возможности продолжить движение в нужном направлении. В качестве критерия оптимизации организации движения на перекрестке можно выбрать, например, один из следующих: средняя задержка одного автомобиля, совершающего движение в данном направлении; средняя задержка одного автомобиля на данном перекрестке (вне зависимости от направления движения); средняя часовая задержка всех автомобилей, совершающих движение в данном направлении; средняя часовая задержка всех автомобилей на перекрестке (вне зависимости от направления движения).

При фиксированных интенсивностях движения на каждой полосе в каждом направлении движения уменьшить величину задержки можно за счет выбора оптимальной длины цикла регулирования.

Введем следующие обозначения: $(\lambda_1)_i$ – параметр Эрланга для i -й полосы дороги № 1; $(\lambda_2)_i$ – параметр Эрланга для i -й полосы дороги № 2; T_1 – время, в течение которого запрещено движение на дороге № 1; T_2 – время, в течение которого запрещено движение на дороге № 2; T – длина цикла регулирования; $h = 1,5$ – константа, интервал (с) между отбывающими с перекрестка автомобилями; $\lambda = (Nk/3600) = N/1800$ авт/с – параметр распределения Эрланга (N авт/ч – интенсивность на данной полосе движения); $\lambda_1 = \max\{(\lambda_1)_i\}$; $\lambda_2 = \max\{(\lambda_2)_i\}$.

Если считать, что $T_2 = N_2 T_1 / N_1$, а $T = T_1 + T_2$, то оптимальное значение величины T_1 является решением системы неравенств: $H_{\lambda_1}(T) \leq T_2 / h$, $H_{\lambda_2}(T) \leq T_1 / h$, где $H_{\lambda}(t) = \lambda t / 2 - 1/4 + e^{-2\lambda t} / 4$.

В этом случае на перекрестке не образуется затор, и автомобили не задерживаются около него дольше одного цикла. Тогда средняя задержка у перекрестка за один цикл регулирования всех автомобилей, совершающих движение по одной полосе, равна:

$$W(T_i, \lambda) = \int_0^{T_i} H_{\lambda}(t) dt = \lambda T_i^2 / 4 - T_i / 4 - e^{-2\lambda T_i} / 8\lambda + 1/8\lambda, \quad i \in \{1; 2\}.$$

Средняя задержка за один цикл регулирования одного автомобиля, совершающего движение по одной полосе дороги:

$$T_{cp} = W(T_i, \lambda) / H_{\lambda}(T).$$

Средняя суммарная задержка (авт-ч) за один час календарного времени всех автомобилей на данном регулируемом перекрестке:

$$\left(T_{\Sigma} \right)_p = \left(\sum_{i=1}^{n_1} W(T_1, (\lambda_1)_i) + \sum_{i=1}^{n_2} W(T_2, (\lambda_2)_i) \right) / (T_1 + T_2),$$

где n_1 и n_2 – число полос на дорогах № 1 и № 2.

Для вычисления всех указанных характеристик качества организации движения на перекрестке авторами разработана компьютерная программа в среде Delphi 7.

Минимизация задержек автотранспортных средств на отдельном перекрестке позволит выбрать оптимальный способ организации движения по улично-дорожной сети в целом.

ФАКТОРЫ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА КОРМОВОЙ СМЕСИ ДЛЯ РЫБ ОСЕТРОВЫХ ПОРОД

Мибуро Закари

Астраханский государственный технический университет, zacharym@mail.ru

Рыба нуждается в комбинированном корме с необходимой калорийностью, чтобы получать требуемую организму энергию. Различают следующие виды энергии:

- 1) валовая энергия – общее количество энергии, содержащейся в корме;
- 2) обменная энергия – используемая в различных целях: как обмен веществ, тепло и т.п.;
- 3) полезная энергия – используемая для движения, поддержания жизнедеятельности и других важных процессов, протекающих в организме рыбы;
- 4) энергия роста (энергия пластического обмена) – разность между перевариваемой и обменной энергией;
- 5) энергия генеративного обмена – величина энергии, используемой организмом на формирование половой системы в целом и половых продуктов в частности.

Для синтеза кормовой смеси важно учитывать калорийность каждого компонента, входящего в ее состав. Белки необходимы для роста, жиры – для энергии. Таким образом, энергетическая ценность корма определяется суммой калорий питательных веществ (белки, жиры, углеводы), входящих в его состав [1].

Для синтеза полноценной кормовой смеси для рыб осетровых пород необходимо иметь большое количество источников питательных элементов. Корм сбалансирован, если он содержит следующие группы компонентов [1]: белки, жиры, углеводы, витамины, минеральные вещества, микроэлементы.

В природе не существует однокомпонентного корма, содержащего все необходимые питательные элементы, поэтому процесс синтеза полноценного корма из различных питательных элементов является актуальной научной задачей.

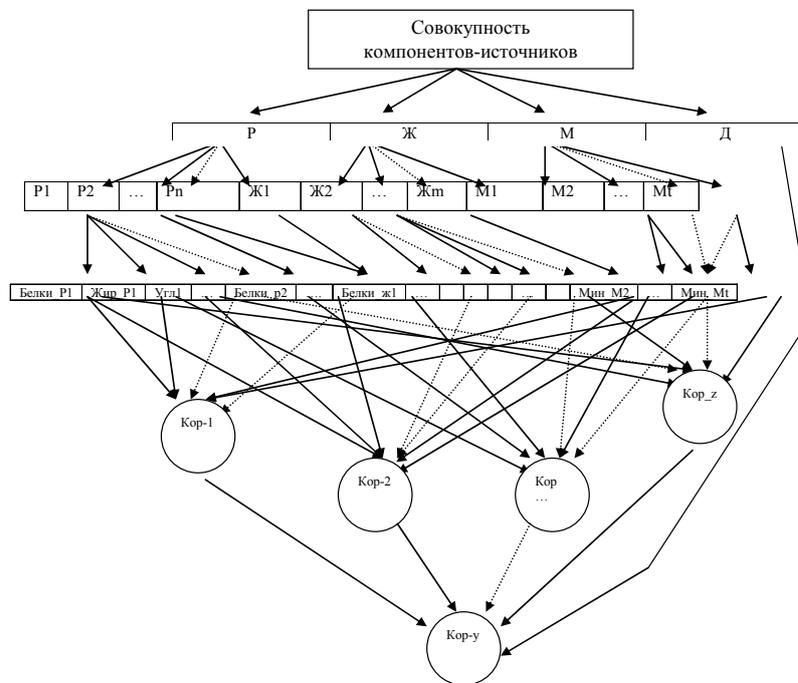


Рис. 1. Диаграмма синтеза кормовой смеси для рыб осетровых пород:

Р, Ж, М – компоненты растительного и животного происхождения и микробиологического синтеза; Д – добавки;
Кор-1 – кор_z – варианты кормовой смеси;

Кор-у – вариант кормовой смеси, удовлетворяющий требованиям ЛПР

На основании требования ЛПР (лицо принимающее решение) формируются разные альтернативы кормовой смеси по схеме, представленной на рис. 1, и непосредственно выбирается тот вариант, который удовлетворяет заранее заданным требованиям ЛПР. Процесс выбора осуществляется по трем критериям:

- 1) содержание в корме белков, жиров, углеводов, что в сумме рассматривается как калорийность корма;
- 2) содержание в корме витаминов, минеральных веществ и микроэлементов;
- 3) стоимость корма, т.е. суммарная стоимость всех компонентов.

После определения калорийности, полезности и стоимости каждой альтернативы корма ЛПР выбирает наилучшую согласно методике [2].

С целью обеспечения синтеза смесей оптимального состава будет разработана система поддержки принятия решений, которая позволит формировать несколько вариантов решения, из которых эксперт выберет наилучший.

1. Пономарев, С.В. Индустриальная аквакультура / С.В. Пономарев, Ю.Н. Грозеску, А.А. Бахарева. – Астрахань : Изд. ИП Грицай Р.В., 2006. – 312 с.

2. Квятковская, И.Ю. Теория принятия решений : метод. пособие / И.Ю. Квятковская. – Астрахань : Изд-во "ЦНТЭП", 2002. – 100 с.

РАСЧЕТ ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ КАМЕРНОЙ СУШИЛКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

Д.А. Хамидуллина, С.Г. Кондрашева, В.А. Лашков, Л.Г. Голубев

Казанский государственный технологический университет, lashkov_dm@kstu.ru

Значительная часть промышленных теплоиспользующих установок состоит из агрегатов, в которых протекают процессы, связанные с переносом вещества, энергии и количества движения. Несмотря на различие конструкций и конфигураций установок существует единый методологический подход к их расчету.

В данной работе выполняется анализ процесса сушки пиломатериалов и разработка методов расчета эффективности использования потребляемой в них энергии.

Наиболее перспективен эксергетический метод термодинамического анализа реальных теплоиспользующих систем. Одно из основных достоинств этого метода состоит в том, что он позволяет судить о степени совершенства процессов, протекающих внутри установки, по внешней характеристике – разности эксергии на входе и выходе аппарата.

Методика расчета дала возможность определить внешние эксергетические потери и места их проявления. В основу расчета эксергетических потерь в элементах исследуемой установки положена формула Гюи – Стодолы.

Применительно к сушке сосновых пиломатериалов в течение 84,5 часов, с нагревом сушильного агента паровым калорифером получены следующие результаты расчета: эксергия сушильного агента на входе в сушилку – $e'_{cf} = 9,54 \text{ кДж/м}^3$, на выходе из сушилки – $e'_{ca} = 0,58 \text{ кДж/м}^3$; эксергия, отданная сушильным агентом пиломатериалам в течение всего периода сушки

$\Delta E_{ca} = G_{ca}(e'_{ca} - e'_{ca})\tau = 3,56 \cdot 10^7 \text{ кДж}$; затраты эксергии: на испарение – $\Delta E_{под} = G_{в.л.в}[h_n - h_k - T_0(S_n - S_k)] = 1,8 \cdot 10^5 \text{ кДж}$; на нагрев камеры – $\Delta E_k = G_k[c_k(t - t_0) - T_0 c_k \ln(T'/T_0)] = 2,8 \cdot 10^5 \text{ кДж}$; на нагрев материала – $\Delta E_m = G_m[c_m(t'_m - t'_m) - T_0 c_m \ln(T''_m/T'_m)] = 8,0 \cdot 10^4 \text{ кДж}$; потери эксергии в процессе смешения паров влаги с сушильным агентом – $\Delta E_{см} = T_0 \Delta S_{см} G_{ca}(1 + X_2'')\tau = 24,0 \cdot 10^5 \text{ кДж}$; потери, обусловленные необратимостью тепло- и массо-

обмена – $\Delta E_{т.о} = \Delta E_{са} - (\Delta E_{пол} + \Delta E_{м} + \Delta E_{к} + \Delta E_{см}) = 8,5 \cdot 10^6$ кДж; потери эксергии в калорифере на стадии подготовки сушильного агента определяются разностью эксергий, отданной водяным паром и полученной сушильным агентом (воздухом) – $\Delta E_{кал} = \Delta E_{п} - \Delta E_{са} = 8302,43$ кДж.

Потери эксергии в вентиляторе: эксергия воздуха, поступающего в вентилятор из окружающей среды, равна нулю; к вентилятору подводится мощность N , часть из которой, равная $N\eta$ (где η – КПД вентилятора), идет на повышение давление воздуха и, следовательно, на увеличение его эксергии; следовательно $\Delta E_{в}^w = 3600N\eta = 8302,43$ кДж.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ В УСТАНОВКАХ КАМЕРНОГО ТИПА

Д.А. Хамидуллина, С.Г. Кондрашева, В.А. Лашков

Казанский государственный технологический университет, lashkov_dm@kstu.ru

Сушка пиломатериалов – один из длительных и энергоемких процессов, поэтому поиск более совершенных конструкций сушилок и оптимальных режимов проведения процесса на сегодняшний день является актуальной задачей.

Целью настоящей работы является разработка рациональной конструкции конвективной сушилки камерного типа, которые широко применяются в деревообрабатывающей промышленности.

Для определения продолжительности сушки пиломатериалов конвективным способом используется формула [1]: $\tau = \tau_{исх} A_p A_b A_k A_{ц}$, где $\tau_{исх}$ – исходная продолжительность сушки пиломатериалов различных сечений; A_p – коэффициент режима сушки; A_b – коэффициент, зависящий от влажности; A_k – коэффициент качества, учитывающий длительность влаготеплообработки древесины; $A_{ц}$ – коэффициент, учитывающий характер и интенсивность циркуляции воздуха в камере.

Анализ формулы позволяет сделать вывод о том, что на продолжительность сушки влияет аэродинамическая обстановка в камере. Исследования, проведенные с учетом этого факта на существующих сушилках, выявили следующие недостатки: наличие застойных зон, неравномерность обтекания штабеля пиломатериалов теплоносителем, низкую интенсивность циркуляции теплоносителя. В данных условиях продолжительность сушки сосновых пиломатериалов толщиной 50 мм и шириной 180 мм составляет 84,5 ч, а дубовых – 502,8 ч.

Для сокращения продолжительности сушки при сохранении качественных характеристик древесины разработана (рис. 1) сушилка [2] с поперечным обтеканием штабеля пиломатериалов нагретым воздухом. Сушильная камера по длине разделена на поперечные изолированные циркуляционные каналы, в каждом из которых размещены осевые вентиляторы, кинематически связанные с реверсивным электродвигателем. При взаимодействии сушильного агента с пиломатериалами древесины нагревается и из нее испаряется влага. Поскольку ширина штабеля

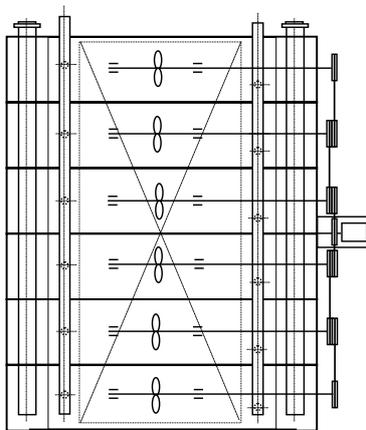


Рис. 1. Установка для сушки пиломатериалов

пиломатериалов намного меньше его длины, организованное поперечное движение сушильного агента способствует проведению процесса с наименьшими градиентами температуры в направлении движения воздуха. Для выравнивания профиля температуры по ширине штабеля периодически изменяют направление движения сушильного агента на обратное. Установка является универсальной, т.е. может использоваться для сушки пиломатериалов различных пород и штабелей различной длины.

1. Кречетов, И.В. Сушка древесины / И.В. Кречетов. – М. : Лесная промышленность, 1980. – 432 с.
2. Положительное решение по заявке № 2006139461 от 26.11.2007, МПК F 26 В 9/06. Установка для сушки древесины / В.А. Лашков, С.Г. Кондрашева и др.

УНИВЕРСАЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЭЛЕКТРООБРАБОТКИ ЖИДКИХ СРЕД

В.В. Кирьянов

Березниковский филиал ПермГТУ, kvas@bf.pstu.ac.ru

Для исследования воздействий электрического тока на водно-солевые системы требуется устройство, способное выдавать на электроды импульсы в форме прямоугольной волны амплитудой до 150 В с изменяемым периодом от 0,01 до 10 с, скважностью от 0,01 до 0,99 при нагрузках по току до 100 А.

На две электродные группы, помещенные в находящуюся в одном или двух (А и Б) сосудах обрабатываемую электрическим током жидкость, подаются постоянные потенциалы.

В процессе обработки устройство сообщает жидкой среде значительную энергию, влияющую на такие параметры среды, как плотность, предельное содержание растворенных веществ и прочие. Эта энергия может частично рекуперироваться обработкой второй порции жидкости в дополнительном сосуде Б. Устройство подключено к сети 220 В через автотрансформатор с выпрямительным мостом. Оно имеет шесть контактов для подключения внешних цепей тока: два входных контакта (плюс и минус питания) и две пары выходных контактов (первые и вторые группы электродов, соответственно в сосудах А и Б). Устройство имеет два режима: "Программирование" и "Работа", и включает в себя микроконтроллерный блок, блок управления ключами, блок коммутации нагрузок.

Выбор режимов работы осуществляется с передней панели при помощи стандартного двухпозиционного тумблера. В первом режиме устройство отключает все группы электродов от напряжения питания и позволяет ПЭВМ работать с содержимым энергонезависимой памяти микроконтроллера, считывая или изменяя ее значения через последовательный интерфейс RS-232. Подключение к ПЭВМ осуществляется трехпроводным нуль-модемным кабелем. Во втором режиме устройство коммутирует группы электродов по заданной программе. Минимальное число коммутирующих элементов, обеспечивающих все необходимые комбинации подключения групп электродов 1А, 2А, 1Б, 2Б к источнику постоянного напряжения – шесть, столько коммутирующих элементов и содержится в блоке коммутации нагрузок, каждый из которых представляет собой одностороннюю текстолитовую плату с одним или несколькими ключевыми элементами, выполненными на транзисторах типа IGBT. На одном коммутирующем элементе может содержаться до шести транзисторов, каждый из которых способен коммутировать постоянный ток до 18 А. Текстолитовые платы расположены вертикально для обеспечения конвективного самоохлаждения ключевых элементов без принудительной вентиляции. Все шесть коммутирующих элементов соединены между собой и с внешними контактными группами отрезками многожильного медного провода.

Управление коммутирующими элементами осуществляется подачей сигналов с блока управления ключами. Этот блок представляет собой шесть (по числу управляемых им коммутирующих элементов) формирователей усиленного сигнала с взаимной гальванической развязкой через независимые отдельные обмотки питающего трансформатора и развязкой от микроконтроллерного блока на оптронах. Микроконтроллерный блок выполнен на базе стандартного контроллера серии PIC16 с постоянной памятью, хранящей рабочую программу, и энергонезависимой оперативной памятью объемом 128 байт, хранящей команды управляющей программы. В режиме "Работа" на управляющих выводах микроконтроллерного блока формируются восемь сигналов, поступающих в блок управления ключами. В качестве источника внешних тактовых импульсов использованы пульсации выпрямленного несглаженного напряжения на входе, частота которых 100 Гц.

Для коррекции управляющей программы микроконтроллера нами разработана интерфейсная пользовательская программа для ПЭВМ, позволяющая в удобной форме ввести значения отсчетов тактовой частоты в таблицу управляющих значений, из которых автоматически формируется управляющая программа для микроконтроллера. При помощи этой же пользовательской программы можно переслать управляющую программу в микроконтроллер или считать программу, находящуюся в нем. Для повторного использования управляющих программ предусмотрены функции считывания и сохранения таблиц значений в файлы ПЭВМ. Программа работает в среде Windows и имеет удобный интерфейс.

В настоящее время комплекс технических и программных средств используется в исследованиях насыщенных рассолов хлоридов натрия и калия, получающихся в производстве минеральных удобрений.

НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИЙ МЕТОД ПРОЧНОСТНОГО РАСЧЕТА ПРЕСС-ФОРМЫ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Л.С. Стельмах, В.В. Шепелев, А.М. Столин, Д.С. Дворецкий

Тамбовский государственный технический университет

Традиционные методы расчета цилиндрических обечаек (корпусов, пресс-форм и т.п.), нагруженных внутренними силовыми и одновременно температурными напряжениями, сводятся к расчету на прочность и адекватны в том случае, когда тепловой поток и соответственно температурный перепад в стенке принимается постоянным. Тем не менее, они применяются и при расчете корпусов оборудования, работающего в режиме неустановившегося теплового потока (периодические реакторы сгорания, пресс-формы для СВС-прессования), а перепад температур в стенке при расчете на прочность принимается равным максимальному значению в ходе проведения процесса. Это приводит к необоснованному завышению толщины стенки корпуса.

Целью данной работы является разработка методики расчета пресс-формы, учитывающей нестационарность процесса, протекающего внутри пресс-формы, а также профиль температуры по толщине стенки.

Сущность нашего подхода заключается в следующем. На первом этапе для характеристики тепловых условий работы материала пресс-формы выделяются три температурных диапазона (сталь 40Х):

- 1) 0 – 200 °С – низкотемпературный интервал, в котором в материале пресс-формы не происходит никаких изменений;
- 2) 200 – 500 °С – допустимый температурный диапазон, в котором могут происходить обратимые изменения в материале пресс-формы, не приводящие к потере механических свойств;
- 3) 500 °С и выше – высокотемпературный интервал, при работе в котором сталь теряет заданные механические свойства.

На втором этапе на основе математической модели тепловых режимов СВС-прессования [1] получают зависимость максимальной температуры на внутренней стенке пресс-формы от толщины стенки (рис. 1) и по допускаемой температуре материала T_d (верхний предел допустимого температурного диапазона) определяется минимальное значение толщины стенки δ_r . Для стали 40Х имеем $T_d = 500$ °С, $\delta_r = 12$ мм.

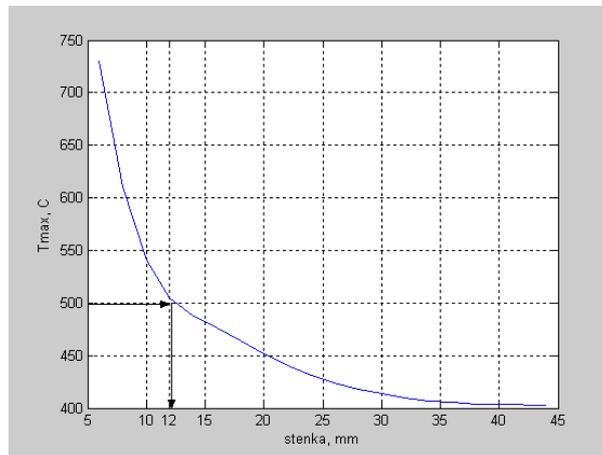


Рис. 1. Зависимость максимальной температуры на внутренней стенке пресс-формы от толщины стенки

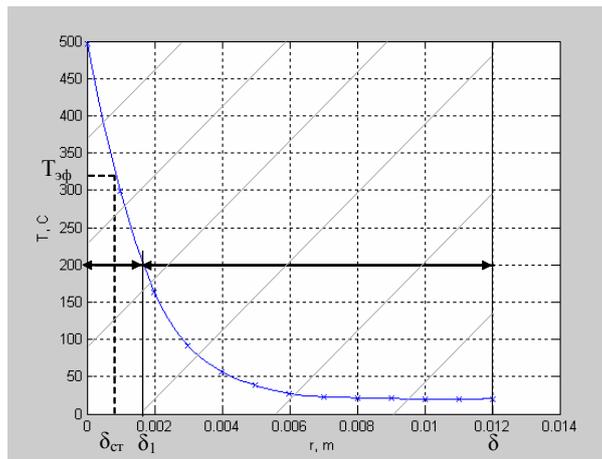


Рис. 2. Распределение температуры по толщине стенки пресс-формы ($\delta_r = 12$ мм, $U_r = 20$ мм/с, $t_s = 0,5$ с)

На этапе 3 с помощью математической модели для найденной толщины δ_r строится профиль температур (рис. 2). Перепад температур, участвующий в расчете на прочность, определяется как $\Delta T = T_{эф} - T_{внеш}$, где $T_{эф} = \frac{1}{\delta_1} \int_0^{\delta_1} T dr$ – эффективная температура, характеризующая тепловое нагружение всей стенки пресс-формы и учитывающая неизомермичность профиля температур и нестационарность процесса. $[0, \delta_1]$ – область, относящаяся к допустимому температурному интервалу. По перепаду температур ΔT рассчитываются эквивалентные напряжения $\sigma_{экр} = f(\Delta T, \beta, p)$, где β – коэффициент толстостенности, P – внутреннее давление, и проверяется условие прочности $\sigma_{экр} \leq [\sigma]$, при невыполнении которого следует увеличить толщину стенки и повторить расчет.

На основе стандартного и предлагаемого методов произведены расчеты корпуса пресс-формы для СВС-прессования (табл. 1), из которых следует, что неизомермический метод позволяет уменьшить массу пресс-формы с 83 до 11 кг.

1. Результаты расчета пресс-формы по традиционной и неизомермической методикам

	Традиционный метод		Неизомермический метод	
	I итерация: $\delta = 42$ мм	II итерация: $\delta = 56$ мм	I итерация: $\delta = 12$ мм	II итерация: $\delta = 15$ мм
$T_{внут}, ^\circ\text{C}, T_{внут} = T_d = 500$			$T_{эф}, ^\circ\text{C}$	350
$T_{внеш}, ^\circ\text{C}, T_{внеш} = T_d / 2 = 250$			$T_{внеш}, ^\circ\text{C}$	200
$\Delta T, ^\circ\text{C}$	$\Delta T = T_{внут} - T_{внеш} = 500 - 250 = 250$		$\Delta T = T_{эф} - T_{внеш}$	150
$\sigma_r, \text{МПа}$	$\sigma_r(T_d) = \sigma_r(500 ^\circ\text{C}) = 284$		$\sigma_r(T_{эф})$	650
$[\sigma], \text{МПа}$	$[\sigma] = \sigma_r / 1,1 = 284 / 1,1 = 258$		$[\sigma] = \sigma_r / 1,1$	590
				660
				600

$\sigma_{\text{экр}}, \text{ МПа}$	443	250		667	420
$\sigma_{\text{экр}} \leq [\sigma]$	не выполняется	выполняется		не выполняется	выполняется
$M, \text{ кг}$		83			11

1. Жилиева, Н.Н. Тепловые режимы СВС-прессования / Н.Н. Жилиева, Л.С. Стельмах. – Минск : ИТМО им. А.В. Лыкова АН БССР. – 1989. – Ч. 2. – С. 44 – 53

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВОЛОЧЕНИЯ ПОРОШКООБРАЗНОГО МАТЕРИАЛА ЧЕРЕЗ КОНИЧЕСКУЮ ФИЛЬЕРУ

М.Б. Генералов, В.М. Клевлеев, И.А. Кузнецова, А.О. Пилягина

Московский государственный университет инженерной экологии

Проведенные теоретические исследования процесса динамического волочения порошкообразного материала в конической фильере позволили разработать математическую модель, аналитически определяющую поля напряжений и распределение плотности компактируемого материала [1].

С помощью программного комплекса, созданного нами на основе математической модели, проведены исследования и получены численные значения полей напряжений и плотности компактируемого материала в зависимости от основных параметров порошкообразного материала, геометрических размеров конической фильеры и скорости движения оболочки. В результате численных расчетов построены графики изменения плотности ρ , а также полей касательных τ и средних нормальных σ_c напряжений в фильере в пространстве полярных координат. Пространственные эпюры представлены на рис. 1.

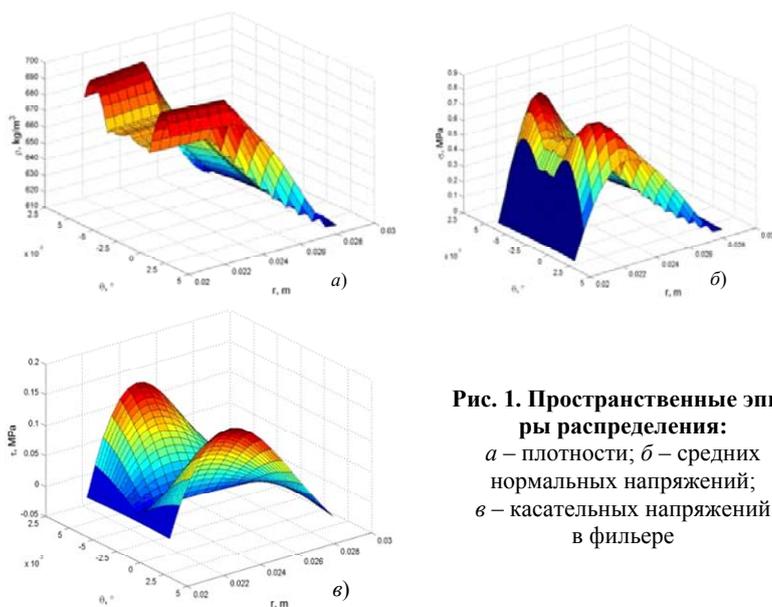


Рис. 1. Пространственные эпюры распределения:
 а – плотности; б – средних нормальных напряжений;
 в – касательных напряжений в фильере

Теоретические кривые изменения плотности, касательных и средних нормальных напряжений в конической фильере построены по зависимостям, приведенным в [1], при этом принимали: геометрические параметры $R_0 = 1,8 \cdot 10^{-3}$ м, $\theta \in [1^\circ; 12^\circ]$; скорость движение оболочки фильеры – $W \in [6 \text{ м/мин}; 33 \text{ м/мин}]$; насыпная плотность порошкообразного материала – $\rho_0 \in [610 \text{ кг/м}^3; 660 \text{ кг/м}^3]$; основные реологические и физико-механические характеристики порошкообразного материала – $\xi = 0,4$; $f_{\text{тр}} = 0,27$; $k_1 = 0,1$; $f_{\text{вн.тр}} = 0,46$; параметры кривой прессования порошкообразного материала – $\rho = \rho_m - (\rho_m - \rho_n) \exp(P/P_0)$, где $\rho_m = 1350 \text{ кг/м}^3$ – плотность монокристалла, ρ_n – начальная плотность, P – давление уплотнения, $P_0 = 27 \text{ МПа}$ – константа порошка.

Интегральную величину осевой силы вытяжки (волочения) F , приложенную к оболочке с окончательно уплотненным материалом за выходным сечением конической фильеры, определяем следующим образом:

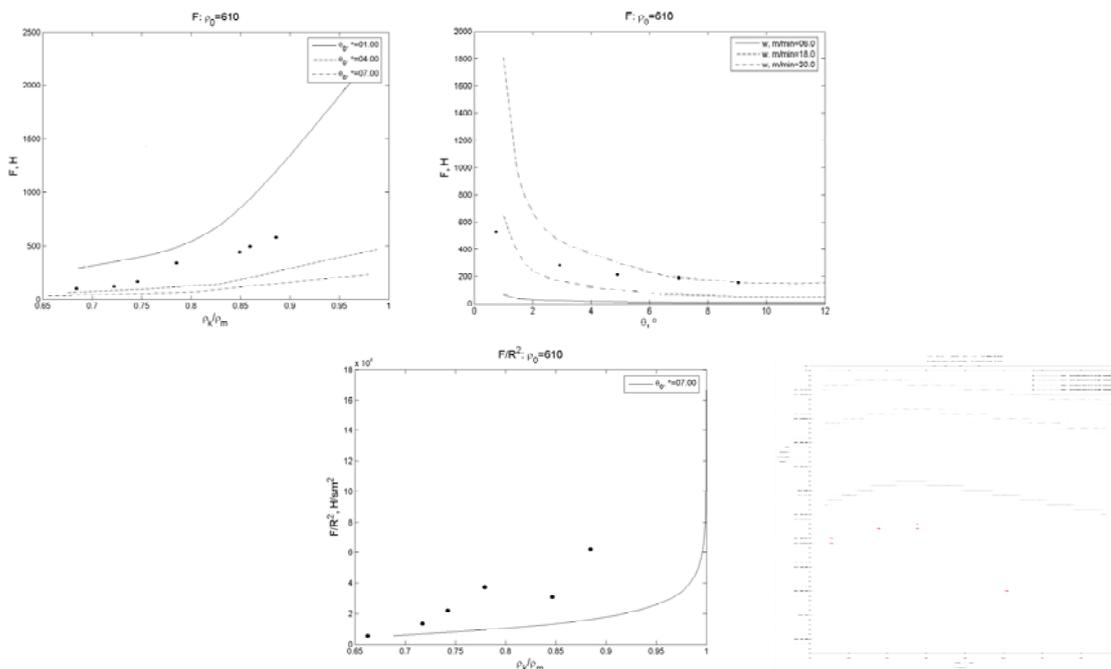


Рис. 2. Теоретические (—) и экспериментальные (•) данные по зависимости усилия вытяжки от плотности заряда и угла наклона образующей фильеры, а также данные по зависимости плотности шнуrowого заряда от угла раскрытия канала фильеры

$$F = 2\pi \left(1 + f_{\text{тр}} \operatorname{ctg}(\theta_0)\right) \int_{r_0}^{r_1} \sigma_c r dr,$$

где σ_c – значения среднего нормального напряжения.

С целью проверки адекватности разработанной модели реальным условиям протекания процесса построены графики зависимости усилия вытяжки от относительной плотности шнуrowого изделия и угла наклона образующей конуса фильеры, а также графики зависимости относительной плотности шнуrowого изделия от угла наклона.

Полученные теоретические значения сопоставлены с результатами экспериментальных исследований, представленными в работе [2]. Графики зависимостей приведены на рис. 2.

Таким образом, рассчитанные по аналитическим зависимостям значения показывают их удовлетворительную согласуемость с экспериментальными данными [2].

1. Особенности процесса волочения порошкообразного материала через коническую фильеру с подвижной стенкой / М.Б. Генералов и др. // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2007. – № 8. – С. 9 – 12.

2. Сагидуллин, Г.Г. Определение интегрального усилия волочения непрерывного цилиндрического тела из "пластического газа" / Г.Г. Сагидуллин, А.А. Балабанов, В.Д. Анциферов. – М. : Труды МИХМ, 1974. – Вып. 56.

МОДЕЛИРОВАНИЕ БОЛТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЕТАЛЕЙ ПРИ РАСЧЕТАХ МЕТОДОМ МКЭ В ПРОГРАММЕ АРМ WINMACHINE

Д.А. Егоров

Мичуринский государственный аграрный университет, info@mgau.ru

Проектирование и расчет узлов с резьбовыми соединениями – предмет повседневной деятельности конструктора. При переходе к использованию численных методов анализа проблемы адекватного моделирования и интерпретации результатов не снимаются автоматически и, более того, возникают весьма специфические моменты, требующие пристального внимания.

При расчете деталей методом конечных элементов закрепление болтами часто указывается упрощенно: пренебрегаются собственные изгибные деформации соединяемых деталей; не учитывается предварительная затяжка крепежа, а также податливость стыка и стержня винта. Это прежде всего связано с необходимостью упростить модель для ускорения расчета. Возникает вопрос: насколько оправданы данные упрощения. Для исследования данного вопроса мы воспользовались программой АРМ WinMachine v9.5.

Вначале создали упрощенную модель болтового соединения, не требующую решения в отношении резьбы. Один из вариантов – имитация болта сплошной податливой втулкой, образующей с гайкой и стержнем монолитную систему. Основанием для этого является практически линейная зависимость перемещения торца от нагрузки, а также достаточно малая величина перемещений. Рассмотрено несколько вариантов типовых заданий, расчет которых производился в программе АРМ WinMachine. Приведем как пример один из рассчитанных вариантов – расчет болтового крепления фланца (рис. 1).

Имитацию затяжки болта производим посредством назначения величины осевой силы (действующей в собранном состоянии), т.е. прикладываем к стержню болта и к торцу гайки разнонаправленные уравновешенные усилия при свободном взаимном скольжении гладких цилиндрических поверхностей крепежа (рис. 2).

Задав нагружение на модель, производим разбивку на конечно-элементную сетку, сгущая ее в местах предполагаемых концентраций напряжений.

Производим расчет модели, разбитой на объемные конечные элементы (расчет производится в модуле APM Structure 3D). Результаты расчета напряжений в детали приведены на рис. 3, а.

В местах отверстий под болты образуются местные концентраторы напряжений. При статическом нагружении соединяемых деталей эти напряжения не превышают допустимых значений, но тем не менее создают значительное уменьшение усталостной прочности, что в свою очередь при динамических и циклических нагрузках может привести к разрушению хрупких деталей.

На рис. 3, б представлено распределение напряжений в соединяемой детали, полученное при расчете с упрощением без учета силы затяжки болтов и условия, что детали соединены по плоскости контакта жестко. Как мы видим, концентраторы напряжений отсутствуют.

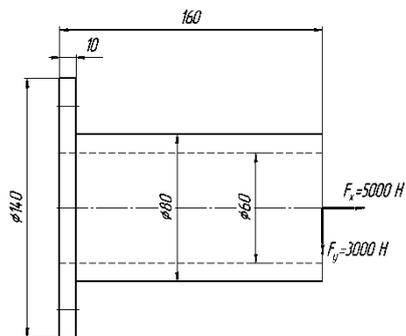


Рис. 1. Расчетная схема

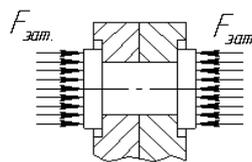


Рис. 2. Имитация затяжки болта

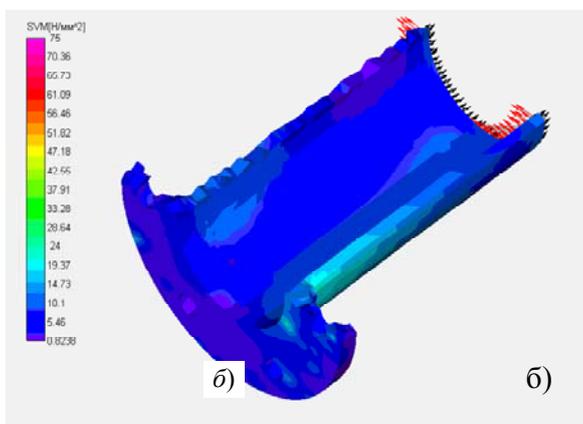
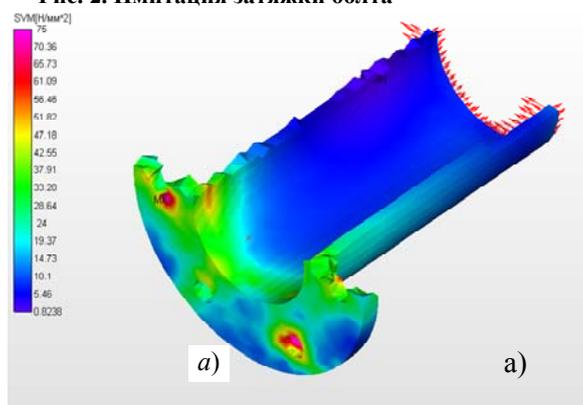


Рис. 3. Распределение напряжений в детали:

а – распределение напряжений в детали при имитации болтового соединения;

б – распределение напряжений в детали при жестком закреплении

Таким образом, при проектировании болтового соединения не всегда достаточным оказывается только проверка на раскрытие стыка или его несдвигаемость при расчете болтов. Необходима проверка прочности фланцев, учитывая все факторы закрепления и нагружения. Если же при более полном анализе возникает угроза разрушения элементов соединения, то необходимо произвести модернизацию узла.

Упрощения можно применять для предварительного расчета сборок, так как излишняя детализация значительно увеличивает время данного расчета. Но затем рекомендуется рассчитывать каждую деталь отдельно, учитывая все факторы.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ БЕЛЫХ КОРЕНЬЕВ ПАСТЕРНАКА

Ю.В. Складчикова

Воронежская государственная технологическая академия, skladchikova@mail.ru

Поверхностные свойства – адгезионные и фрикционные – занимают особое место среди структурно-механических свойств пищевых продуктов. Фрикционные свойства проявляются на границе раздела между продуктом и твердой поверхно-

стью конструкционного материала и характеризуют усилие взаимодействия при их взаимном сдвиге.

К фрикционным свойствам относят, в первую очередь, внешнее трение, т.е. сопротивление относительному перемещению двух находящихся в соприкосновении поверхностей твердого тела, которое зависит от липкости и ряда других факторов.

Установка для определения коэффициента внешнего трения пищевых продуктов (рис. 1) состоит из поворотного стола 1, на котором с помощью прижимных планок 2 крепится рабочая пластина 3, изготовленная из исследуемого фрикционного материала. На пластине располагают исследуемый пищевой продукт 4. Поворотный стол 1 имеет возможность поворачиваться относительно горизонтальной плоскости на некоторый угол посредством рычажного механизма 5 и винта 6, снабженного штурвалом. Угол подъема поворотного стола 1 определяют по угломеру 7. Элементы установки смонтированы на опорной раме 8 и плите 9, снабженной установочными винтами 10.

В качестве объекта исследования использовали белые корни пастернака. Для проведения эксперимента формировали партии из 8 – 10 образцов. Пластинки белых корней имели ровную поверхность, одинаковую геометрическую форму и массу, не допускалось наличие трещин на поверхности продукта.

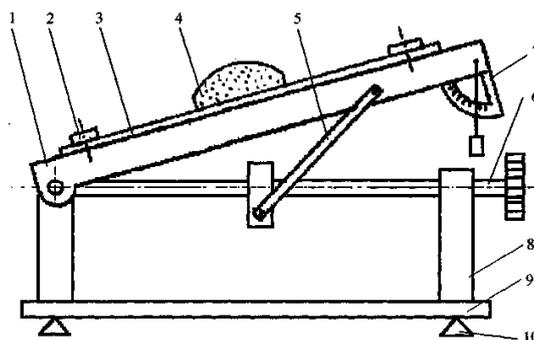


Рис. 1. Схема установки для определения коэффициента внешнего трения

Перед началом эксперимента установку регулируют по уровню. Для этого плоский уровень устанавливают на плиту 9 (рис. 1) параллельно каждой паре установочных винтов 10; регулировку производят этими винтами. Вращая штурвал винта 6, переводят поворотный стол 1 в горизонтальное положение.

На поверхности поворотного стола 1 располагают рабочую пластину 3, которую затем закрепляют прижимными планками 2. На рабочую пластину 3 укладывают первый образец исследуемого пищевого продукта 4, отобранного из общей партии. Медленно вращая штурвал винта 6, посредством рычажного механизма 5 осуществляют подъем поворотного стола 1. В момент начала скольжения пищевого продукта 4 по поверхности рабочей пластины 3 подъем поворотного стола 1 прекращают.

Значение угла внешнего трения φ определяют по показаниям угломера 7, полученное значение вносят в протокол наблюдений (табл. 1).

1. Значение коэффициента внешнего трения для влажного пастернака

№ опыта	Угол внешнего трения φ , град	Коэффициент внешнего трения f	Средний коэффициент внешнего трения $f_{\text{ср}}$
1	63	1,96	1,91
2	63	1,96	
3	62	1,88	
4	63	1,96	
5	61	1,80	

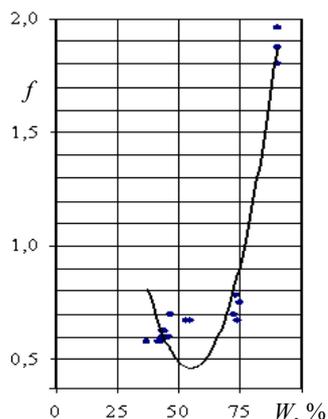


Рис. 2. Зависимость коэффициента внешнего трения f от влажности W , % пастернака

Коэффициент внешнего трения является одним из важнейших характеристик, определяющих физико-механические свойства белых корней. Знание этого коэффициента позволяет организовать устойчивый активный гидродинамический режим и интенсифицировать процесс сушки белых корней при минимальных затратах энергии на взвешивание материала.

Анализ зависимости $f = \varphi(W)$ (рис. 2) свидетельствует, что коэффициент внешнего трения увеличивается с ростом влажности. Это объясняется переходом упругого контакта к пластичному, при котором увеличивается механическое сопротивление относительному перемещению соприкасающихся поверхностей.

Путем математической обработки экспериментальных данных были получены зависимости коэффициентов внешнего трения по стальной решетке от влажности белых корней пастернака:

$$f_{\text{внеш}} = 0,0011W^2 - 0,1255W + 3,9083.$$

В результате проведенных исследований был определен коэффициент внешнего трения для влажного пастернака $f_{\text{ср.внеш}} = 1,91$.

ФИЗИЧЕСКОЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ

С.В. Петровичев

Ярославский государственный технический университет

Инструментарий математического моделирования зачастую не позволяет эффективно решать задачи управления промышленными объектами при изменении значений переменных, описывающих их состояние в широком диапазоне. Это связано с тем, что в условиях промышленного производства допустимые интервалы значений управляющих воздействий ограничены. Последнее затрудняет задачи адекватного отражения динамических и статических свойств систем при их идентификации по данным промышленных экспериментов.

Решение проблемы в указанных условиях может быть найдено использованием физической модели объекта для идентификации математической модели промышленного образца, аналогом которого физическая модель является. Система управления физической моделью включает весь комплекс технических средств. Моделирование каждого элемента отдельно в составе этого комплекса, как правило, не проводится в силу высокой теоретической и экспериментальной сложности подобной работы. Однако, с научной точки зрения, результаты детальной идентификации представляют большой интерес при моделировании систем с типовыми средствами автоматизации.

Таким образом, целесообразной оказывается отладка и настройка математических моделей систем управления с использованием физических объектов, отражающих особенности взаимосвязей переменных в реальных процессах преобразования сигналов в системе.

В соответствии со сказанным нами предложена одноконтурная автоматическая система регулирования (АСР), которая включает физическую модель объекта регулирования – электронагревательную печь и программируемый контроллер. Контур управления образуется вводом в контроллер сигнала термопары, измеряющей температуру в печи, и последующим программным формированием кода регулирующего воздействия.

При построении математических моделей принимались и проверялись различные гипотезы, полагаемые в основу ее математического описания. Оказывается возможным выделение областей технологических режимов, в которых правомерны гипотезы, например, об идеальном вытеснении, ячеечном характере движения потока.

Использование физической модели как аналога промышленной установки при ее математическом моделировании позволяет объединить достоинства эмпирического и аналитического подходов к составлению математического описания. В условиях работы с реальной физической моделью учитывается ряд эффектов, которыми, как правило, пренебрегают при математическом моделировании промышленных процессов, в частности разрядность АЦП, преобразующего сигналы датчиков переменных технологического режима, ограничения диапазонов измерения этих переменных, время квантования. Изучение зависимости точности модели от этих параметров производилось с использованием сравнения параметров качества переходных процессов, таких как длительность переходного процесса, величина перерегулирования, точность работы в установившемся режиме.

При аналитической разработке математической модели невозможно полностью отразить сущность процесса и получить модель с высокой степенью точности в силу того, что в уравнения модели входит ряд трудно определяемых параметров, таких как коэффициенты теплоотдачи и ряд других.

Сопоставление эмпирической, аналитической и экспериментально-аналитической моделей выполнялось нами по кривым разгона, полученным в различных условиях. Оказалось, что экспериментально-аналитическая модель дает значительно лучшие результаты по точности воспроизведения как в статике, так и в динамике в широком диапазоне технологических режимов. Экспериментальная модель имеет лучшие результаты лишь в условиях ее получения, в дальнейшем при изменении базового технологического режима точность существенно ухудшается (рис. 1).

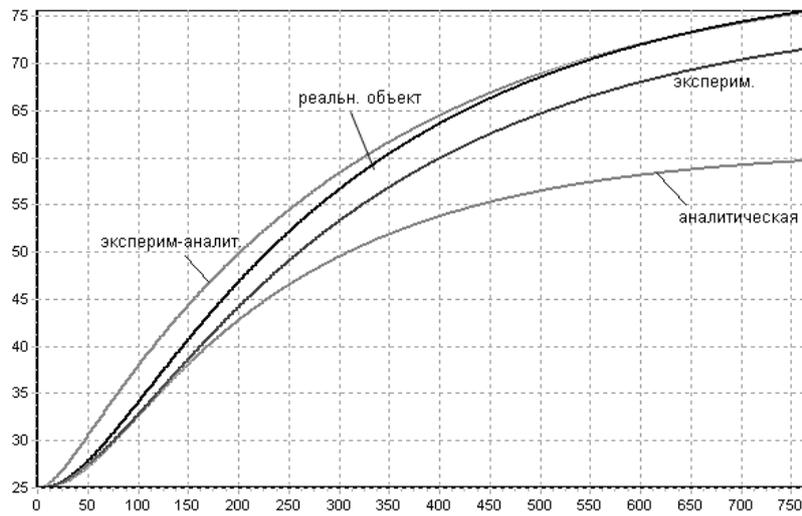


Рис. 1. Сравнительная оценка воспроизводимости моделей

В ходе исследований сделан ряд выводов о влиянии характера опроса датчиков на качество регулирования. При многократном увеличении времени квантования происходит лишь некоторое увеличение времени переходного процесса, тогда как показатели устойчивости ухудшаются значительно, вплоть до полной ее потери. Уменьшение разрядности АЦП заметно сказывается на статической ошибке, однако система более стабильна, и время переходного процесса сопоставимо с исходными значениями. Сделаны также выводы о влиянии квантователя на переходные процессы в системах с разными типами регулятора.

Блоки получения информации, а также формирования управляющего сигнала в зависимости от задач управления описываются либо статическими, либо динамическими моделями соответствующих звеньев. Применение физической модели в контуре управления позволило выделить отдельные элементы системы (такие как термopара, двигатель и др.) и идентифицировать их параметры.

Следует указать на широкие возможности исследования физической модели: например, построение кривых разгона теоретически и экспериментально с дальнейшим сопоставлением, исследование всей системы в целом или отдельных составных элементов и др. Использование аппарата исследования одноконтурных систем автоматического управления позволяет легко вносить изменения в математическую модель с их дальнейшей проверкой на реальной установке.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СВЯЗИ ПРЯМЫХ И КОСВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЗАМКНУТЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Р.А. Нейдорф, П.А. Панков-Козочкин

Донской государственный технический университет, voland1900@mail.ru

В [1] показана возможность определения взаимосвязи между косвенными и прямыми показателями качества САУ для последующего применения полученных сведений при синтезе частотных корректирующих устройств на основе звеньев с передаточными функциями (ПФ) первого и второго порядков. В качестве схемы эксперимента в данном направлении предложено проведение моделирования САУ с ПФ третьего порядка при ряде настроек ее параметров по плану полного факторного эксперимента (ПФЭ). Анализ результатов проведенного эксперимента указал на необходимость расширения плана эксперимента до центрально-композиционного [2] с целью получения более адекватных описаний функций отклика для каждого из показателей качества.

Центральный композиционный план, кроме точек, соответствующих плану ПФЭ, включает в себя также опыты в "звездных" точках и в центре плана. Для определения координат "звездных" точек необходимо рассчитать величину "звездного плеча" α . В случае двух факторов $\alpha = 1$.

Для проведения эксперимента используется описанная в [1] модель САУ с ПФ в замкнутом и разомкнутом вариантах:

$$W_{зс}(p) = 1 / [(Tp + 1)(p^2 + 2\xi p + 1)];$$

$$W_{рс}(p) = 1 / [Tp^3 + (2\xi T + 1)p^2 + (T + 2\xi)p - 1].$$

Уровни кодированных переменных и соответствующие им реальные значения параметров модели полностью совпадают с выбранными в [1]. Проведение эксперимента по композиционному плану с этими параметрами дало результаты, приведенные в табл. 1. Как и в первой серии опытов [1], по полученным данным (табл. 1) заметно, что перерегулирование практически во всех опытах отсутствует. Следовательно, построение уравнения регрессии для величины перерегулирования здесь невозможно. Для остальных значений функций отклика рассчитаны коэффициенты уравнений регрессии с учетом взаимных и квадратичных влияний факторов, и получены регрессионные зависимости для времени регулирования $t_{рег}$, частоты среза $\omega_{ср}$, для запаса по фазе $\Delta\varphi$, для частоты $\omega_{п}$, для запаса по модулю ΔL :

$$y_{t_per}(x_1, x_2) = 6,62203 + 0,8739x_1 + 3,6522x_2 + \\ + 0,6326x_1x_2 + 0,2841x_1^2 + 2,5939x_2^2;$$

$$y_{\omega_cp}(x_1, x_2) = 0,328367 - 0,0814x_1 - 0,146x_2 + \\ + 0,0566x_1x_2 - 0,0097x_1^2 + 0,0181x_2^2;$$

$$y_{\Delta\varphi}(x_1, x_2) = 71,2958 + 1,7253x_1 + 8,6096x_2 - \\ - 5,2182x_1x_2 + 0,9149x_1^2 - 1,7066x_2^2;$$

$$y_{\omega_п}(x_1, x_2) = 1,730311 - 0,4329x_1 + 0,4329x_2 - \\ - 0,1901x_1x_2 + 0,0957x_1^2 + 0,0957x_2^2;$$

$$y_{\Delta L}(x_1, x_2) = 19,1157 + 0x_1 + 7,8406x_2 + \\ + 0x_1x_2 + 0,8689x_1^2 + 0,8689x_2^2.$$

Кроме того, определены значения ошибок δ_{max} , дисперсии S^2 и СКО S (табл. 1). Из данных нижней части табл. 1 видно, что в исследуемом квадрате функции отклика адекватно описывают соответствующие зависимости. Однако это не позволяет с полной уверенностью считать, что наилучшая форма переходного процесса будет найдена именно в тех диапазонах значений параметров нормированной постоянной времени T (фактор x_1) и степени колебательности ξ (фактор x_2), которые были выбраны для первой серии опытов [1]. В связи с этим нами принято решение о проведении экспериментов по плану ОЦКП не только в упомянутом "квадрате", но и в восьми смежных с ним зонах. Шаги варьирования кодированных переменных здесь, как и в предыдущем случае, приняты мультипликативными.

На рис. 1 приведены результаты 7 из 49 опытов в каждой из точек составного плана, для наглядности представленные в виде графиков переходных процессов, полученных с помощью пакета MathCad при $T = 0,125$ с и ряде значений ξ . Из рис. 1 видно, что среди приведенных переходных характеристик наименьшими временем регулирования и перерегулированием обладает процесс $H4(t)$. Из анализа набора из 49 переходных характеристик видно, что приемлемыми по времени регулирования, колебательности и перерегулированию выглядят переходные процессы для систем с параметрами из областей $T \in [0,125; 2]$ и $\xi \in [0,5; 2]$.

1. Результаты экспериментов

Факторы		Функции отклика					
x_1	x_2	Время регулирования t_{per}	Перерегулирование σ	Частота ω_{cp}	Запас по фазе $\Delta\varphi$	Частота $\omega_{п}$	Запас по модулю ΔL
+1	+1	14,3171	0 %	0,1633	76,1217	1,7321	28,6273
-1	+1	12,1111	0 %	0,2210	81,5728	3,0000	28,6273
+1	-1	5,4778	0 %	0,3389	69,8487	1,2247	13,0643
-1	-1	5,8020	13,88 %	0,6228	54,4270	1,7321	13,0643
-1	0	5,3715	0 %	0,3926	72,0431	2,2361	20,0000
+1	0	8,7329	0 %	0,2458	72,4242	1,4142	20,0000
0	-1	5,9796	8,14 %	0,4963	60,4929	1,4142	12,0412
0	+1	12,7444	0 %	0,1977	78,7315	2,2361	27,9588
0	0	6,3299	0 %	0,3273	71,2498	1,7321	19,0849
$\delta_{max}, \%$		10,91	—	3,47	2,16	1,02	0,48
S^2		0,262593	—	0,000025	0,872274	0,000321	0,004894
S		0,512438	—	0,005025	0,933956	0,017917	0,069959

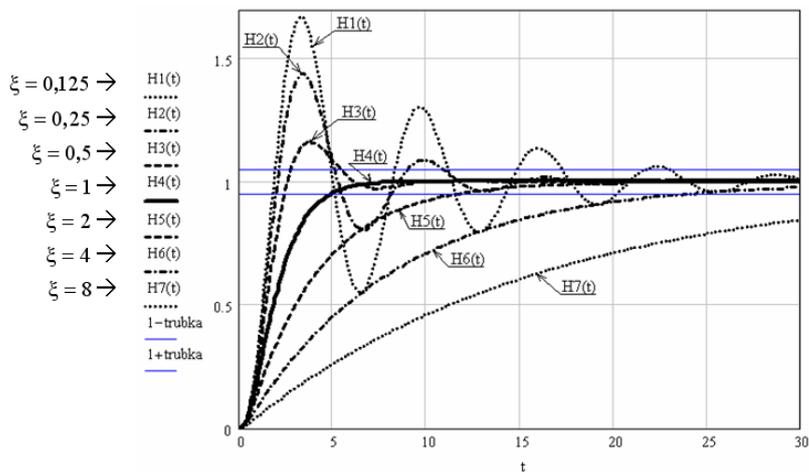


Рис. 1. Переходные процессы для $T = 0,125$

1. Нейдорф, Р.А. Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-21 : сб. тр. / Р.А. Нейдорф и др. – Саратов : СГТУ, 2008. – Т. 6.
2. Шлюшников, А.П. Планирование и анализ факторных эксперим. / А.П. Шлюшников. – Брянск : БГТУ, 2006.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ФИЛЬТРА ПРИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ РЕГУЛЯТОРА НА КАЧЕСТВО ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

М.Г. Бочаров, М.А. Панько

Московский энергетический институт (ТУ), mgbocharov@mail.ru

В контроллерах программно-технических комплексов (ПТК) используется цифровая реализация алгоритмов регулирования. Анализ существующих ПТК показал, что в их составе в основном представлены реальные пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД) алгоритмы. Так, в контроллере Ремиконт Р-380 в составе ПТК "КВИНТ СИ" выполнена цифровая реализация алгоритма регулирования с фильтром второго порядка при дифференциальной составляющей.

Чтобы оценить влияние на качество переходных процессов АСР структуры фильтра при дифференциальной составляющей алгоритма регулирования, рассмотрим автоматические системы регулирования (АСР) с эквивалентными аналоговыми регуляторами (структура из модулятора, цифрового вычислительного устройства и демодулятора) следующих типов:

- с цифровой реализацией идеального ПИД алгоритма, передаточная функция

$$W_p(s) = (k_p / Ts)((T / T_i + 1 + T_d / T) - (1 + 2T_d / T) \exp(-Ts) + T_d / T \exp(-2Ts)),$$

- с цифровой реализацией реального ПИД алгоритма с фильтром 1-го порядка при дифференциальной составляющей

$$W_p(s) = k_p(1 - \exp(-Ts)) / Ts + k_p / T_i s - k_p T_d \frac{(1 - \exp(-T / 0,125 T_d))}{(\exp(-Ts) - \exp(-T / 0,125 T_d))} (1 - \exp(-Ts))^2 / T^2;$$

- с цифровой реализацией реального ПИД алгоритма с фильтром 2-го порядка при дифференциальной составляющей

$$W_p(s) = k_p(1 - \exp(-Ts)) / Ts + k_p / T_i s - k_p T_d \frac{(1 - \exp(-T / 0,125 T_d))^2}{(\exp(-Ts) - \exp(-T / 0,125 T_d))^2} (1 - \exp(-Ts))^2 / T^2,$$

где k_p , T_i , T_d , T – коэффициент пропорциональности, постоянные времени интегрирования и дифференцирования, время цикла контроллера; $W_p(s)$ – передаточная функция регулятора.

Передаточная функция объекта управления

$$W_u(s) = 0,45 \exp(-0,52s) / (1,9s + 1)^3.$$

На рис. 1 показаны линии заданного запаса устойчивости $m = 0,366$ (m – корневой показатель колебательности) при критическом для идеального алгоритма значении отношения постоянной дифференцирования к постоянной интегрирования $\alpha = T_d / T_i = 0,75$ [1]. Кривая 1 соответствует АСР с идеальным ПИД алгоритмом, кривые 2 и 3 – алгоритмам с фильтрами при дифференциальной составляющей 1-го и 2-го порядка ($T_\Phi = T_d / 8$).

Введение фильтра в дифференциальную составляющую алгоритма регулирования:

- 1) практически не оказывает воздействия на значение $\alpha_{\text{крит}}$ – форма линий $m = \text{const}$ остается неизменной;
- 2) приводит к заметному уменьшению значения $k_{\text{и max}}$ и, следовательно, – увеличению линейного интегрального критерия качества;
- 3) сужает область, ограниченную линией заданного запаса устойчивости.

Параметры настройки для АСР с идеальным ПИД и реальными алгоритмами с фильтрами 1-го и 2-го порядка ($T_\phi = T_d/8$; $\alpha_{\text{крит}} = 0,75$) при совместном ограничении на корневой ($m = 0,366$) и частотный ($M = 2,38$) показатели колебательности [1] приведены в табл. 1.

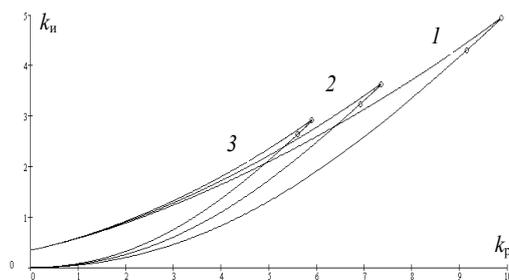


Рис. 1

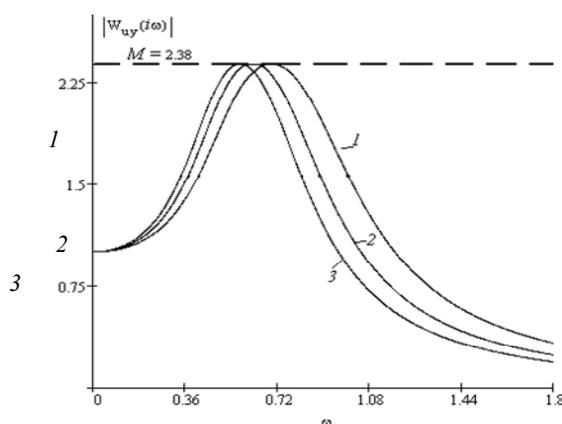


Рис. 2

Таблица 1

n	k_p	k_i	T_i	T_d
0	9,149	4,3	2,128	1,596
1	6,911	3,24	2,133	1,600
2	5,601	2,64	2,122	1,591

Анализ показывает, что параметры фильтра практически не влияют на значения постоянных интегрирования T_i и дифференцирования T_d . В зависимости от порядка фильтра изменяется только коэффициент передачи регулятора k_p .

Амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) замкнутой системы по каналу управляющего воздействия для этих вариантов АСР представлены на рис. 2.

Таким образом, при введении фильтра максимум АЧХ смещается к началу координат. Переход к "реальным" алгоритмам уменьшает чувствительность АСР к высокочастотной помехе по каналу управляющего воздействия.

Из-за уникальности характеристик возмущающих воздействий целесообразно иметь в библиотеке алгоритмов контроллера все рассмотренные варианты ПИД регулятора.

1. Панько, М.А. Расчет и моделирование автоматических систем регулирования в среде Mathcad / М.А. Панько. – М. : Издательство МЭИ, 2004.

ДИНАМИКА СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ

К.А. Шуколюкова

Березниковский филиал ПермГТУ, Ksushik20@yandex.ru

В практике управления технологическими объектами в химической промышленности и цветной металлургии широко применяется позиционное регулирование (в частности, двухпозиционное регулирование). Достоинством такого регулирования является максимальная мобилизация всего ресурса управления для приведения регулируемой величины к заданному значению. Однако позиционное регулирование в принципе не может обеспечить тождественное равенство регулируемой величины заданному значению.

В качестве объекта исследования выбрана система с переменной структурой, в которой при больших отклонениях от заданного значения регулируемой величины за счет нелинейной части организовано мощное регулирующее воздействие на объект управления, а затем по мере приближения к заданному значению предполагается переключение на непрерывное регулирование.

Первоначально для сравнения качества регулирования нами проведено исследование динамических свойств нелинейной автоматической системы регулирования, состоящей из линейного объекта первого порядка и двухпозиционного регулятора на реле с гистерезисом. Эта система смоделирована в среде Matlab. Объект управления имеет следующие параметры: $k = 5$, $T = 10$ с. Двухпозиционное реле с зоной гистерезиса $\Delta = 0,7$ и значениями выхода при $\Delta = -0,7$, равно 1, а при $\Delta = 0,7$ равно 0. Получены переходные процессы по каналу управления и по каналу внешнего (со стороны регулирующего органа) воздействия, а также фазовые портреты системы.

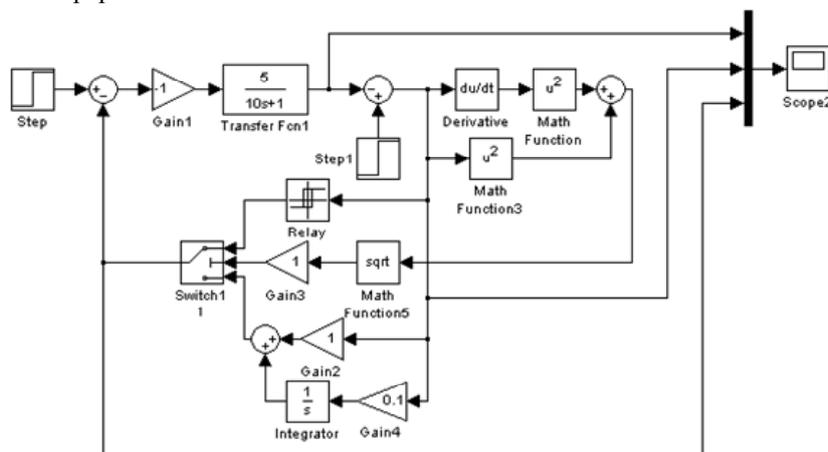


Рис. 1. Схема набора системы управления с переменной структурой

Помимо этого, исследована динамика линейной системы регулирования с таким же объектом в виде инерционного звена с ПИ-регулятором также по каналам управления и по каналу внешнего возмущения. Объект управления имел такие же параметры: $k = 5$, $T = 10$ с, а ПИ-регулятор: $k_p = 0,5$, $T_i = 10$ с. Зарегистрированы отклики и фазовые портреты.

Наконец, исследована динамика системы автоматического регулирования с переменной структурой (рис. 1), включающей в себя линейный и нелинейный регуляторы, подключаемые к объекту управления через пороговый переключатель. Объект управления – инерционное звено – как и в случае с линейным и нелинейным регуляторами имеет такие же параметры: $k = 5$, $T = 10$ с. Сохранены также настройки линейного и нелинейного регуляторов. Условие переключения выбрано в виде: $(y^2(t) + (dy/dt)^2)^{1/2} \geq 1$ then НР, else ЛР, где $y(t)$ – выходная *htuekbhethvz* величина, НР – нелинейный регулятор, ЛР – линейный регулятор. Выходная величина и рассогласование $\Delta(t)$ с течением времени монотонно приближаются к нулю при полностью включенном ресурсе управления на выходе нелинейного регулятора. Во временной области в определенный момент времени происходит переключение управления на линейный регулятор, так как к этому моменту выходная величина и скорость ее изменения существенно уменьшились и попали в круг единичного радиуса с центром в начале координат на фазовой плоскости.

Проведенное моделирование системы автоматического регулирования с переменной структурой показало работоспособность всех трех вариантов структуры регулятора НР или ЛР или НР + ЛР, и заметно более высокое качество переходных процессов (в частности, меньшее время регулирования и отсутствие (уменьшение) автоколебаний) для системы НР + ЛР.

1. Затонский, А.В. Позиционное управление в сложных системах / А.В. Затонский, Ю.П. Кирин, В.Ф. Беккер. – Березники : БФ ПермГТУ, 2008. – 150 с.

КОМБИНИРОВАННОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ

А.А. Затолокина, В.С. Балакирев

Московский государственный университет инженерной экологии,
klari85@mail.ru

При автоматизации технологических процессов широко используют одноконтурные автоматические системы регулирования (АСР). Типовая АСР состоит, как правило, из ряда последовательно соединенных элементов: технологический объект управления (ТОУ), датчик, преобразователи сигналов (нормирующий А/К, К/А и др.), аналоговый/цифровой регулятор или программируемый микроконтроллер, исполнительный механизм, регулирующий орган, межэлементные линии связи. Подобные схемы соединения элементов относятся к классу безызбыточных (нерезервированных) систем, характеризуемых низким уровнем безотказности, ограниченным сверху функцией надежности самого ненадежного ("слабого") элемента АСР. К числу таких "слабых" элементов можно отнести динамический ТОУ и автоматический регулятор. Для повышения уровня надежности "слабых" элементов и, следовательно, всей АСР необходимо заранее выявлять программно-технические дефекты и ошибки, порождающие наблюдаемые отказы типа "обрыв" и/или метрологические отказы ТОУ, регулятора и всей системы регулирования.

Для выявления дефектов (ошибок) элементов чаще всего используют так называемое тестовое или, реже, функциональное диагностирование. В первом случае на вход автономного элемента подают эталонные сигналы или тесты $x_j^3(t)$, $j = \overline{1, m}$ и регистрируют выходные сигналы элемента $y_j(t) = \bar{y}_j(t) + z(t)$, где $\bar{y}_j(t)$ – реакция на $x_j^3(t)$ и неизвестный дефект D_x , $x = \overline{1, m}$, m – число неизвестных одинарных дефектов разного типа; $z(t)$ – случайная помеха с математическим ожиданием $M\{z\} = 0$ и дисперсией $\sigma_z^2 < \infty$. Сигналы $y_j(t)$ сравнивают с известными эталонными реакциями элемента на тесты $x_j^3(t)$ и

дефекты D_j , обозначаемые далее через $y_j^3(t, D_j)$, $j = \overline{1, m}$. Если σ_z^2 пренебрежимо мало и $y_j(t) \approx \bar{y}_j(t, D_x)$, то, вычисляя некоторое расстояние $\rho(\bar{y}_j(t, D_x), y_j^3(t, D_j))$ и сравнивая его с малым порогом различимости Δ_1 , можно принять решение о том, что при $\rho(\bar{y}_j(t, D_x), y_j^3(t, D_j)) < \Delta_1$ дефект D_x есть D_j или при $\rho(\bar{y}_j(t, D_x), y_j^3(t, D_j)) > \Delta_1$ повторить сравнение $\bar{y}_j(t, D_x)$ с $y_{j+1}^3(t, D_{j+1})$ и т.д. до тех пор, пока не идентифицируем D_x по списку дефектов D_j , $j = \overline{1, m}$ или объявим D_x новым неизвестным дефектом с номером $m + 1$.

Очевидным достоинством тестовой диагностики является относительно малый объем вычислений в реальном времени (отметим, что эталонные реакции $y_j^3(t) \approx \bar{y}_j(t)$ для каждого дефекта D_j , $j = \overline{1, m}$ находятся заранее по диагностическим моделям или по экспериментальным данным). К основным недостаткам тестовой диагностики относятся требования вывода элемента из состава АСР (что совершенно нереализуемо для ТОУ) и малости σ_z^2 .

Функциональное диагностирование элемента проводится на работающей АСР при условиях: входной $x(t)$ и выходной $y(t) = \bar{y}(t) + z(t)$ сигналы измеримы: дисперсии σ_x^2 и σ_y^2 заметно отличаются от нуля; построены m диагностических уравнений вида $\dot{\bar{y}}_j(t) = f(\bar{y}_j(t), x(t), D_j)$, где D_j – дефект с номером j , $j = \overline{1, m}$, $\bar{y}_j(t) = \bar{y}_j(t, D_j)$ – решение уравнений с дефектом D_j при $t \in [0, T]$; имеется m параллельно работающих процессоров, интегрирующих в реальном времени диагностические уравнения для получения решений $\bar{y}_j(t, D_j)$ (вычисление всех $\bar{y}_j(t)$, $j = \overline{1, m}$ возможно и на одной быстродействующей ЭВМ, но тогда диагноз будет получен с запаздыванием). Далее по фактическому $y(t)$ и расчетному $\bar{y}_j(t, D_j)$ сигналам вычисляется расстояние $\rho(y, \bar{y}_j)$, которое последовательно применяется для идентификации неизвестного дефекта D_x : если $\rho(y, \bar{y}_j) \in [\Delta_0, \Delta_1]$, то наверное D_x есть D_j ; иначе $\bar{y}_j(t, D_j)$ заменяется в $\rho(y, \bar{y}_j)$ на $\bar{y}_{j+1}(t, D_{j+1})$ и снова проверяется условие $\rho(y, \bar{y}_{j+1}) \in [\Delta_0, \Delta_1]$ и т.д. до тех пор, пока не будет определен D_x или исчерпан список дефектов D_j , $j = \overline{1, m}$. В данном случае удается при сделанных допущениях оценить величину $\Delta_0 = T\sigma_z^2$, являющуюся нижней гранью эвклидова расстояния $\rho(y, \bar{y}_j)$.

Очевиден основной недостаток функциональной диагностики – большой объем вычислений в реальном масштабе времени.

Нами предлагается комбинированный алгоритм диагностирования работающей АСР, который использует приемы тестовой диагностики, т.е. вместо случайных процессов $x(t)$, $y(t)$ применяет заранее полученные эталонные тесты $x_j^3(t)$ и реакции на них $y_j^3(t)$, $j = \overline{1, m}$. Подобная замена сигналов позволяет существенно снизить объем вычислений при диагностике элементов АСР.

Будем диагностировать АСР, в состав которой входит стационарный ТОУ, описываемый в малом передаточной функцией $W_0(p, a)$, где $a = \{a_1, a_2, a_3\}$ – вектор параметров (коэффициент усиления, запаздывание, постоянная времени), и автоматический регулятор, реализующий закон $W_p(p, S)$, $S = \{S_1, S_2, S_3\}$ – вектор параметров настройки.

Сформируем список возможных дефектов D_j , возникающих в элементах АСР. Предварительно введем вектор $a = \{a_j\}$, $j = \overline{1, 6}$, где a_4, a_5, a_6 есть S_1, S_2, S_3 , и зададим номинальные значения \bar{a}_j , при которых в элементах отсутствуют дефекты, или есть "нулевой" дефект. Будем считать, что дефекты D_j и D_{j+1} возникают при $\bar{a}_j + \Delta a_j$ и $\bar{a}_{j+1} - \Delta a_{j+1}$, $j = \overline{1, 6}$. Тогда список дефектов будет таким: $M = \{D_j\}$, $j = \overline{0, 12}$, т.е. в M включен и "нулевой" дефект D_0 . Каждый из этих дефектов D_j , $j = \overline{1, 12}$ вызывает метрологический отказ АСР типа $y(t) \notin [y^-, y^+]$ и или $I(y) \notin [I^-, I^+]$; здесь y^-, y^+ и I^-, I^+ – допуски,

$I(y)$ – критерий качества работы системы регулирования, например $I(y) = \max_t |y(t)|$ или $I(y) = \int_0^{t_0} |y(t)| dt$. Пусть на ТОУ действует нормальный случайный процесс $x(t)$ с кусочно-постоянным на отрезке $[0, t_0]$ математическим ожиданием $M\{x\}$ и дисперсией σ_x^2 , а выходной процесс $y(t) = \bar{y}(t) + z(t)$, где $M\{z\} = 0$, $\sigma_z^2 < \infty$, $\bar{y}(t)$ зависит от $x(t)$ и одного неизвестного дефекта $D_x \in M$. Кроме того, пусть известны эталонные сигналы $x_j^3(t)$ и соответствующие им реакции $y_j^3(t, D_j)$ для всех D_j из списка M . Тогда возможен следующий алгоритм диагностирования элементов АСР:

- 1) определяем интервал квазистатического режима, когда оценки $\bar{M}\{x\} \approx \text{const}$ и $\bar{M}\{y\} \approx \text{const}$;
- 2) подаем на вход элемента суммарный сигнал $x(t) + x_j^3(t)$, где $|x_j^3(t)| > 3\sigma_x$;
- 3) регистрируем выходной сигнал $y(t)$, который центрируем относительно известного $\bar{M}\{y\}$ и выделяем реакцию $\Delta y_j(t, D_x)$ на $x_j^3(t)$ и неизвестный дефект D_x ;
- 4) определяем расстояние $\rho(\Delta y_j(t, D_x), y_j^3(t, D_j)) = \rho_j, j = 0, 1, \dots, 12$;
- 5) реализуем решающее правило: если $\Delta_0 < \rho_j < \Delta_1$, то наверное дефект D_x есть D_j ; иначе повторить расчет по п. 4, 5 с новым $y_{j+1}^3(t, D_{j+1})$ и ρ_{j+1} и т.д., пока не идентифицируем D_x как дефект из списка M .

Рассмотренный алгоритм имеет много противопоказаний к применению в диагностических системах реального времени и нуждается в детализации и широкой апробации.

УПРАВЛЕНИЕ НАГРЕВАНИЕМ НЕСТАЦИОНАРНОГО ОБЪЕКТА

М.Н. Ерыпалова

Березниковский филиал ПермГТУ, erymarya@yandex.ru

В технологической практике иногда необходимо организовать в объекте управления искусственную нестационарность, способствующую интенсификации тепломассообмена, порождаемого и способствующего химическому превращению. Таким объектом является процесс отгонки примесей (сепарации) в производстве титана, включающий операции продолжительного прогрева блока титановой губки, теплоемкость которого изменяется в ходе отгонки примесей более чем в два раза, в пределах от 1000 и до 2500 Дж/(кг · К).

Пусть блок титановой губки подвергается равномерному нагреванию с заданной интенсивностью Q через поверхность площадью F и отдает тепло вследствие конвективного теплообмена через противоположную поверхность (рис. 1). Объект характеризуется следующими параметрами: h – высота объекта, м; $T_{\text{окр}}$ – температура окружающей среды, К; $T_{\text{пов}}$ – температура поверхности объекта, К; $T_{\text{нагр}}$ – температура нагревателя, К; Q – подводимый тепловой поток, Вт/м²; $Q_{\text{окр}}$ – тепловой поток в окружающую среду, Вт/м²; F – площадь поверхности объекта, м²; k – коэффициент теплопередачи, Вт/(м² · К); λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м · К).

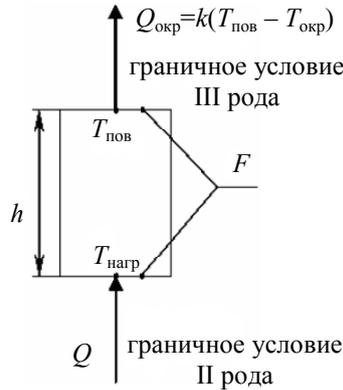


Рис. 1. Схема теплового объекта управления

Уравнение теплового баланса рассматриваемого объекта имеет следующий вид:

$$\rho h c k^{-1} dT / dt + T(t) = (\lambda + 0,5kh)Q(t) / k\lambda + T_{\text{окр}}(t).$$

Выполняя замены: $T(t) = \bar{T} + \theta(t)$, $T_{\text{окр}}(t) = \bar{T}_{\text{окр}} + \Delta \bar{T}_{\text{окр}}$, $Q(t) = \bar{Q} + \Delta \bar{Q}(t)$ и перемещая начало координат в среднюю точку $(\bar{T}, \bar{T}_{\text{окр}}, \bar{Q})$, получаем уравнение динамики объекта:

$$T_{\text{об}} d\theta / dt + \theta(t) = k_{\text{об}} \Delta \bar{Q}(t) + \Delta T_{\text{окр}}(t),$$

где $T_{\text{об}} = \rho h c / k$; $k_{\text{об}} = (\lambda + 0,5kh) / k\lambda$.

С помощью приложения Simulink к программному пакету MATLAB построена имитационная модель системы управления, которая включает в себя объект управления, двухпозиционный регулятор с гистерезисом и средства наблюдения (осциллограф). Проведен вычислительный эксперимент при изменении теплоемкости блока, настройки регулятора – ресурс управления (тепловая мощность) $K = 130$ кВт, допустимое отклонение от заданного значения $\Delta a = 0,5$ К.

В результате наблюдений получен переходный процесс, а также фазовый портрет эволюции предельного цикла (рис. 2) и зависимость частоты автоколебаний от теплоемкости блока в аналитическом виде.

В [1] для простых объектов получена зависимость периода автоколебаний от параметров объекта:

$$T_k(t) = 2\rho h c(t) k^{-1} \ln(KQ + \Delta a) / (KQ - \Delta a).$$

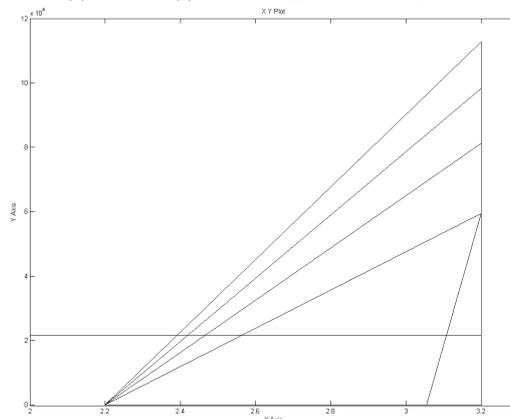


Рис. 2. Фазовый портрет системы

Задавшись линейным изменением теплоемкости во времени технологического процесса $c(t) = \alpha t + \beta$ при прочих неизменных параметрах объекта, получим формулу для частоты автоколебаний $\omega(t) = 1/T_k(t) = K^* / (\alpha t + \beta)$, где $K^* = \text{const}$ – комбинация остальных переменных. Учитывая, что в реальных объектах $\alpha \ll 1$, эта зависимость будет иметь почти линейный вид.

Анализ переходного процесса данного объекта показывает, что поддерживаемая двухпозиционным регулятором амплитуда автоколебаний температуры остается почти неизменной, а их частота зависит от теплоемкости объекта и меняется на протяжении заданного временного интервала $t [0; 14]$ с. Это является следствием нестационарности объекта управления. Полученная модель может использоваться для идентификации параметров объекта T и $k_{об}$ в любой момент времени.

Изменение формы автоколебаний температуры на отрезке времени от 0 до 14 с происходит с изменением периода автоколебаний примерно от 3 до 1,7 с.

Предложенный подход к исследованию системы с нестационарным объектом управления позволяет: в наглядной форме отображать внутренние изменения свойств объекта; определить параметры автоколебаний в системе; изменением настроечных параметров регулятора ($K, \Delta a$) приводить параметры автоколебаний к желаемым значениям.

1. Кирин, Ю.П. Совместное проектирование технологии и системы управления вакуумной сепарацией губчатого титана / Ю.П. Кирин, В.Ф. Беккер, А.В. Затонский. – Пермь, 2008. – 124 с.

УПРАВЛЕНИЕ ПОДАЧЕЙ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА И АЗОТА В ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТАНОВКЕ "ИСКУССТВЕННЫЕ ЛЕГКИЕ"

С.В. Гудков, А.Ю. Хромов, С.И. Дворецкий

Тамбовский государственный технический университет

Динамическая установка "Искусственные легкие" (ИЛ), создающая пульсирующий расход газовой дыхательной смеси с изменением объемного расхода, близким к синусоидальному, применяется для испытания и получения основных характеристик изолирующих дыхательных аппаратов (ИДА)

В настоящее время динамические установки ИЛ обеспечивают условное потребление кислорода, так как отсутствует точная имитация потребления кислорода человеком при различных дыхательных режимах и дыхательных коэффициентах (соотношениях потребления кислорода и выделения диоксида углерода). Изменение параметров дыхания существующих установок производится вручную оператором, но при использовании ИДА человеком параметры дыхания пользователя и характеристики ИДА тесно связаны друг с другом. Таким образом, результаты испытаний изолирующего дыхательного аппарата на установках ИЛ и добровольцах в некоторой мере отличаются, что затрудняет процесс проектирования ИДА. Для регистрации быстротекущих процессов необходима связь ИЛ с персональным компьютером (РС), который будет вести запись данных в процессе испытания, а также оснащение установки приборами, обладающими скоростными характеристиками.

За основу при конструировании стенда с полной имитацией потребления кислорода использован принцип удаления из стенда кислорода с заменой его эквивалентного по массе и объему количества азота. Принципиальная схема стенда приведена на рис. 1.

Подача в систему диоксида углерода и азота осуществляется из баллонов 1 и 2 через редукторы. Далее через управляемые клапаны 2 и 5 газы поступают в ресиверы 8 и 9. Через регуляторы расхода газа 4 и 7 диоксид углерода и азот подаются в эластичную емкость 6, а затем в основной насос 10. В стенде циркулирует трехкомпонентная смесь: CO_2 , O_2 , N_2 , концентрации компонентов переменны. В процессе работы с помощью газоанализатора 18 измеряются концентрации двух компонентов – кислорода и диоксида углерода на линии вдоха и рассчитывается количество ГДС, проходящее через эластичную емкость 16 и регулятор расхода газа 17, которое необходимо удалить на фазе вдоха. На основании уравнений материального баланса ведется расчет количества диоксида углерода и азота, которые необходимо подать в систему.

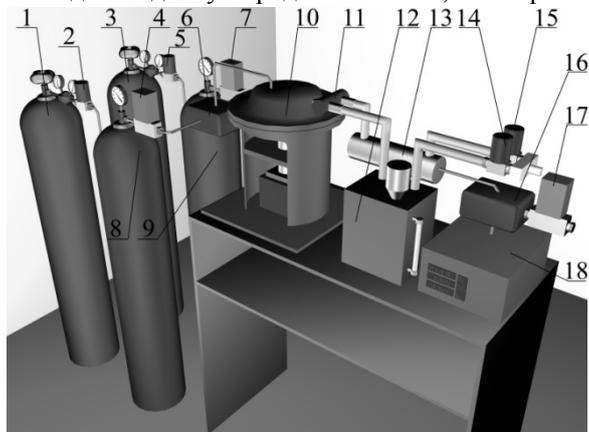


Рис. 1. Принципиальная схема стенда:

1, 3 – баллон с редуктором; 2, 5, 14, 15 – управляемый клапан;
4, 7, 17 – регулятор расхода газа; 6, 16 – эластичная емкость;
8, 9 – ресивер; 10 – основной насос; 11 – клапанная коробка;
12 – увлажнитель; 13 – холодильник; 18 – газоанализатор

Расход диоксида углерода, азота и газовой дыхательной смеси, удаляемой из системы, устанавливается с помощью регуляторов расхода газа, имеющих связь с персональным компьютером.

Для организации обмена данными между цифровыми регуляторами расхода газа, связанными в сети по интерфейсу EIA/TIA-485 с ведущим устройством – РС, используется протокол MODBUS.

При построении сети используется принцип организации ведущий-ведомый (master-slave). В сети может присутствовать только один ведущий узел и несколько ведомых узлов. В качестве ведущего узла выступает РС, в качестве ведомых узлов – регуляторы расхода газа, модули ввода и вывода, газоанализатор и измерители-регуляторы. При данной организации инициатором циклов обмена может выступать исключительно ведущий узел.

Запросы ведущего узла – индивидуальные (адресуемые к конкретному прибору). Ведомые узлы осуществляют передачу, отвечая на индивидуальные запросы ведущего узла. При обнаружении ошибок в получении запросов либо невозможности выполнения полученной команды, ведомый узел в качестве ответа генерирует сообщение об ошибке.

Обмен в линии осуществляется в полудуплексном режиме пакетами фиксированной структуры. Протокол ориентирован на использование в сетях с одним ведущим устройством (компьютером) и не предусматривает средств арбитража.

Пакет, отправленный ведущим устройством ведомому, предполагает обязательный ответ от последнего. Отсутствие ответа или ошибка в контрольной сумме трактуется ведущим устройством как ошибка передачи или неисправность ведомого устройства.

В установке применяется непрерывное измерение объемной доли диоксида углерода и кислорода во вдыхаемой газовой смеси с параллельной обработкой данных на компьютере и контролем расходов газов, подаваемых в основной насос установки ИЛ. Это не требует использования вспомогательной установки для отбора проб и устройства, необходимого для прямого анализа вдыхаемого газа, поступающего из ИДА в искусственные легкие.

В данной схеме основную смысловую нагрузку несет вычислительный аппарат – программное, аппаратное, математическое обеспечения. Основные преимущества такой схемы: изменение дыхательной нагрузки может быть установлено программно, что позволяет отстранить физическое влияние человека на параметры установки; данная установка отличается наибольшей конструктивной простотой в отличие от остальных, поскольку отсутствуют сложные связи и дополнительные узлы; отсутствие ограничений на испытываемые аппараты; поскольку в данной схеме не происходит никаких посторонних физико-химических реакций, эта установка обеспечит адекватное испытание любому средству индивидуальной защиты человека.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ СЫРЬЯ ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПОСТАВОК

Ю.А. Гавриленков, А.В. Бородин

Московский государственный университет прикладной биотехнологии,
iar@msaab.ru

Системный анализ мясоперерабатывающего предприятия показал, что наибольшее влияние на работу предприятия оказывают своевременность поставок сырья и содержание запаса сырья, способного удовлетворять спрос в критических ситуациях.

В связи с этим возникает задача отыскания оптимальной стратегии управления запасами, связанная с определением рациональных объемов и структуры исходного сырья на различных технологических стадиях для максимального удовлетворения потребностей производства. В общем случае задача не имеет аналитического решения из-за нестационарности сырьевых потоков, разброса их параметров по составу и свойствам, изменений производственной программы, обусловленной случайными колебаниями спроса и заказов торгующих организаций, и многих других факторов, трудно формализуемых даже при вероятностных состояниях системы. Поэтому выбор оптимальных стратегий управления запасами сводится к решению задачи комплексного имитационного моделирования мясоперерабатывающего производства.

В рамках изучения данной проблемы разработан программный комплекс "Имитационная модель управления запасами", укрупненный алгоритм которого представлен на рис. 1. Комплекс включает в себя пять возможных моделей управления запасами в условиях неопределенности поставок сырья. Он обладает возможностью на основе введенных пользователем или генерируемых самой системой данных производить расчеты и выдавать советы по принимаемой стратегии, в зависимости от интенсивности спроса и поставок сырья. Программный комплекс состоит из самой системы, разработанной на языке высокого уровня C++ в среде разработки Borland C++ Builder 6.0, и реляционной базы данных, созданной в среде InterBase 7.0 на языке SQL. Модели работают следующим образом. Модель 1 – работа предприятия с постоянными поставками, без хранения запасов. Модель 2 – работа предприятия с избытком поставляемого сырья, наполнение склада запасом. Модель 3 – работа предприятия с нехваткой поставляемого сырья, использование запасов со склада. Модель 4 – работа предприятия в режиме задержки поставок, использование запасов со склада, запасов хватает. Модель 5 – работа предприятия в режиме задержки поставок, использование запасов со склада, запасов не хватает, закупка недостающего сырья у сторонних поставщиков. С помощью гибкой системы создания отчетов после запуска модели можно вызвать сводную таблицу по интересующим нас полям. Из работы программы видно, что в зависимости от выбранной модели управление запасами идет по тому или иному пути.

Нами разработаны теоретическая и имитационная модели, позволяющие на основании статистических данных решать задачу имитационного моделирования и принимать оптимальную стратегию решения в диалоговом режиме. Таким образом, рассмотренная имитационная модель управления запасами позволяет отобразить всевозможные варианты работы мясоперерабатывающего предприятия в условиях неопределенности. Ввиду несоответствия спроса и непостоянства поставок сырья, а также в силу еще ряда факторов предусмотрены корректировка и изменение стратегии управления предприятием в любой момент времени.

Также рассмотрена имитационная модель движения материальных потоков на мясоперерабатывающем предприятии, в которой учитывается приемка сырья, определение его (сырья) на склад и его отгрузка в производственные цеха. В имитационной модели рассмотрены возможные устранения несоответствий и предотвращения нарушения производственных циклов и созданы определенные запасы сырья, компенсирующие: дискретность поставок и длительность интервалов между постав-

ками при непрерывном потреблении или близком к нему режиму; случайные колебания в объемах поставок; предполагаемые изменения конъюнктуры, связанные с сезонностью спроса и производства.

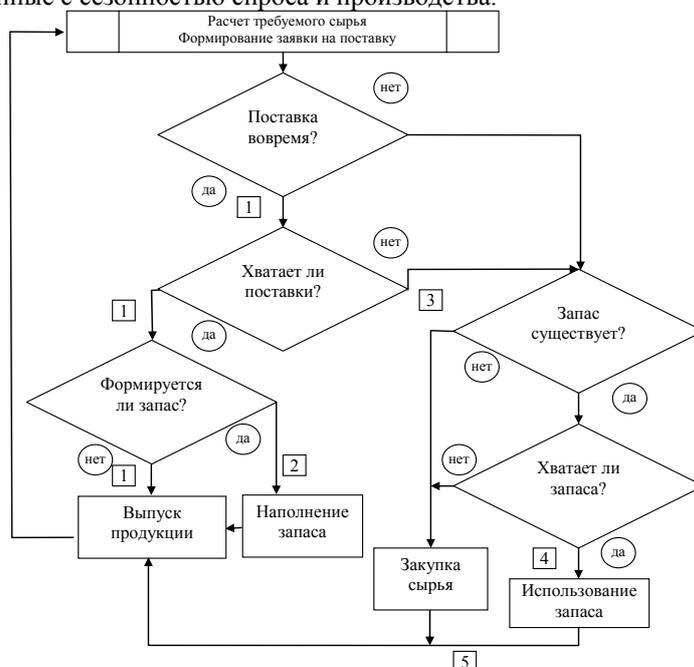


Рис 1. Структурная схема программного комплекса "Имитационная модель управления запасами"

В будущем планируется дальнейшее усовершенствование программного комплекса и моделей за счет ввода новых влияющих факторов и увеличения объема исходных данных. Конечный итог работы будет заключаться в создании полноценного программного комплекса, способного оптимизировать работу любого предприятия в условиях случайных внешних возмущений.

ПОСТРОЕНИЕ БЕСПРОВОДНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

А.А. Заев, М.А. Заева, А.Э. Софиев

Московский государственный университет инженерной экологии

Современные химические и нефтеперерабатывающие заводы обладают большой протяженностью, что приводит к сложности в прокладке кабельных соединений, необходимых для функционирования большого количества систем управления – начиная от управления отдельными химическими установками, технологическими процессами и заканчивая системами контроля и управления производством в целом. Также при модернизации технологических схем возникает необходимость в подключении новых и достаточно удаленных от пульта управления объектов, при этом прокладка дополнительных кабельных коммуникаций может быть невыгодна или невозможна. На сегодняшний день рациональным решением данной проблемы является использование беспроводных технологий связи в совокупности с надежными и быстрыми протоколами передачи диагностической и управляющей информации между объектами [1, 2].

Беспроводное решение, построенное на базе радиоэлектронных станций (РЭС) "РАПИРА" разработки ИППИ РАН, предоставляет возможность объединения контрольно-измерительных приборов наряду с исполнительными механизмами в единую беспроводную сеть. Семейство высокопроизводительных радиомаршрутизаторов, поддерживающих весь спектр протоколов 802.11x. РАПИРА предназначено для быстрого развертывания беспроводных территориально-распределенных сетей и объединяет функции четырех устройств: радиомодема, маршрутизатора, сетевого экрана и VPN-сервера доступа. Радиус действия достигает 40 км. На химических объектах располагаются сенсорные узлы, разработанные ИПС РАН, собирающие данные с датчиков давления, температуры, газового контроля. Также на объекте возможно размещение сенсорного узла с устройствами управления технологическим процессом – например, управление отсечными клапанами и т.п. Сенсорные узлы передают собранные данные на шлюзы, выполненные на базе промышленных компьютеров, где полученная информация передается на промышленный контроллер посредством протокола MODBUS/TCP. Вся полученная информация с химического объекта также поступает на пользовательские ЭВМ и сервер базы данных АСУ ТП.

Одно из существенных преимуществ организации беспроводной сети на базе РЭС "РАПИРА" заключается в исключительно широком диапазоне частот, в котором функционирует данное оборудование. Серийные модификации РЭС "РАПИРА" работают в диапазонах от 2,3 ГГц до 6,425 ГГц. В большинстве промышленных и густонаселенных регионов России получение частотных разрешений и работа в "нестандартных" диапазонах 2,3 – 2,395 ГГц, а также 5,8 – 6,4 ГГц являются самым простым и рациональным способом для организации беспроводной системы управления.

Многоуровневый подход к обеспечению безопасности сети позволяет поддерживать защиту информации от несанкционированного доступа. Узлы беспроводной сети используют методы шифрования, аутентификации, верификации, защиты от помех. В качестве протокола передачи данных нами выбран наиболее распространенный вариант MODBUS для применения в промышленности – ModBUS/TCP. Промышленный протокол ModBUS использует для передачи данных последовательные линии связи RS-485, RS-422, RS-232, в ходе развития промышленных сетевых технологий он адаптирован к сетям, использующим протокол TCP/IP, что дало достаточно большие возможности для надежной и качественной передачи служебной

информации. Протокол ModBUS/TCP основан на клиент-серверной архитектуре и направлен на использование в контроллерах с программируемой логикой.

Сети, построенные с использованием указанных средств, обладают функцией автоматической реконфигурации и маршрутизации, что позволяет быстро и эффективно проложить кратчайший маршрут прохождения сетевых данных. Каждая РЭС является полноправным, независимым участником беспроводной сети и способна самостоятельно обмениваться данными с другими РЭС. Каждая РЭС может передавать как свою информацию, так и информацию с других приборов – в этом случае она является транслятором сигнала. Каждая РЭС автоматически находит наиболее удобный путь для передачи сигнала. При возникновении препятствий для прохождения сигнала по уже однажды пройденному маршруту сеть автоматически перестроится на новую структуру каналов обмена информацией. Подобный способ организации передачи информации обладает высокой надежностью.

Таким образом, использование беспроводных решений позволяет узнать больше о технологическом процессе и увидеть возможности его улучшения, составить прогнозы о возможности отказов, избежать незапланированных остановов – т.е. собрать больше информации для более эффективного управления.

1. Rosemount 1151 Pressure Transmitter, Product Data Sheet, 00813-0100-4360, Rev HA, March 2008, © 2008 Rosemount Inc.
2. Rosemount 2088, 2090P, and 2090F Pressure Transmitters, Reference Manual. 00809-0100-4690, Rev EA. March 2007, © 2008 Rosemount Inc.

ГИБРИДИЗАЦИЯ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Р.В. Гребенников, И.Я. Муромцева

Тамбовский государственный технический университет,
crems@crems.jesby.tstu.ru

Разработка систем энергосберегающего управления (СЭУ) энергоемкими динамическими объектами является актуальной и сложной в теоретическом отношении задачей. Соответствующая проблемная область включает обширный математический аппарат анализа и синтеза оптимального управления, идентификации моделей динамики, методики экспериментальных исследований реальных объектов (тепловых аппаратов, машин с электроприводами, транспортных средств и др.). Проектировщики систем автоматического управления в основном используют SCADA пакеты с типовым алгоритмическим обеспечением, которое не включает алгоритмы оптимального управления с минимумом затрат энергии или расхода топлива.

Некоторые алгоритмы энергосберегающего управления позволяют в автоматизированном режиме получать программный продукт, представляющий собой демонстрационную версию экспертной системы (ЭС), основанную на теоретических научных знаниях или моделях (сокращенно – ЭСМ) [1]. Его возможности ограничены случаями, когда модели динамики объектов управления описываются линейными дифференциальными уравнениями не выше второго порядка, управление скалярное, шумы в каналах управления и контроля пренебрежимо малы. Основными недостатками ЭСМ являются: сложность и трудоемкость разработки новых моделей для базы знаний (БЗ), необходимость привлечения для этого специалистов высокого класса в узкой предметной области, существенность различий между процессами в реальных объектах и получаемых с помощью теоретических моделей, недостаточное использование экспериментальных сведений о предметной области.

Вместе с тем от этих недостатков свободны ЭС, использующие рассуждения на основе опыта (ЭСО) [2]. Эти системы позволяют накапливать практический опыт по применению алгоритмов энергосберегающего управления реальными объектами без привлечения экспертов в узкой предметной области, сокращать время на проектирование алгоритмического обеспечения, если в базе данных (БД) имеется случай с аналогичными исходными данными, в полной мере использовать удачные результаты и избегать допущенных ранее ошибок, в том числе в сложных ситуациях.

В связи с этим существующая версия ЭСМ по энергосберегающему управлению развивается в гибридную экспертную систему (ГЭС), которая использует теоретические модели и рассуждения на основе опыта. Такая ГЭС обладает следующими достоинствами: обеспечивается внесение удачных примеров в БД, которые могут быть использованы для управления выводом на основе модели; повышается производительность решения задач за счет проверки аналогичных случаев до начала поиска посредством рассуждений на основе моделей; увеличиваются возможности объяснения ситуаций пользователям; накапливается статистический материал для оценки надежности и эффективности систем управления.

Важнейшими компонентами ГЭС являются БЗ, содержащая теоретические модели; БД, обеспечивающая рассуждения на основе опыта, и соответствующий интерфейс. Для построения и развития БЗ разработана информационно-технологическая среда.

В БЗ выделяются две части – фундаментальные знания, характеризующие суть математических методов анализа и синтеза энергосберегающего управления, и знания прикладного характера, используемые пользователем – разработчиком алгоритмического обеспечения, который не является профессионалом в узкой предметной области. Вторая часть составляет репозиторий знаний. Хранилище фундаментальных знаний (ХФЗ) используется как экспертами, развивающими ГЭС созданием новых моделей, так и обычными пользователями для получения информации о том, как получены прикладные результаты. В ХФЗ содержатся: строгие математические постановки задач энергосберегающего управления; соотношения принципа максимума для определения видов функций оптимального управления (ОУ) при различных функционалах; соотношения для определения синтезирующих переменных; условия для вывода уравнений границ областей видов функций ОУ; формулы для расчета параметров программного ОУ и получения синтезирующей функции в случае применения позиционной стратегии; соотношения, используемые при решении обратных задач анализа оптимального управления; постановки задач и алгоритмы, используемые при идентификации моделей динамики; формулы для расчета траекторий изменения фазовых координат, управляющих воздействий и значений функционала; соотношения методов принципа максимума, динамического программирования и синтезирующих переменных для расчета ОУ многостадийными объектами и др.

БД, содержащая сведения о результатах внедрения СЭУ, дополняет теоретические модели по следующим направлениям: реальный эффект от использования алгоритмов энергосберегающего управления; виды моделей динамики, состав моделей для многостадийных объектов, значения параметров и времени запаздывания; используемые стратегии реализации ОУ;

виды функций оптимального управления, число и состав областей функций ОУ в различных состояниях функционирования; ограничения, накладываемые на изменения составляющих вектора фазовых координат и управления; наличие и интенсивность шумов и т.д.

Накопленные данные позволяют более обоснованно принимать решение о целесообразности внедрения СЭУ за счет учета реальных эффектов энергосберегающего управления и возможности оценки рисков, сократить время на решение задач идентификации моделей динамики, т.е. выбора вида модели и оценки ее параметров, выдвигать предположения о сложности алгоритмического обеспечения и целесообразной стратегии реализации ОУ. С демонстрационным модулем ЭС можно ознакомиться в сети Internet (<http://www.iptop.net/di/>).

Работа выполнена при поддержке Гранта Президента РФ для молодых ученых МД-2025.2007.8.

1. Муромцев, Д.Ю. Информационные технологии проектирования систем энергосберегающего управления / Д.Ю. Муромцев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2007. – Т. 13, № 3. – С. 738 – 743.

2. Люгер, Джордж Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем / Джордж Ф. Люгер. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2003. – 864 с.

ПРИМЕНЕНИЕ КОГНИТИВНОЙ ГРАФИКИ В ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ СИСТЕМАХ

Д.Ю. Муромцев, Н.Г. Чернышов, В.В. Аксенов

Тамбовский государственный технический университет

Наиболее сложными и трудоемкими при реализации информационно-управляющих систем являются задачи анализа и синтеза оптимального управления. На данном этапе исследований окончательно формулируется задача оптимального управления с учетом полученной модели динамики, выполняется полный анализ задачи на множестве состояний функционирования, решаются задачи синтеза алгоритмического обеспечения для управляющего устройства, выбирается стратегия реализации оптимального управления и т.д. [1]. Из этого следует, что при создании системы энергосберегающего управления необходимо учитывать значительный объем и сложность вычислений, связанных с проведением полного анализа оптимального управления, которые должны быть оперативно выполнены в реальном масштабе времени управляющим контроллером или компьютером. Это накладывает определенные ограничения на работу системы оптимального энергосберегающего управления с очевидным снижением ее эффективности. Одним из возможных способов решения этой проблемы является применение принципов когнитивной графики. На рис. 1 приведен пример вида функций оптимального управления, полученный в результате проведенного полного анализа на примере модели динамики реального двойного интегратора.

В качестве когнитивного образа, отображающего области существования видов оптимального управления, представим виды функций оптимального управления, полученные в результате проведенного полного анализа на примере модели динамики реального двойного интегратора [1]. Данный образ может быть записан в память управляющего контроллера и в дальнейшем использован при работе системы оптимального энергосберегающего управления. Это значительно упрощает процесс синтеза управляющих воздействий с учетом возможных изменений состояний функционирования объекта. Исключение процедуры

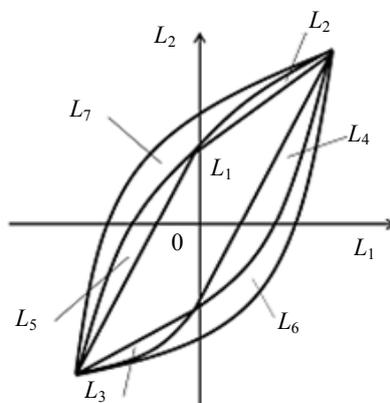


Рис. 1. Области L_j существования видов функций оптимального управления

полного анализа оптимального управления в реальном масштабе времени при смене состояния функционирования существенно понижает требования к быстродействию разрабатываемой системы оптимального управления, что положительно сказывается как на себестоимости устройства, так и на уровне его энергопотребления. С другой стороны, использование геометрического подхода приводит к минимизации ошибок принятия решений, что положительно сказывается как на быстродействии системы, так и экономической эффективности ее применения.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ МД-2025.2007.8.

1. Чернышов, Н.Г. Особенности создания систем энергосберегающего управления на множестве состояний функционирования / Н.Г. Чернышов, Д.Ю. Муромцев // Автоматика и вычислительная техника. – 2008. – № 3. – С. 56 – 68.

ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬНОГО КОТЛА

С.В. Данилкин, Ю.И. Коток

Тамбовский государственный технический университет, crems@crems.jesby.tstu.ru

Мировой энергетический кризис заставил многие страны пересмотреть свое отношение к потреблению топливно-энергетических ресурсов, в частности это коснулось проблемы эффективности использования топлива котельными. Разработка и внедрение информационно-управляющих систем (ИУС), обеспечивающих энергосберегающее управление котельными – одно из основных направлений повышения их коэффициента полезного действия, снижения удельного расхода топлива, обеспечения безаварийности работы.

Внедрение систем автоматизированного управления котлоагрегатами, построенных на основе программируемых контроллеров, позволяет автоматизировать процесс производства тепловой энергии в котлах и значительно упростить контроль и управление этим процессом. Применение указанной системы повышает эффективность функционирования котлоагрегата за счет снижения потребления энергоресурсов, рационального сжигания топлива, оперативного управления оборудованием и технологическим процессом.

Анализ показал, что до настоящего времени мало внимания уделялось задачам синтеза энергосберегающего управления в реальном времени, в основном исследовались задачи оптимального управления по быстродействию и квадратичному критерию. Оптимальное управление применительно к задаче минимизации затрат топлива гораздо сложнее по сравнению с задачами быстродействия, а также минимизации затрат электрической энергии, так как необходимо учитывать специфику процессов горения и теплообмена внутри теплового агрегата.

В настоящее время технологии управляемого нагрева находятся на стадии развития. В то же время растущие возможности микропроцессорной техники и возрастающие энергетические потребности производства требуют перехода к системам с более качественным уровнем управления. Наиболее часто используются линейные виды моделей динамики для расчета управляющих воздействий. В основном это связано с тем, что большинство систем в пределах ограниченного рабочего диапазона обладают приблизительно линейными характеристиками. Применение линейных моделей обуславливает значительные погрешности, если реальные динамические характеристики объекта отличаются от линейных. Один микроконтроллер с "заложеными" в него несколькими линейными регуляторами можно рассматривать как некоторый переключаемый регулятор.

Такая система управления может быть подключена к персональному компьютеру с соответствующей базой знаний или экспертной системой, которые будут выполнять роль супервизора и принимать соответствующее решение об управляющих воздействиях, минимизирующих расход топлива.

Как объекты управления котельные представляют собой МИМО-системы (Multi-Input Multi-Output), имеющие несколько входов и несколько выходов. Решение задач энергосберегающего управления динамическими режимами в таких системах встречает значительные трудности, которые обусловлены большим числом видов функций оптимального управления, накладываемыми ограничениями на управляющие воздействия и траектории изменения фазовых координат, наличием разного рода возмущающих воздействий, возможностью изменения исходных данных для численного решения задачи (параметры модели динамики, границы интервала допустимого управления, конечные значения фазовых координат и другие) на временном интервале управления.

Проведенные нами исследования показали, что в большинстве случаев результаты, получаемые при полном анализе задач оптимального управления с минимизируемым функционалом затраты энергии, могут быть использованы в задачах с функционалом вида расход топлива. Повышение энергетической эффективности при использовании полученных алгоритмов оптимального управления достигается за счет следующих факторов:

- 1) реализация оптимальных траекторий изменения фазовых координат на всем временном интервале управления, например, для тепловых объектов оптимальная траектория изменения температуры обеспечивает сокращение временного участка с наибольшими потерями тепла в окружающую среду;
- 2) оптимальное ведение динамических режимов при всех состояниях функционирования, т.е. в случае изменения модели динамики объекта или условий (исходных данных) задачи управления оперативно (в реальном времени) находится новое решение и реализуются энергосберегающие управляющие воздействия для существующей ситуации;
- 3) достижение задаваемого конечного значения вектора фазовых координат точно в требуемый момент времени, которое, в свою очередь, выбирается оптимальным;
- 4) замена обычных автоматических регуляторов энергосберегающими, которые устраняют значительные отклонения регулируемой величины от заданного значения с минимумом затрат энергии (расход топлива).

Информационно-управляющая система дает значительные преимущества: обеспечивает уменьшение численности обслуживающего персонала, следовательно, повышает производительность его труда; приводит к изменению характера работы и облегчению труда персонала; увеличивает точность поддержания рабочих режимов; повышает безопасность труда и надежность работы оборудования. Эти преимущества особенно важны для модульных котельных, которые сутками работают в автоматическом режиме без участия оператора.

Работа выполнена при поддержке Гранта Президента РФ для молодых ученых МД-2025.2007.8.

К ВОПРОСУ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ В СТЕКОЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

А.В. Мокляченко

Владимирский государственный университет, moklyachenko@mail.ru

Стекольное производство как объект управления характеризуется обусловленностью поведения окружающей среды (поставка сырьевых материалов, энергетических ресурсов, влияние рынка и др.), характером целевой установки (устойчиво-

стью и эффективностью), что определяет открытость системы и взаимосвязь со средой. Показатели качества листового стекла в процессе непрерывного производства, заболеваемость работников и выбросы в атмосферу могут описываться математическими моделями случайных процессов [1]. На основе полученных моделей взаимодействие между показателями производства листового стекла, может быть представлено в виде ориентированного графа $G = (X, U)$, изображенного на рис. 1, где Пл – плотность стекла; Кач 1, Кач 2, Лер – отходы процесса варки, формования и отжига стекла; Тем1см, Тем2см, Тем3см – температура стекломассы в печи по показаниям 1-й, 2-й, 3-й донной термопары; Н – нерастворимые осадки в

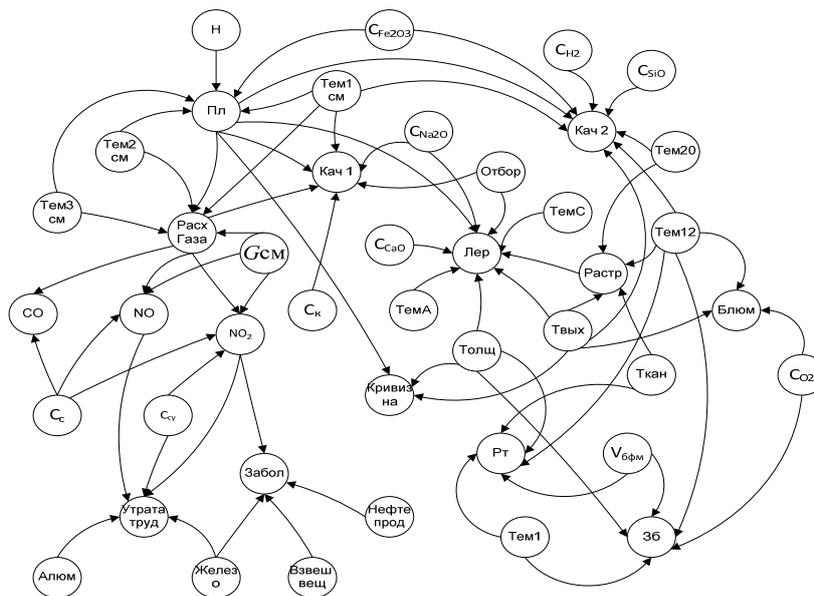


Рис. 1

шихте, C_{Fe2O3} – содержание оксида железа в стекле по массе; C_k – содержание карбонатов в шихте по массе; Отбор – отбортовка; Расх газа – расход газа на ванную печь; C_{Na2O} , C_{CaO} , C_{SiO2} – компоненты химического состава стекла по массе; C_{H2} – содержание водорода в защитной атмосфере; $T_{вых}$ – температура ленты стекла на выходе из флоат-ванны; Тем12, Тем1, Тем20 – температура олова в 12-м, 1-м, 20-м пролете, справа; Растр – отклонение показателя отраженного растра; Толщ – толщина вырабатываемой ленты стекла; ТемА, ТемС – температура в зонах А и С печи отжига; $G_{см}$ – производительность ванной печи по сваренной стекломассе; Зб – оптические искажения, видимые в проходящем свете; Рт – разнотолщинность ленты стекла; Кривизна – отклонение от плоскостности листа стекла; Блюм – блюм-эффект; $T_{кан}$ – температура выработочного канала стекловаренной печи; C_{O2} – содержание кислорода в защитной атмосфере флоат-ванны; $V_{бфм}$ – скорость бортоформирующей машины; CO – концентрация оксида углерода в выбросах; NO – концентрация оксида азота в выбросах; NO_2 – концентрация диоксида азота в выбросах; C_s – содержание соды в шихте по массе; $C_{су}$ – содержание сульфатов; Забол – случаи заболевания в течение месяца в пересчете на 100 работников; Утрата труд – временная утрата трудоспособности в течение месяца в пересчете на 100 работников; нефтепрод – концентрация нефтепродуктов в производственно-ливневой воде; железо – концентрация железа в производственно-ливневой воде; взвеш вещь – концентрация взвешенных веществ в производственно-ливневой воде; алюм – концентрация алюминия в производственно-ливневой воде.

Формально связи (парные отношения) U между вершинами X можно отобразить в виде квадратной бинарной матрицы, проиндексированной по обоим осям множеством вершин $X = (x_1, x_2, \dots, x_k)$, где k – число вершин графа.

На основе полученного графа нами построена матрица смежности $\Gamma(u_{ij})$ размерностью $k \times k$. Для оценки взаимодействия процессов и проверки наличия контуров в системе матрица Γ возводится в степень $\zeta = 2, 3, 4$. Матрица имеет нулевые элементы на главной диагонали, что говорит об отсутствии петель.

Для ориентированного графа связность всех $(k + 1)$ элементов соответствует выполнению условия [2]:

$$\sum_{i=0}^k \sum_{j=0}^k u_{ji} \geq (k+1) - 1, \quad i \neq j, \quad \sum_{i=0}^{42} \sum_{j=0}^{42} u_{ji} = 68 > 42,$$

где $u_{ij} = 1$, если между процессами x_i и x_j связь существует и направлена от x_i процесса к x_j , в противном случае равна 0; $i, j = 1, 2, \dots, k, i \neq j$.

Превышение общего числа связей между процессами над минимально необходимым $((k + 1) - 1) = 42$ характеризует структурную избыточность R , которая вычисляется по формуле:

$$R = \left(\frac{\sum_{i=0}^k \sum_{j=0}^k u_{ji}}{(k+1) - 1} \right) - 1, \quad i \neq j, \quad R = \frac{68}{42} - 1 \approx 0,6.$$

Связность структуры системы характеризуется структурной избыточностью, расчетное значение которой равно $R = 0,6$. Полученный результат характеризует тесную связь между вершинами графа.

Взаимозависимость показателей качества, негативного влияния производства на окружающую природную среду и заболеваемости требует применения системного подхода при принятии технических решений. Использование системного подхода позволяет связать в единое целое различные аспекты деятельности, оказывающие в итоге значимое влияние на успешную работу всего предприятия.

Организация эффективного процесса управления производством стекла за счет экономного использования природных ресурсов и уменьшения концентрации вредных веществ в выбросах и сбросах позволит снизить негативное воздействие на окружающую среду, что обеспечит безопасную работу персонала, занятого на производстве.

1. Макаров, Р.И. Автоматизация производства листового стекла (флоат-способ) / Р.И. Макаров, Е.Р. Хорошева, С.А. Лукашин. – М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2002.
2. Никифоров, А.Д. Управление качеством / А.Д. Никифоров. – М. : ДРОФА, 2004.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГОЛОВНЫХ УБОРОВ

Л.В. Луцкова, С.К. Лопандина

Энгельский технологический институт СГТУ,
ОАО "ЦНИИШП", lutikest@mail.ru

Процесс проектирования головных уборов в массовом производстве имеет свои специфические особенности, причиной которых является большое разнообразие методов моделирования и конструирования головных уборов, основанных, как правило, на личном опыте конструктора, на его интуиции, без каких-либо теоретических обоснований.

Анализ моделей и конструкций шитых головных уборов представленных производителями на потребительском рынке показывает, что независимо от направления моды, сезона и половозрастной группы при разработке новых моделей используются уже отработанные базовые конструкции головных уборов соответствующего ассортимента. Нет единой системы прибавок для конструирования головных уборов, нет единой методики проектирования различных геометрических форм деталей и головных уборов в целом, не существует единой структуры формул и последовательности построения деталей.

В настоящее время предлагается все больше специализированных САПР, которые можно использовать при проектировании современных головных уборов. Следовательно, стоит глобальная задача: создать единую методику конструирования основных и отделочных деталей головных уборов, позволяющую использовать САПР любой сложности.

Для решения этой задачи необходимо выполнить комплекс более мелких, но не менее важных задач по разработке единой терминологии и системы обозначений, т.е. теоретических основ методики моделирования и конструирования головных уборов.

Учитывая, что основой любой методики промышленного конструирования является размерная типология, нами по специально разработанной программе проведено антропометрическое обследование голов женщин, разработана единая система размерных признаков, разработан скульптурный эталон типовой головы среднего типоразмеророста, а также созданы теоретические основы для разработки единой методики конструирования женских головных уборов.

В разработанной методике проектирования головных уборов предлагается использовать единый метод построения отдельных деталей конструкции изделия с учетом размерной характеристики головы и вида линии присада. Основная цель разработки – унификация методов построения криволинейных участков элементов деталей головных уборов, для чего разработан математический аппарат для аппроксимации эмпирических кривых деталей головного убора определенными кривыми конического сечения. Для практического использования адаптирован метод аппроксимации криволинейных участков при помощи дуг окружностей. Для данного метода необходимо иметь следующие конструктивные элементы: две концевые точки эмпирической кривой; касательные или нормали эмпирической кривой в этих концевых точках.

Для САПР разработан алгоритм построения основных деталей головных уборов (клин, доньшко, стенка) и вспомогательных (детали подкладки, утепляющей и каркасной прокладки). Разработка новых моделей головных уборов может производиться на основе представленных в методике исходных модельных конструкций головных уборов различных видов.

Абрис типовой головы женщины в натуральную величину, полученный в результате антропометрических исследований, также положен в основу способа инвариантного моделирования головных уборов, основанного на взаимосвязи модели головного убора с реальными физиологическими особенностями головы человека, создании возможности представления новой модели головного убора, максимально приближенной к действительности на голове человека, и построении конструкций деталей головного убора, минуя процесс макетирования.

Новая методика проектирования головных уборов является перспективной, так как создаются предпосылки: для разработки и внедрения типизации, унификации и стандартизации деталей головных уборов; для широкого применения вычислительной и компьютерной техники на этапе проектирования.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ШВЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

И.Г. Полушенко, Т.В. Куликова

Энгельский технологический институт СГТУ, eti@techn.sstu.ru

Основной задачей, стоящей перед швейной промышленностью, является создание конкурентоспособной продукции, постоянное обновление ассортимента и повышение качества швейных изделий. Решение этих задач возможно при условии рационального мобильного планирования и управления процессами швейного производства, принятия быстрых и верных решений. Поэтому использование САПР (системы автоматизированного проектирования) является актуальным и позволяет значительно интенсифицировать технологические процессы швейного производства.

Надо отметить, что предприятия как малой, так и большой мощности способны извлечь выгоду из использования САПР. В настоящее время на многих предприятиях практикуется использование аналогов данной системы или упрощенных модификаций программ известных производителей, при этом за основу берутся цели и задачи, решаемые программой "оригиналом", а затем на ее базе выстраивается упрощенная (или же наоборот, усовершенствованная – нагруженная дополнительными функциями) модель новой программы.

Особенностью предлагаемого нами метода автоматизированного проектирования швейных потоков является разработка программного обеспечения в формате таблицы Microsoft Excel с помощью языка Visual Basic Application [1]. Программные модули, написанные на этом языке, легко модифицируются, выполняются с малыми затратами времени и занимают небольшой объем памяти. Разработанная программа может содержать любой объем технологических и организационных операций разной сложности, начиная с решения задач по умножению чисел и заканчивая сложными логическими вычислениями, со вставками элементов графики. В разработанной нами программе переменными параметрами являются – такт потока, цикловой такт, цикл согласования, минимальная месячная зарплата, количество рабочих дней, секундная тарифная ставка, которые изменяются в зависимости от проектируемых изделий, материалов и других условий. Разработанная программа с учетом введенных данных автоматически рассчитывает характеристики потоков и представляет их в табличной форме.

Формирование основного документа швейного потока – организационно-технологической схемы – осуществляется с использованием созданного в базовом модуле справочника технологических операций по изготовлению проектируемой модели изделия. Автоматизированный режим с применением встроенного машинного алгоритма по разделению труда позволяет получить несколько вариантов организационно-технологической схемы для различных условий организации работы потока (продолжительности рабочей смены и количества исполнителей). Это дает возможность выбрать оптимальный вариант, характеризующийся наиболее рациональным тактом потока и количеством исполнителей.

Определение технически обоснованных значений затрат времени на технологические операции является наиболее сложной и противоречивой задачей технологического проектирования. В программном обеспечении предусмотрена возможность выполнения любых вычислений с использованием хранимой и вновь вводимой информации, а также выполнения расчетов не только по нормированию затрат времени, но и по учету выработки исполнителей, определению расчетного и фактического количества рабочих, расценок на технологические операции. Для расстановки и расчета итоговых граф заготовительной, монтажной и отделочной секций, а также графы "Итого по потоку" необходимо нажать кнопку "Rasbit".

В разработанной программе с помощью клавиши "Pereschitat" из организационно-технологической схемы потока выборочным путем определяется расчетное количество рабочих по специальности и разряду. Таким образом, уменьшается трудоемкость вычислительных работ при расчете организационно-технологической схемы потока и сводки рабочей силы.

На основании сводки рабочей силы рассчитывают технико-экономические показатели потока. При последовательно-ассортиментном способе запуска моделей сводку рабочей силы составляют на каждую модель, при циклическом – по среднему значению времени.

Таким образом, разработанная программа является универсальной. Разработка технологических процессов с элементами автоматизированного проектирования позволяет быстро реагировать на изменение моды и потребности потребителя. Использование разработанной программы обеспечивает значительное сокращение затрат на подготовку всего производственного процесса и, как следствие, снижение себестоимости продукции.

1. Макашарипов, С.О. Программирование баз данных на Visual Basic 5 в примерах / С.О. Макашарипов. – М. : Высшая школа, 2004.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОПТИКО-АКУСТИЧЕСКИХ ГАЗОАНАЛИЗАТОРОВ

И.М. Козьмина, В.А. Рылов

Московский государственный университет инженерной экологии,
kozma-1@mail.ru

Для контроля и анализа концентраций СО и СО₂ в технологических процессах широко применяют оптико-акустические газоанализаторы, обладающие высокой чувствительностью, избирательностью, стабильностью. Наибольшее распространение получила двухлучевая схема оптико-акустического газоанализатора, которая реализована в серийно выпускаемом анализаторе КЕДР. Недостатком этих приборов является относительно высокая основная погрешность.

Математическая модель статической характеристики данного анализатора, выражающая зависимость выходного сигнала от оптической плотности газового слоя u , содержащего измеряемый компонент, и оптической плотности активного объема лучеприемника v описывается выражением:

$$Y(u, v) = Y_{cp} - Y_{раб} = [A(u) + A(v) - A(u + v)].$$

где $u = k_0 c_k l_k$ – оптическая толщина компонента в измерительной кювете; c_k – концентрация определяемого компонента; l_k – длина кюветы; k_0 – коэффициент поглощения; $v = k_0 c_n l_n$ – оптическая толщина определяемого компонента в оптико-акустическом детекторе; $A(u)$ – функция интегрального поглощения, описываемая законом $A(u) = (S/k)(\sqrt{1+2u} - 1)$ для СО и метана; S – интегральная интенсивность; k – эквивалентный коэффициент поглощения для данной полосы.

Существует около 30 вариантов оптико-акустических газоанализаторов. Обычно принято считать, что можно сравнивать анализаторы с одинаковыми шкалами и с одним и тем же измеряемым компонентом. Нами был проведен анализ, и оказалось, что для оценки качества газоанализаторов различных типов можно использовать величину u/v , которая одинаковая для газов с одинаковым законом поглощения, например СО и метан.

Серийно выпускаемые газоанализаторы работают в достаточно небольших диапазонах оптической плотности (для СО₂ $c_k l_k$ не превышает 50 мм %, для СО $c_k l_k$ не превышает 100 мм %), основная погрешность данных приборов составляет 4 – 10 %.

Для улучшения метрологических характеристик, улучшения соотношения сигнал/шум (и соответственно уменьшения основной погрешности) можно увеличить длину рабочей кюветы, однако это приведет к увеличению нелинейности статической характеристики и появлению существенной систематической погрешности.

На рис. 1 приведена статическая характеристика газоанализатора для разных диапазонов концентраций: для КЕДРа при $u = 1$, для КЕДРа-М при $u = 2$ и для КЕДРа-ММ при $u = 4$. Работая с КЕДРом, мы имеем дело с малой нелинейностью, но с большим влиянием шумов на показания. У КЕДРа-М нелинейность возрастает, но уменьшается значение сигнал/шум.

Для уменьшения нелинейности и улучшения качества опико-акустических анализаторов нами осуществлена линейризация статической характеристики с помощью семейства степенных функций, которые обеспечивают снижение систематической погрешности в данном диапазоне:

$$x(Y, b, a) = a[(1 + bY)^n - 1],$$

где n – показатель степени функции линейризации; a, b – масштабные коэффициенты.

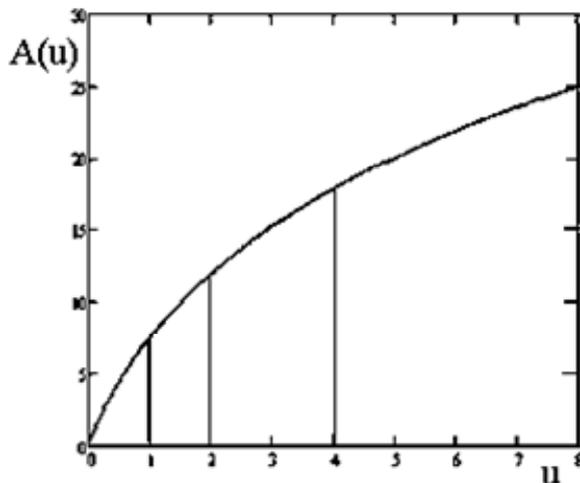


Рис. 1. Статическая характеристика газоанализаторов серии КЕДР

Параметры функции определены путем обработки экспериментальных данных по методу наименьших квадратов. Наилучшая аппроксимация достигнута при $n = 2/3$ для CO и при $n = 3/2$ для CO_2 .

Увеличение длины рабочей кюветы в 4 раза в газоанализаторе КЕДР-ММ и применение линейризатора дало возможность увеличить отношение сигнал/шум, что позволило снизить основную погрешность в 2 раза.

КОНТРОЛЬ ЧИСТОТЫ ГАЗОВ, РАСТВОРЕННЫХ В ЖИДКОСТИ

С.А. Попков, В.А. Рылов

Московский государственный университет инженерной экологии,
popkov.sergey@bk.ru

При разработке современных нанотехнологий одной из важнейших задач является контроль чистоты материалов. Методов контроля чистоты газов и жидкостей известно достаточно много, а о методах контроля чистоты газов, растворенных в жидкости, известно мало.

Наиболее широко используются избирательные хроматографические методы, связанные с испарением жидкой пробы, и электрохимические методы (потенциметрические) для определения содержания кислорода, хлора и радикалов электрохимически активных компонентов. Для определения содержания азота и инертных газов применяются методы, основанные на измерении состава газовой фазы в замкнутом объеме, находящейся в равновесии с анализируемой жидкой фазой; для этих целей можно использовать неизбирательные манометрический и термокондуктометрический методы.

Нами проведено сравнение двух последних методов, оценка минимального порога обнаружения на примере анализа содержания азота и гелия, растворенных в жидкости, например в этиловом спирте. Созданная нами экспериментальная установка, работающая в непрерывном автоматическом режиме, включает в себя измерительную камеру объемом V_0 , в которой установлены: датчики температуры T , давления P , теплопроводности газовой смеси λ , сигнализатор уровня жидкой пробы H . Цикл измерения состоит из четырех стадий: удаление пробы и продувка камеры азотом; создание разрежения в камере при помощи форвакуумного насоса до остаточного давления P_k ; напуск жидкой пробы, объем которой $V_{ж}$ контролируется датчиком уровня; фиксация показаний датчиков P, T, λ и вычисление концентрации растворенного газа $C_{гр}$. Вся длительность цикла составляет 5 – 10 мин.

При манометрическом методе измеряемое равновесное давление в газовой среде P представляет сумму давлений растворенного газа $P_{гр}$ и насыщенных паров жидкости $P_{нп}$. По известной температурной зависимости вычисляется давление насыщенных паров при данной температуре $P_{нп}(T)$: $\lg P_{нп} = A - B/(T - C)$, где A, B, C – известные для данной жидкости константы. Массовая концентрация растворенного газа в жидкой фазе $C_{гр}$ пропорциональна плотности газа ρ_0 при нормальном давлении P_0 и парциальному давлению газа $P_{гр}$: $C_{гр} = n(T)\rho_0 P_{гр} / P_0$.

Безразмерный коэффициент растворимости $n(T)$ показывает, какая часть объема газа растворяется в жидкости при нормальном давлении P_0 . При температуре 0°C для азота $n = 0,126$, для гелия $n = 0,023$. Если пренебречь влиянием остаточного давления азота в камере после вакуумирования ($P_k/P_{гр} < 1$), то зависимость концентрации от давления в камере P описывается формулой

$$C_{гр} = (P - P_{нп})\rho_0 [1 - m(1 - n)] / (mP_0), \quad (1)$$

где $m = V_{ж} / V_k$ – относительная доля заполнения измерительной камеры жидкой пробой.

На рис. 1 представлена зависимость парциального давления азота $P_{\text{рг}} = P - P_{\text{нп}}$ от объема жидкой пробы для различных концентраций растворенного азота. В соответствии с (1) зависимость концентрации $C_{\text{рг}}$ от давления имеет линейный характер, а зависимость давления от m является гиперболой.

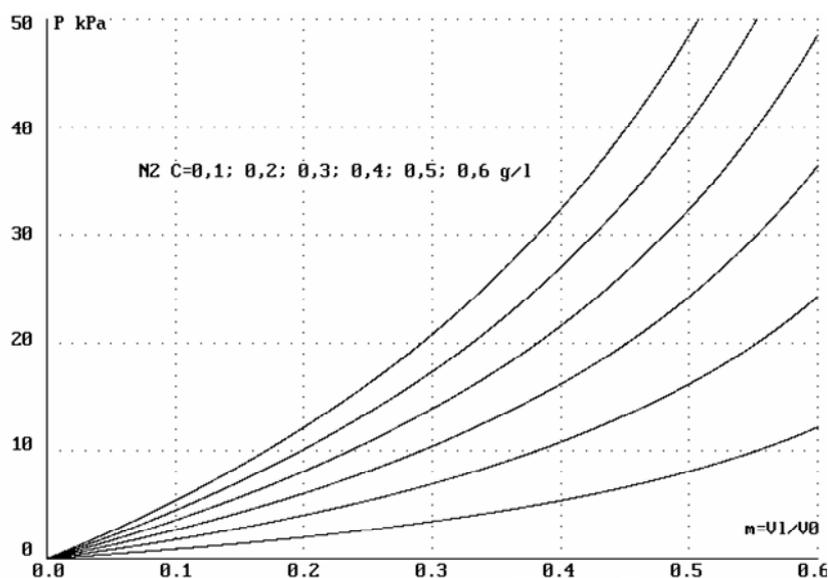


Рис. 1. Зависимость парциального давления азота от объема пробы

При оценке минимального порога обнаружения следует учитывать погрешности измерения входящих параметров: m , P , $P_{\text{нп}}(T)$. Анализ показывает, что основным источником погрешности при манометрическом методе является температура T , по которой вычисляется значение насыщенных паров $P_{\text{нп}}$. Статическое давление насыщенных паров для этанола при 20°C равно 6 кПа, а температурная зависимость составляет примерно $0,3 \text{ кПа}/^\circ\text{C}$. Погрешность температуры можно оценить величиной $\Delta T = \pm 0,5^\circ\text{C}$, которая учитывает погрешность датчика и отклонение от стационарного состояния равновесия жидкость – пар. Погрешность датчика давления с диапазоном измерения $0 - 50 \text{ кПа}$ составляет $\pm 50 \text{ Па}$. Суммарная погрешность вычисления давления $\Delta P_{\text{рг}}$ равна 160 Па, что соответствует погрешности определения концентрации растворенного азота $\Delta C_{\text{рг}} = 20 \text{ мг/л}$. Поскольку плотность гелия в 7 раз меньше плотности азота, то для гелия погрешность измерения концентрации манометрическим методом составит $\Delta C_{\text{рг}} = 3 \text{ мг/л}$.

При термокондуктометрическом методе анализа не требуется вычисления $P_{\text{нп}}(T)$, а давление $P_{\text{рг}}$ определяется по показаниям датчиков давления P и теплопроводности λ . Формулу для теплопроводности смеси двух компонентов с коэффициентами теплопроводности λ_1 и λ_2 и концентрациями C_1 и C_2 можно представить в виде: $\lambda = C_1\lambda_1 + C_2\lambda_2$; $C_1 + C_2 = 1$.

Обозначая коэффициент теплопроводности для спирта λ_1 , а для растворенного газа λ_2 , получим формулы для вычисления парциального давления $P_{\text{рг}}$:

$$P\lambda = P_{\text{нп}}\lambda_1 + P_{\text{рг}}\lambda_2; \quad P = P_{\text{нп}} + P_{\text{рг}}; \quad P_{\text{рг}} = P(\lambda - \lambda_1) / (\lambda_2 - \lambda_1).$$

Коэффициенты теплопроводности для газов можно выразить в относительных единицах: $\lambda_{\text{отн}} = \lambda / \lambda_{\text{N}_2}$; тогда получим для этанола $\lambda_1 = 0,86$, для гелия $\lambda_2 = 6,1$, для азота $\lambda_3 = 1$.

В качестве термокондуктометрического измерительного преобразователя в установке использовался датчик, применяемый в промышленном газоанализаторе ИВА-М для определения водорода в азоте и имеющий класс $K = 5$ при диапазоне измерения $0 - 2\%$ об. Относительная погрешность определения коэффициента теплопроводности рассчитана по формуле: $\delta\lambda = \Delta\lambda / \lambda_{\text{N}_2} = K C_{\text{H}_2} (\lambda_{\text{H}_2} / \lambda_{\text{N}_2} - 1)$.

При относительном коэффициенте теплопроводности для водорода $\lambda_{\text{H}_2} = 7$ относительная погрешность составила $\delta\lambda = \Delta\lambda / \lambda_3 = \pm 0,006$. На основании этих предпосылок можно оценить погрешность вычисления парциального давления растворенного газа в парах этанола при термокондуктометрическом методе измерения: для гелия погрешность равна $\Delta P_{\text{рг}2} = \pm 6 \text{ Па}$, а для азота $\Delta P_{\text{рг}3} = \pm 220 \text{ Па}$. В пересчете на концентрации растворенного газа в жидкой пробе этому соответствуют погрешности: для гелия $\Delta C_2 = \pm 0,1 \text{ мг/л}$ и для азота $\Delta C_2 = \pm 30 \text{ мг/л}$.

СПОСОБ ВИРТУАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПАСТООБРАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

А.Е. Ерышов

Тамбовский государственный технический университет,
crems@crems.jesby.tstu.ru

Одной из существенных проблем, возникающих при оптимальном управлении процессами сушки, является необходимость оперативного определения влажности материала. Пример схемы сушильной установки представлен на рис. 1. Она представляет собой коридор, разделенный на секции. Основными элементами сушильной установки являются продуктовый и скребковый транспортеры 1 и 2, вальцы 3, вытяжной вентилятор 4, рециркуляционные вентиляторы 5, шиберы 6, воздухозаборные окна 7, паровые калориферы 8.

Для оперативного определения влажности материала предлагается в системе оптимального управления процессами сушки применять виртуальный датчик влажности. Сущность способа определения влажности материала заключается в использовании двух нейросетевых моделей для секций с максимальным влагосъемом, по которым в зависимости от режимных

параметров сушки и условий окружающей среды определяется значение влажности высушиваемого материала в секциях, а также оценивается мера доверия к достижению требуемой конечной влажности методом Демпстера – Шафера [1].

Нейронные сети для определения влажностей во второй и третьей секциях сушилки имеют соответственно 10 и 11 входов, учитывающих положение материала в сушилке, температуру и влажность воздуха в секции, работу вытяжного вентилятора (включен, отключен), положение ворошителя, состояние воздухозаборных окон и шиберов, скорость движения ленты, влажность и температуру воздуха в цехе, начальную влажность материала. Скрытые слои нейронных сетей имеют 9 и 13 нейронов для второй и третьей секций сушильной установки. В качестве функций активации нейронов используется сигмоид.

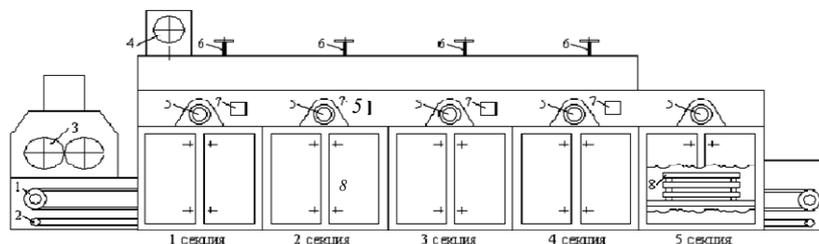


Рис. 1. Схема пятисекционной сушильной установки

Среднеквадратичная ошибка определения влажности материала с использованием виртуального датчика не превышает 2 %. Использование данного способа определения влажности позволило повысить производительность процесса сушки на 5 %.

1. Люгер, Дж.Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем / Дж.Ф. Люгер. – М. : Издательский дом "Вильямс", 2003. – 864 с.

КАЛИБРОВКА ПОРТАТИВНЫХ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРОВ ПО ПРОФИЛЮ ГЛУБИННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ^{137}Cs В ПОЧВЕ

Г.А. Чернова, Е.П. Карабанова

Московский государственный университет инженерной экологии,
galina_chernova@list.ru

В настоящее время радиоактивное загрязнение местности превратилось в повсеместно встречающийся компонент состояния окружающей среды, требующий изучения и контроля.

Метод гамма-спектрометрии *in situ*, позволяющий при исследованиях локальных мест загрязнения оперативно получить большое число измерений с возможностью расшифровки гамма-спектра в полевых условиях при помощи портативного компьютера типа "Notebook", чрезвычайно привлекателен, однако, связан с отбором проб почв и закладкой специальных калибровочных почвенных разрезов. Нами использовался полевой гамма-спектрометр КОРАД, разработанный в РНЦ "Курчатовский институт". Пробы почв из калибровочных разрезов, закладываемых в наиболее характерных элементарных ландшафтах исследуемых катен, отбирались для корректировки стандартных программ пересчета поверхностного загрязнения Cs в его полный запас, используемых при компьютерной обработке спектров полевых гамма-спектрометров. При этом вертикальные профили распределения радионуклида в почве строились по слоям, отобраным с большой дискретностью – по 1 – 2 см.

В ходе полевых работ 132 точки отбора проб почвы сопровождалось измерением *in situ* с помощью прибора КОРАД (табл. 1). Пары значений будем условно считать равнозначными, так как иногда при одновременности двух видов работ проба отбиралась на расстоянии до 1 – 1,5 м от того места, где располагался центр прибора КОРАД.

При большом коэффициенте вариации расхождений в обоих случаях X_{cp} для рядов отбора проб почвы и рядов *in situ* близки между собой, при этом наблюдается некоторое систематическое завышение значений, измеренных прибором КОРАД.

1. Сопоставление пар условно-равноточечных значений плотности загрязнения местности ^{137}Cs , полученных методами отбора проб почвы и гамма-спектрометрии *in situ*

Показатель вариации	Междуречье, пашня			Балка, луг		
	Ряд данных отбора проб почвы	Ряд измерений КОРАД	Расхождение	Ряд данных отбора проб почвы	Ряд измерений КОРАД	Расхождение
n	90	90	90	48	48	48
X_{cp} , кБк/м ²	339	422	-84,7	444	603	-157
σ , кБк/м ²	60,3	45,5	65,9	96,2	126	180
V , %	18	11	78	22	21	115

Обозначения: n – количество измеряемых точек; X_{cp} – коэффициент вариации расхождений, кБк/м²; V – отклонение, %.

Такое сравнительно небольшое систематическое завышение значений можно отнести к ошибочности весьма распространенного мнения о том, что через десятилетие после выпадения ^{137}Cs должен был бы более интенсивно заглубиться, чем это часто наблюдается в действительности. Это весьма распространенная ошибка, закладываемая практически во все диффузионные модели вертикальной миграции. Эта же ошибка, очевидно, заложена и в математическую модель пересчета показаний прибора КОРАД о поверхностной плотности загрязнения к значениям полного запаса в почве. Математическая модель

процесса распределения запаса изотопа ^{137}Cs , заложенная в КОРАД, построена по экспоненциальному закону, что не всегда совпадает с действительностью. Как мы видим по графикам показателей портативного гамма-спектрометра и отбора проб почвы (рис. 1), наименьшее расхождение показателей запаса ^{137}Cs в почве имеет место на ровной необводненной поверхности, т.е. на междуречье, где заглубление изотопа происходит равномерно. Другую картину мы видим в показаниях с балки, где расхождения в показаниях более велики и ошибочность показаний КОРАДа связана с ландшафтными особенностями и установкой измерительного прибора, что играет немаловажную роль в показаниях измерений, к сожалению, данные ландшафтные особенности не учтены в математической модели пересчета данных КОРАДа.

Нашим предложением по решению данной проблемы является использование гамма-спектрометрии *in situ* в сочетании с разреженным отбором проб почвы с использованием ландшафтного метода при проведении полевых работ. Предварительное выделение границ сопряженных геосистем в пределах изучаемого водосбора, проведение в их

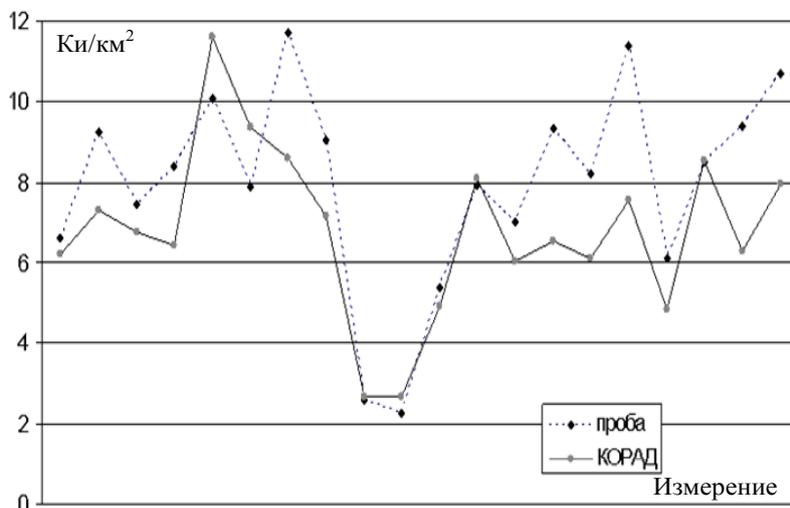


Рис. 1. Сопоставление данных проб и показаний КОРАДа

пределах набора измерений *in situ* с отбором нескольких контрольных почвенных проб на глубину не менее 30 см, расчет $X_{\text{ср}}$ – стандартного отклонения по полученному ряду измерений – все эти действия могут дать интегрированную оценку загрязнения каждой геосистемы.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТОНКОСЛОЙНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

А.А. Толчёнов, Е.А. Парамонов

Московский государственный университет инженерной экологии,
zubov@msuie.ru

Для анализа культуральной жидкости на содержание продуктов биосинтеза (антибиотики, аминокислоты) часто применяется метод тонкослойной хроматографии (ТСХ), который позволяет быстро обнаруживать малые количества веществ (0,1 – 0,005 мкг в пробе).

Суть метода состоит в том, что на хроматографическую пластинку наносят пробы разбавленной культуральной жидкости и индивидуальных веществ, край пластинки погружают в растворитель, который под действием капиллярных сил движется вдоль слоя сорбента и с разной скоростью переносит компоненты проб, что приводит к их пространственному разделению. После хроматографирования пластинку сушат и опрыскивают соответствующим проявителем, в результате чего компоненты проявляются в виде окрашенных пятен, по положению, окраске и размеру которых можно судить о качественном и количественном составе пробы. Помимо проб с неизвестным составом, на пластинку наносят пробы с известной концентрацией анализируемого вещества – так называемые свидетели, которые позволяют идентифицировать анализируемые пятна (пятна, соответствующие одному веществу, располагаются на одном уровне от края пластины). Кроме того, по свидетелям определяются калибровочные коэффициенты.

На ошибку анализа существенно влияют неоднородность и дефекты пластинки, которые очень трудно обнаружить до проявления, неравномерное покрытие пластинки проявителем и другие случайные факторы. Даже при отсутствии дефектов пластинки две идентичные пробы с одним и тем же составом и одинакового объема могут во время хроматографического разделения (диффузии) растечься в разной степени, т.е. одно из пятен будет занимать достаточно большую площадь и быть слабо окрашенным, а второе будет меньшей площади и более интенсивно окрашенным. Также ошибкой является использование калибровочной кривой, найденной по стандартам одного вещества, для анализа других веществ в пробе.

Для преодоления вышеуказанных недостатков нами предложено строить калибровочную кривую не для пятна в целом, а для квадратного сегмента пластинки, соответствующего одному пикселю изображения, и в качестве ее аргумента использовать не концентрацию пробы (г/л), как ранее, а количество вещества (в моль или кг) в сегменте пластинки, соответствующем данному пикселю.

При помощи планшетного сканера можно, не меняя материальную базу и ход анализа, повысить точность анализа за счет изменения математической обработки отсканированного изображения проявленной хроматографической пластинки.

На основании данных, полученных в серии опытов с набором пластин с известными концентрациями, нами предложена следующая зависимость:

$$\ln I = a + b \ln N, \quad (1)$$

где I – интенсивность окрашивания пикселя, меняется от 0 до 255; a, b – калибровочные коэффициенты; N – количество определяемого вещества, содержащегося в пикселе. Функция, описываемая уравнением (1) не имеет верхней границы, но поскольку на практике используются растворы с небольшой концентрацией определяемого вещества, то это несущественно.

Нами опробованы и другие функциональные зависимости $I(N)$, в частности $I(N) = bN/(a + N)$, но они значительно хуже согласуются с экспериментальными данными.

Так как калибровочная функция зависит только от двух параметров, то для их однозначного определения достаточно всего двух стандартных проб, что увеличивает количество анализируемых проб на одной пластинке на 10 %. При этом дефекты пластинки оказывают существенно меньшее влияние на точность анализа. Анализ может быть проведен для любых по площади областей пластинки, в том числе и для всех пятен, соответствующих одной пробе, что в частности позволяет легко определить суммарное содержание анализируемого вещества в пробе (что затруднительно сделать при помощи традиционной методики).

Для определения концентраций неизвестных пятен необходимо рассчитать калибровочные коэффициенты a и b . С вычислительной точки зрения поиск коэффициента b сводится к нахождению корня уравнения:

$$f(b) = \sum_{i=1}^{P_1} (I_{1i})^b / \sum_{i=1}^{P_2} (I_{2i})^b - C_1 / C_2, \quad (2)$$

где $I_{1,2}$ – интенсивности окрашенности стандартов (свидетелей); $C_{1,2}$ – концентрации стандартов; $P_{1,2}$ – количества пикселей в пятнах-свидетелях.

Для поиска нуля уравнения (2) можно использовать различные численные методы, в частности нами опробованы три метода: дихотомия, золотое сечение и одномерного градиента. Во всех проведенных опытах функция $f(b)$ являлась непрерывной и унимодальной. Наибольшее быстродействие показал метод одномерного градиента, кроме того, для него не требуется задание диапазона поиска, поэтому нами выбран именно он.

Для автоматизированного анализа культуральной жидкости нами создан программно-технический комплекс, состоящий из промышленного компьютера e-box 4200, LCD-монитора и планшетного сканера, составлена программа на языке C# 4.0, использующая среду выполнения .NET Framework версии 2.0 или выше. Работа со сканером осуществляется с помощью открытой библиотеки Twain. Поддерживаются форматы: bmp, jpeg, png. В качестве входных данных выступает хроматографическая пластинка, загружаемая с диска или напрямую со сканера. Результаты расчетов могут быть сохранены в файл или распечатаны на принтере.

1. Зубов, Д.В. Применение компьютерной обработки изображения для повышения точности анализа методом тонкослойной хроматографии / Д.В. Зубов, Е.А. Парамонов // Инженерная физика. – 2008. – № 4.

ПРОТОЧНЫЙ ДАТЧИК КОНЦЕНТРАЦИИ ВОДОРОДА ДЛЯ УСТАНОВКИ СИНТЕЗА УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ НАНОСТРУКТУР

А.В. Рухов, В.А. Карпук

Тамбовский государственный технический университет, artem1@inbox.ru

В настоящее время интерес к углеродным волокнистым наноструктурам (УВНС) постоянно возрастает. Практическое применение обусловлено производством наноструктур в промышленных масштабах. Наиболее перспективным методом синтеза УВНС является газофазное осаждение на поверхности металлического катализатора [1].

В настоящее время проводится всестороннее изучение синтеза УВНС с целью определения конструктивных и режимных особенностей протекания процесса. Одним из режимных параметров, подлежащих определению, является время проведения процесса синтеза УВНС. Рациональное время процесса синтеза УВНС может быть определено путем измерения концентрации водорода в газообразных продуктах пиролиза. Эти же данные позволяют определить качественные показатели основных химических реакций и динамику их изменения.

Для проведения экспериментальных исследований разработан и изготовлен проточный датчик концентрации водорода на основе сенсора HS-129 Sencera Co. Общая схема проточного датчика концентрации водорода представлена на рис. 1.

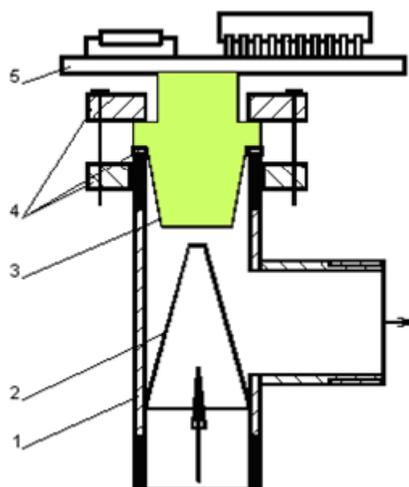


Рис. 1. Общая схема проточного датчика концентрации водорода

Газообразные продукты пиролиза поступают в корпус 1 и по конусному каналу 2 подаются к активной зоне датчика – сенсору HS-129. Сенсор 3 закреплен в корпусе датчика уплотнительно-крепежным устройством 4. Сигнал с сенсора 3 поступает на плату усилителя 5. С усилителя сигнал подается на АЦП виртуального прибора осциллографа АСК-3106, работающего в режиме "самописца", подключенного к персональному компьютеру.

При проведении исследований особый интерес представляет изменение концентрации водорода в газообразных продуктах пиролиза, поэтому нет необходимости в тщательной калибровке датчика.

Комплексное исследование процесса синтеза УВНС, в том числе и путем измерения концентрации водорода в газообразных продуктах пиролиза, позволит сформировать обобщенную теорию, необходимую для разработки инженерной методики расчета высокоэффективного промышленного оборудования.

1. Ткачев, А.Г. Каталитический синтез углеродных нанотрубок из газофазных продуктов пиролиза углеводородов / А.Г. Ткачев, С.В. Мищенко, В.И. Коновалов // Российские нанотехнологии. – 2007. – Т. 2. – № 7, 8. – С. 100 – 108.

КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НАГРЕВА В ПРОИЗВОДСТВЕ ЗАКАЛЕННОГО СТЕКЛА

Ю.М. Обухов, Р.И. Макаров

ОАО "Эй Джи Си Борский стекольный завод", ВлГУ,
makarov.ruslan@gmail.com

Технологический процесс закалки стекла протекает в горизонтальной печи непрерывного действия. Заготовки стекла нагреваются в туннельной четырехкамерной печи, далее подвергаются прессованию для придания стеклу заданной формы. Затем стекло с фиксированной формой подвергается закалке путем быстрого охлаждения струей воздуха. После закалки стекло медленно охлаждается.

Объектом исследования в данной работе является режим нагрева заготовок стекла, который контролируется с помощью 32-х термопар, установленных в камерах печи. Каждая камера состоит из двух зон. В каждой зоне измеряется температура с помощью 4-х термопар, из них три термопары установлены в своде по ширине печи и одна в поде.

Для извлечения полезной информации из массива данных показаний 32-х термопар использована технология анализа процессов ПАТ (Process Analytical Technology) [1], позволившая с помощью методов кластерного и множественного корреляционного анализов существенно понизить размерность системы контроля, описывающей температурный режим нагревания стекла.

Показания термопар, установленных в каждой камере нагрева, сильно коррелированы между собой. Для объединения термопар в группы по близким показаниям использован кластерный анализ. Показания термопар каждой камеры объединялись в два кластера с использованием центроидного метода. Мерой близости показаний термопар выбирался квадрат евклидова расстояния. Таким образом, в каждой камере выделены по два кластера. Первый кластер объединял показания шести сводовых термопар, второй – показания двух подовых.

В каждом кластере, объединяющем показания сводовых термопар, выбиралась наиболее информативная термопара. Показания этой термопары должны быть тесно связаны с показаниями других термопар, объединенных в кластер. Эта задача решалась с помощью выборочного коэффициента множественной корреляции, значение которого составило величину 0,99.

Выбор информативной подовой термопары в камерах осуществлялся с помощью анализа парных коэффициентов корреляции, отражающих тесноту связи показаний информативной сводовой термопары камеры с показаниями подовых термопар. В качестве информативной подовой термопары выбиралась та из двух термопар, показания которой менее коррелированы с показаниями сводовой термопары, таковы: сводовые термопары № 2, 15, 18, 30 для камер 1, 2, 3, 4; подовые термопары № 4, 16, 20, 32 для камер 1, 2, 3, 4, соответственно.

Важным свойством технологического процесса нагрева стекла является его отлаженность. Показателями отлаженности процесса являются стабильность, точность, воспроизводимость. Эти показатели определяются по статистическим данным режима работы туннельной печи. Для анализа температурного режима нагрева стекла в туннельной печи вместо показаний 32-х термопар достаточно иметь показания 8-и информативных датчиков.

Отлаженность процесса оценивалась по данным температурного режима работы печи по показаниям информативных датчиков с использованием методов статистического контроля процессов, разработанных Шухартом. Выдерживание температурного режима в камерах нагрева туннельной печи характеризуется стационарностью и высокой точностью. Коэффициент вариации температур относительно среднего уровня не превышал 4,3 %.

Плотность вероятностей распределения температур в контролируемых точках камер нагрева отличается от нормального закона распределения, на что указывают ненулевые значения коэффициентов асимметрии и эксцесса. Отличие распределения от нормального закона делает не совсем корректным использование известных методик оценки точности и стабильности процессов, рассчитанных для нормального закона распределения анализируемых параметров.

Выявленные информативные сигналы в дальнейшем будут использоваться при разработке математических моделей, описывающих зависимость показателей качества закаленного стекла от режима нагрева.

1. Кучерявский, С.В. Технология анализа процессов / С.В. Кучерявский // Методы менеджмента качества. – 2006. – № 5. – С. 12 – 17.

КЛЮЧЕВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА БЕЗОПАСНОГО ЗАКАЛЕННОГО СТЕКЛА

В.И. Мазанова

Владимирский государственный университет, mazanova_v@mail.ru

Переход России к рыночной экономике, конкурентная среда в условиях рынка обязывают руководителей стекольных производств уделять большое внимание проблемам качества.

Вопросам управления качеством продукции стекольной промышленности посвящено множество публикаций российских и зарубежных ученых. Вместе с тем следует отметить, что мало работ, посвященных управлению качеством производства безопасного стекла для наземного транспорта.

Современная технология производства закаленного безопасного стекла – это высокоавтоматизированное поточное производство, состоящее из последовательных технологических операций (процессов), каждая из которых влияет на качество продукции и в ряде случаев сопровождается появлением определенных видов дефектов.

Представленная на рис. 1 диаграмма Парето иллюстрирует содержание различных дефектов в вырабатываемом закаленном стекле. Доля всех дефектов в общем объеме производимого стекла составила 6 % в 2006 г. и 7 % в 2007 г. Учитывая тенденцию наращивания производства закаленного стекла, задача минимизации отходов производства является актуальной, так как даже незначительное сокращение брака при массовом производстве продукции может привести к существенной экономии денежных средств завода.

Определить влияние стадий технологического процесса производства на качество вырабатываемого закаленного стекла позволяет моделирование с использованием одной из современных методологий моделирования (IDEF0, IDEF3, ARIS) [1] и последующий анализ моделей с целью выявления ключевых характеристик процесса производства (табл. 1).

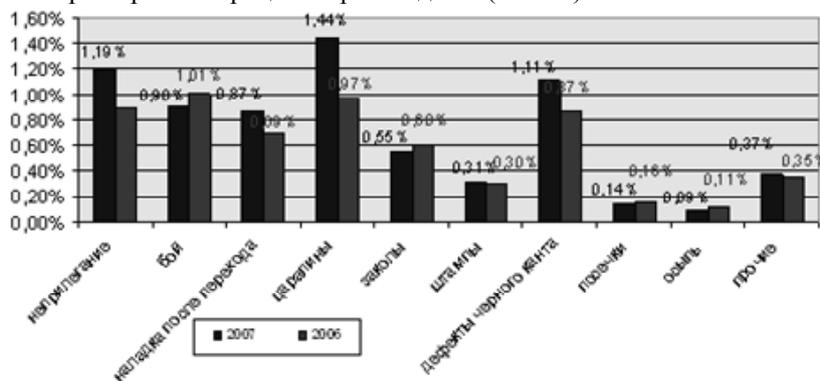


Рис. 1. Диаграмма Парето

1. Ключевые характеристики в производстве закаленного стекла

Ключевые этапы и оборудование, определяющие эффективность производства	Наиболее критичные, с точки зрения качества, показатели [2]	Статистические инструменты контроля качества
Маркировать стекло. Линия закалки стекла	Качество маркировки (положение, равномерность нанесения)	Выборочный контроль
Загружать, базировать стекло. Загрузочное устройство линии закалки стекла	Расположение стекла, настройка упоров	Сплошной контроль
Закалять стекло в горизонтальной печи. Горизонтальная печь (скоростной рольганг, пресс, обдувные решетки, низкоскоростной рольганг), напоромембранный	Скорость движения скоростного рольганга, температура нагревателей в печи по зонам, температура стекла на выходе из печи/входе пресса, качество обработки транспортирующих валов, время прессования, температура прессования, число рядов, высота пуансона, радиус шаблона; температура воздуха, расход и давление воздуха, расстояние между обдувками	Сплошной контроль скорости в цикле ускорения, температуры нагревателей, давления воздуха. Сплошной контроль по расходу/ давлению воздуха, по температуре стекла на выходе из секции охлаждения

Продолжение табл. 1

Ключевые этапы и оборудование,	Наиболее критичные, с точки зрения качества, показатели [2]	Статистические инструменты
--------------------------------	---	----------------------------

определяющие эффективность производства		контроля качества
Контролировать качество закаленного стекла	Форма, размеры, показатели внешнего вида, качество обработки кромок	Сплошной визуальный контроль
Контрольный шаблон для проверки форм и размеров, линейка измеритель- ная, щуп	Механическая прочность, характер разрушений	Выборочный контроль
Испытательные установки на меха- ническую прочность, характер разрушения, светопропускание	Светопропускание	Периодический контроль

Выявленная нами система ключевых характеристик может быть использована для оценки эффективности применяемых на производстве методов контроля, а также при настройке процессов на обеспечение стабильности качества производимой продукции.

1. Мазанова, В.И. Ключевые показатели технологического процесса производства безопасного закаленного стекла для наземного транспорта / В.И. Мазанова // Трансформация экономики регионов в условиях устойчивого развития: теория и практика : межвуз. сб. науч. тр. – Владимир : ВЗФЭИ, 2008. – С. 209 – 212.

2. Суворов, Е.В. Анализ и управление производством безопасного многослойного стекла для автомобильного транспорта : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Е.В. Суворов. – Бор, 2007. – 22 с.

ЗАДАЧА ВЫБОРА СТРУКТУРЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

А.К. Крюков, В.А. Погонин

Тамбовский государственный технический университет

В настоящее время продажа энергоресурсов основана на использовании автоматизированного приборного энергоучета, сводящего к минимуму участие человека на этапе измерения, сбора и обработки данных и обеспечивающего достоверный, точный, оперативный и гибкий, адаптируемый к различным тарифным системам учет как со стороны поставщика энергоресурсов, так и со стороны потребителя. С этой целью как поставщики, так и потребители создают на своих предприятиях информационные системы контроля и учета энергоресурсов – ИСКУЭ. Однако большинство существующих структур ИСКУЭ не учитывают постоянно возрастающее количество объектов передачи информации при высоких входных потоках, в результате чего часть информации теряется и возрастает временная задержка дискретных сообщений от приборов энергоучета.

Модель информационной системы ИСКУЭ представляется в векторной форме и учитывает структуры взаимодействующих подсистем и применяемые в них технологии. Структуру системы представим в виде вектора $S = [T, X, M, A]$, где составляющая T отображает тип топологической структуры; X – тип протоколов управления; M – тип объектов управления; A – тип административного управления системой. Модифицированную структуру S^* представим совокупностью структур интегральных подсистем $S^* = [S_1, S_2, \dots, S_j, \dots, S_J]$, $j \in J$, где J – множество структур подсистем.

Усовершенствование управления процессами моделирования и модернизации рассматриваемых систем продиктовано необходимостью сужения множества допустимых решений с целью повышения эффективности данных процессов и снижения экономических затрат. Соответственно, необходимо решить оптимизационную задачу выбора решений. Постановка оптимизационной задачи многокритериального выбора вариантов структур имеет вид:

$$C(S^*) = \arg \min_{t_{dj}}(w), \quad w \in S^*, \quad C(S^*) = \arg \max_{\Pi_{dj}}(w), \quad w \in S^*$$

при ограничениях $t_{dj} \leq t_{dj \text{ доп}}, j = \overline{1, J}$, $\Pi_{dj} \geq \Pi_{dj \text{ доп}}, j = \overline{1, J}$, где t_{dj} – среднее время доставки сообщений j -го типа; $t_{dj \text{ доп}}$ – допустимое значение среднего времени доставки сообщений j -го типа; Π_{dj} – вероятность своевременной доставки сообщений j -го типа; $\Pi_{dj \text{ доп}}$ – допустимое значение вероятности своевременной доставки сообщений j -го типа. Функция выбора $C(S^*)$ отображает наиболее предпочтительные элементы из множества S^* .

Эффективность обслуживания дискретных сообщений оценивается средним временем доставки сообщений или вероятностью их своевременной доставки:

$$\Pi_{dj} = F(\lambda_{\text{вх}}, t_{dj \text{ доп}}, \lambda_o, k_r, T_n), \quad t_{dj} = \varphi(\lambda_{\text{вх}}, \lambda_o, k_r, T_n),$$

где $\lambda_{\text{вх}}$ – интенсивность входящей нагрузки, $\lambda_{\text{вх}} = \lambda_{\text{он}} + \lambda_{\text{ин}}$, $\lambda_{\text{он}}$ – интенсивность обслуженной нагрузки, $\lambda_{\text{ин}}$ – интенсивность необслуженной (потерянной) нагрузки; λ_o – интенсивность обслуживания; k_r и T_n – параметры, характеризующие надежность системы: коэффициент готовности канала и время восстановления системы.

Условие своевременной доставки сообщений: $t_{dj} \leq t_{dj \text{ доп}}$. В моделируемой интегральной системе временные ограничения имеют диапазоны: для интерактивных данных реального времени $0,1 \text{ мс} \leq t_{dj \text{ доп}} \leq 10 \text{ мс}$.

МОДЕЛЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

А.Ю. Любимов, Д.И. Колбасин, З.М. Селиванова

Тамбовский государственный технический университет

Модель интеллектуальной информационно-измерительной системы (ИИИС) формально представлена следующим кортежем множеств:

$$M_{\text{инфИИИС}} = \langle I_{\text{ИМ}}^d, U_{\text{П}}, V_{\text{ДФ}}, I_{\text{вхДФ}}, I_{\text{выхДФ}}, I_{\text{ИК}}, I_{\text{ИП}}, \\ I_{\text{ИЭ}}, I_{\text{БЗ}}, I_{\text{БПР}}, I_{\text{ИИИС}}, \mathcal{E}_{\text{ИИИС}} \rangle,$$

где $I_{\text{ИМ}} = \{T_i^{d_j}, i=1, \dots, N; d_j, j=1, \dots, p\}$ – множество выходных сигналов с исследуемых материалов; $U_{\text{П}} = \{U_i, i=1, \dots, m\}$ – множество определяемых параметров; $V_{\text{ДФ}} = \{V_{R_T}, V_W, V_{\Psi}, V_T\}$ – множество дестабилизирующих факторов, где R_T – контактное сопротивление; W – влажность; Ψ – шероховатость исследуемого материала, T – температура окружающей среды; $I_{\text{вхДФ}} = \{I_{\text{вхДФ}}^{d_i}, i=1, \dots, x\}$ и $I_{\text{выхДФ}} = \{I_{\text{выхДФ}}^{d_i}, i=1, \dots, y\}$ – множество входных и выходных сигналов при воздействии дестабилизирующих факторов; $I_{\text{ИК}} = \{I_{\text{ПМК}}, t_{\text{ПИ}}, t_{\text{ОИ}}\}$ – множество параметров информационного канала; $I_{\text{ИП}} = \{I_{\text{ИП}}, i=1, \dots, l\}$ и $I_{\text{ИЭ}} = \{I_{\text{ИЭ}}, i=1, \dots, l\}$ – множество информации, поступающей от пользователя и эксперта; $I_{\text{БЗ}} = \{I_{\text{ПК}}, I_{\text{ЭК}}, I_{\text{апр}}, I_{\text{экс}}, I_{\text{тек}}, I_{\text{мет}}, I_{\text{мод}}, I_{\text{ал}}\}$ – множество информации, хранящейся в базе знаний; $I_{\text{БПР}} = \{I_{\text{БУ}}, I_{\text{ИИЗ}}, I_{\text{БТВ}}, I_{\text{БМК}}\}$ – множество информации, поступающей с блока принятия решений; $I_{\text{ИИИС}} = \{I_{\text{ИИИС}}, i=1, \dots, y\}$ – множество структур ИИИС; $\mathcal{E}_{\text{ИИИС}} = \{\Pi_T, \Pi_{\text{ОП}}, \delta\}$ – множество критериев оценки технической эффективности системы.

Информация, которая отражена в модели ИИИС, содержится в базе знаний, разработанной для интеллектуальной информационно-измерительной системы (ИИИС) неразрушающего контроля теплофизических свойств (ТФС) материалов.

Для поиска интересующей пользователя информации, содержащейся в базе знаний, используется поисковая система, алгоритм работы которой можно представить в следующем виде:

1. Задается набор целей – информация, требующаяся при разработке базы знаний (материалы, теплофизические характеристики, структура, дестабилизирующие факторы), которую требуется найти. Список этих целей через интерфейс вводится в рабочую память.
2. В базе знаний с помощью логического вывода выделяется список правил в рабочей памяти, из которых можно найти неизвестные цели.
3. Из условий продукционных правил определяются параметры, необходимые для применения правил.
4. Осуществляется поиск i -й цели в базах данных – в первой базе данных находится информация о классах материалов, во второй – о ТФС материалов, в третьей – о структуре материалов, в четвертой – о дестабилизирующих факторах.
5. Производится поиск в i -й базе данных. Если ничего не найдено, то поиск осуществляется в следующей базе данных. Если же цель найдена, то далее уточняются значения целей пользователем.
6. Значения целей из списка, определенного в п. 1, запрашиваются у пользователя.
7. Производится попытка применения правил базы знаний для достижения поставленных целей;
8. Если все цели достигнуты (удалось применить все правила, определяющие интересующие пользователя цели) или не удалось применить ни одного правила, производится переход к п. 5. Если же удалось применить не все правила, то, исключив из списка целей найденные параметры, производится переход к п. 6.
9. После поиска i -й цели во всех базах данных производится поиск следующей цели, т.е. осуществляется переход к п. 4.
10. По достижению всех первоначально поставленных целей диспетчер прекращает работу логического вывода и через интерфейс выводит пользователю значения этих переменных. Логический вывод прекращается также, если нельзя достичь поставленных целей.

Извлечение информации из базы знаний осуществляется за счет разработанных продукционных правил, позволяющих пользователю получить информацию о каждом классе материалов, о структуре и ТФС. В качестве примера приведем продукционные правила по определению класса материала по заданной величине теплопроводности:

- 1) ЕСЛИ $\lambda \in d_1, d_1 = 0,02 \dots 0,2$, ТО $M \in \text{И}$;
- 2) ЕСЛИ $\lambda \in d_2, d_2 = 0,21 \dots 0,3$, ТО $M \in \text{П}$;
- 3) ЕСЛИ $\lambda \in d_3, d_3 = 0,31 \dots 0,8$, ТО $M \in \text{С}$;
- 4) ЕСЛИ $\lambda \in d_4, d_4 = 0,81 \dots 500$, ТО $M \in \text{Мет}$,

где λ – теплопроводность; d_i – диапазон теплопроводности для i -го класса материалов, $i = 1 \dots 4$; M – материал; И – класс изоляционных материалов; П – класс полимерных материалов; С – класс строительных материалов; Мет – класс металлов.

Разработанная модель ИИИС позволяет осуществлять извлечение требуемой информации на основе применения поисковой системы и продукционных правил и организовать алгоритм функционирования интеллектуальной информационно-измерительной системы неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов.

МОДЕЛЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ИНТЕРФЕЙСА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Д.И. Колбасин, А.Ю. Любимов

Тамбовский государственный технический университет

Интеллектуальный интерфейс (ИИ) – интерфейс непосредственного взаимодействия ресурсов информационного комплекса и пользователя посредством программ обработки текстовых запросов пользователя.

Алгоритм функционирования ИИ приведен на рис. 1.

Пользователь вводит исходную информацию, которая через интеллектуальный интерфейс поступает в базу правил, содержащую продукционные правила извлечения знаний. В зависимости от введенных данных пользователем с помощью продукционных правил определенный агент ($A_1, A_{1.1}, A_2, A_{2.1}, A_{2.2}, A_3, A_{3.1}, A_4, A_{4.1}$), который взаимодействует с базой знаний (БЗ), производит поиск для извлечения различной информации, содержащейся в базах знаний.

При вводе пользователем недостаточного количества информации для определения режимных параметров или отсутствии информации происходит снятие тестовой термограммы, необходимой для определения методов контроля, идентификации исследуемого материала и информационной ситуации. При вводе вполне достаточной информации производится определение параметров (коэффициентов тепло- и температуропроводности λ, a) и измерение, после чего результаты обрабатываются и выводятся пользователю. Остальные варианты запроса пользователя в своей реализации отличаются используемыми базами знаний, из которых предполагается извлечение информации.

Разработка интеллектуального интерфейса осуществляется на основе модели интерфейса, применяемой в мультиагентных системах.

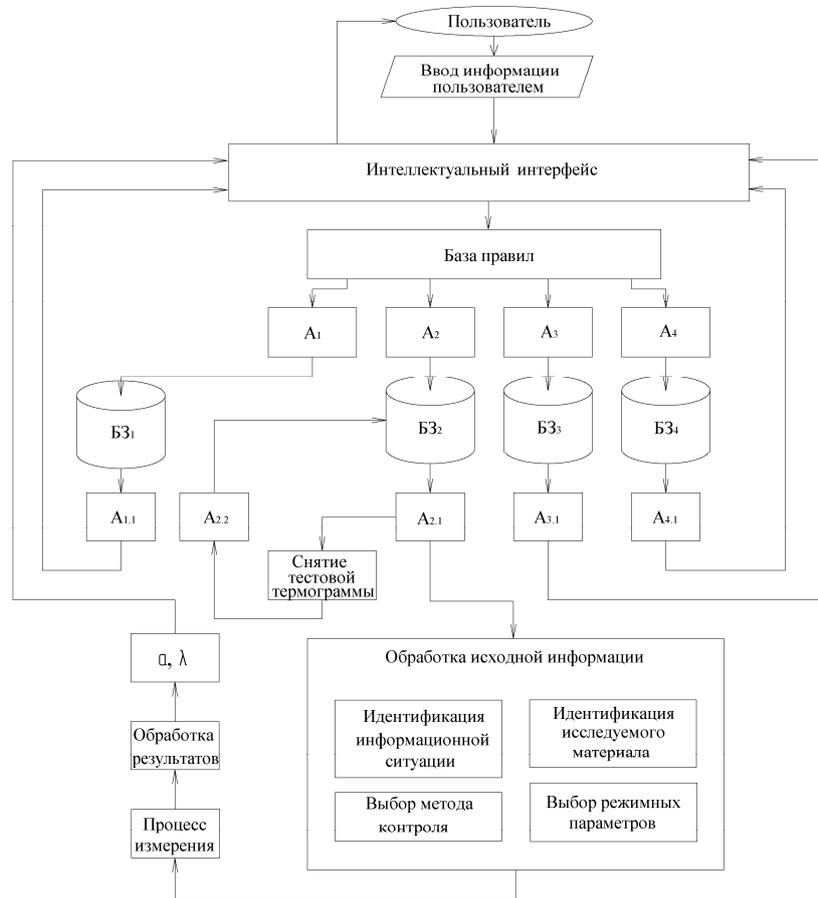


Рис. 1. Алгоритм функционирования интеллектуального интерфейса

В мультиагентной информационно-измерительной системе с интеллектуальным интерфейсом помимо реактивных агентов, обладающих набором знаний о предметной области, представленных в базах знаний, присутствуют когнитивные агенты, которые координируют деятельность реактивных агентов.

Модель интеллектуального интерфейса M_N представлена в виде кортежа следующей четверкой когнитивных агентов:

$$M_N = \langle \Pi_N, U_N, V_N, V_{ПП} \rangle,$$

где P_N – входная информация пользователя (предмет поиска, предметная область, приобретение справочной информации или проведение измерений по определению теплофизических свойств материалов);

U_N – выходная информация из базы знаний; V_N – множество состояний агента (поиск по базе знаний, извлечение информации, передача информации другому агенту); $V_{ПП}$ – множество продукционных правил.

В мультиагентной системе агенты начинают действовать только после использования базы правил, содержащей продукционные правила в виде "ЕСЛИ – ТО". Извлечение необходимой информации происходит посредством продукционных правил: ЕСЛИ И принадлежит I_i , ТО выбор необходимой информации осуществляется из БЗ $_i$, где $i = 1 \dots 4$.

В данном случае И – исходная информация, а I_i , $i = 1 \dots 4$ – виды информации, содержащиеся в базах знаний, соответственно, БЗ $_i$, $i = 1 \dots 4$.

Адаптация к предметной области и целям пользователя реализована за счет базы знаний и используемой мультиагентной системы.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ

В.А. Князев, З.М. Селиванова

Тамбовский государственный технический университет

К информационно-измерительным системам (ИИС) неразрушающего контроля теплофизических свойств (ТФС) материалов предъявляются основные требования по оперативности и точности измерений. На этапе разработки системы необходимо создать комплексную модель ИИС ТФС материалов с учетом дестабилизирующих факторов (ДФ), которая включает подмодели составляющих блоков системы, ДФ и информационного обмена между компонентами моделей.

Структура комплексной модели создана на основе экспериментальных исследований ИИС ТФС материалов, информации пользователя и эксперта об объекте контроля в рассматриваемой предметной области, оценки алгоритма функционирования системы и результатов измерения структурных и выходных параметров ТФС – коэффициентов тепло- и температуропроводности.

При разработке комплексной модели ИИС аналитическим методом определены доминирующие дестабилизирующие факторы, которые вносят наибольшую погрешность в состав полной погрешности результатов измерения параметров ТФС материалов. Процедура выделения доминант заключается в следующем. После определения вклада каждой компоненты для вероятностной характеристики $\Delta\theta_i[\Delta\Phi_i]$ случайного фактора $\Delta\Phi_i$ производится их упорядочивание. Затем из рассмотрения исключаются все компоненты с малыми значениями $\Delta\theta_i$, суммарный вклад которых в $\theta_i[\Delta\Phi_i]$ меньше установленного.

Комплексная модель ИИС ТФС материалов ($M_{ИИС}$) состоит из совокупности подмоделей переносного вычислительного блока ($M'_{ПВБ}$), интеллектуального измерительного зонда ($M'_{ИИЗ}$), дестабилизирующих факторов ($M'_{ДФ}$), метрологического обеспечения ($M'_{МО}$) и информационного обмена ($M'_{ИО}$):

$$M_{ИИС} = \{M'_{ПВБ}, M'_{ИИЗ}, M'_{ДФ}, M'_{МО}, M'_{ИО}\}.$$

Приведенные подмодели представлены кортежами, содержащими множества следующих дестабилизирующих факторов и компонентов:

1. Подмодель ПВБ состоит из кортежа множеств:

$$M'_{ПВБ} = \langle V_{КФ}, V_{П}, V_{Мех}, V_{АЦП} \rangle,$$

где $V_{КФ}$ – множество климатических факторов; $V_{П}$ – множество помех внешних и внутренних помех; $V_{Мех}$ – множество механических помех; $V_{АЦП}$ – множество погрешностей, вносимых аналого-цифровым преобразованием (АЦП).

2. Подмодель ИИЗ включает кортеж множеств:

$$M'_{ИИЗ} = \langle Z_{ИМ}, Z_{КФ}, Z_{ПИП} \rangle,$$

где $Z_{ИМ}$ – множество факторов, вносимых исследуемыми материалами; $Z_{КФ}$ – множество климатических факторов; $Z_{ПИП}$ – множество факторов, вносимых первичным измерительным преобразователем.

3. Подмодель дестабилизирующих факторов содержит кортеж множеств:

$$M'_{ДФ} = \langle D_{ИМ}, D_{АЦП}, D_{ИИЗ}, D_{КФ}, D_{П} \rangle,$$

где приведены множества, отражающие дестабилизирующие факторы: $D_{ИМ}$ – вносимые исследуемыми материалами; $D_{АЦП}$ – из-за АЦП; $D_{ИИЗ}$ – вносимые ИИЗ; $D_{КФ}$ – климатические факторы; $D_{П}$ – помехи.

4. Подмодель метрологического обеспечения представлена кортежем множеств:

$$M'_{МО} = \langle Q_{СМО}, Q_{МОИ}, Q_{ОПИ} \rangle,$$

где $Q_{СМО}$ – множество способов метрологического обеспечения (испытание, поверка, аттестация, калибровка); $Q_{МОИ}$ – множество методов обработки информации; $Q_{ОПИ}$ – множество определяемых погрешностей измерения.

5. Подмодель информационного обмена между подмоделями и компонентами модели ИИС представляет собой кортеж, включающий множества:

$$M'_{ИО} = \langle J_{ИП}, J_{ПМБЗ}, J_{ПМА} \rangle,$$

где $J_{ИП}$ – множество информационных потоков при обмене информацией; $J_{ПМБЗ}$ – множество программных модулей базы знаний ИИС; $J_{ПМА}$ – множество программных модулей, реализующих алгоритм функционирования ИИС.

Внешние факторы, влияющие на результаты измерений, можно сконцентрировать в некотором количественном показателе, определяющем работоспособность измерительной системы и характеризующем достоверность результатов измерения.

Таким показателем качественной работоспособности системы может быть функциональная надежность, которая используется для повышения достоверности результатов теплофизических измерений. Вероятность достоверных измерений ($P_{ди}$) в условиях воздействия на ИИС внешних факторов, не учтенных алгоритмом измерения, определяется следующим образом: $P_{ди} = P_{вф} P_{вр}$, где $P_{вф}$ – вероятность воздействия внешних факторов, не учтенных алгоритмом измерения; $P_{вр}$ – вероятность работоспособности ИИС в условиях действия ДФ.

Применение комплексной модели с учетом дестабилизирующих факторов позволяет повысить точность определения ТФС материалов за счет коррекции входящих в комплексную модель подмоделей на основе анализа погрешностей измерений системы и расширить область применения информационно-измерительных систем в результате адаптации комплексной модели к рассматриваемой предметной области.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УЧЕБНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ "ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН"

Е.С. Неретин, О.Ю. Чубаров

Московский авиационный институт (ГТУ), aviатex@mai.ru

Созданная нами лаборатория представляет собой универсальный открытый комплекс модульных средств для проведения лабораторных работ в рамках проекта "Электрические измерения неэлектрических величин". Комплекс включает в себя: лабораторные установки для натуральных экспериментов с физическими величинами – температура, давление, ускорение, вибрация; методическое, аппаратное и программное обеспечение (среды) для проведения четырех лабораторных работ широкого профиля в области измерений, контроля и управления.

Для сопряжения лабораторных установок с персональным компьютером разработан универсальный микропроцессорный измерительно-управляющий блок (МИУБ), предназначенный для измерения аналоговых сигналов датчиков всех установок, первичной обработки результатов измерений, а также для управления лабораторными установками в процессе проведения экспериментов. Структурная схема МИУБ представлена на рис. 1.

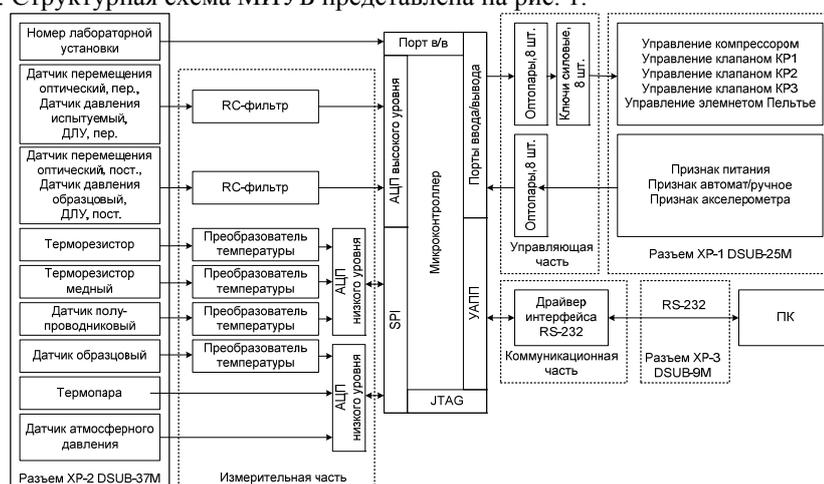


Рис. 1. Структурная схема МИУБ

Для обучения студентов методам и средствам измерения вибраций используется лабораторная установка типа "Электродинамический вибростенд". Существенной особенностью этой установки является то, что в ней измеряются и регистрируются в достаточно большом диапазоне частот колебаний выходной сигнал акселерометра и его линейные перемещения. Это позволяет при условии гармонического характера колебаний косвенно легко оценивать амплитуду действующих на акселерометр ускорений и таким образом определять его амплитудно-частотную характеристику [1].

Для обучения студентов методам и средствам измерения давления используется лабораторная установка "Методы и технические средства измерения давления", предназначенная для определения (поверки, калибровки) статических характеристик датчиков давления. Причем один из датчиков принимается за рабочий эталон, его характеристики используются при организации управления давлением внутри рабочей камеры установки.

Установка предназначена для экспериментального определения характеристик датчиков давления. В состав установки входят: компрессор, резервуар, трубопроводы, электропневмоклапаны, датчики давления и др. В качестве рабочего тела используется воздух. Требуемое давление внутри установки достигается путем соответствующего управления компрессором и двумя электроклапанами. Проходное сечение стравливающего первого клапана много больше второго. Это позволяет получать разные скорости стравливания давления и достигать требуемого качества его регулирования.

Из всех физических величин наиболее часто измеряемой величиной является температура. Для обучения студентов методам и средствам измерения температуры предлагается использовать лабораторную установку "Методы и технические средства измерения температуры", предназначенную для определения (поверки, калибровки) статических характеристик термодатчиков. Причем один из датчиков принимается за рабочий эталон, его характеристики используются при организации управления температурой внутри камеры.

Температура в лабораторной установке изменяется с помощью термоэлектрических модулей на эффекте Пельтье. Внутренние поверхности термоэлементов имеют хороший тепловой контакт с П-образным телом из меди, температура которого измеряется, а внешние – с радиаторами, охлаждаемыми вентиляторами для лучшего теплоотвода. Замер температуры производится с помощью установленных на поверхности тела датчиков температуры. Один из датчиков используется в качестве рабочего эталона.

Рабочая камера установки защищена слоем теплоизоляции, изготовленной из пенопласта. Величина максимального перепада температур, обеспечиваемого термоэлектрическим прибором, зависит от тепловой нагрузки на термоэлемент. В данной камере может быть установлена температура, лежащая в диапазоне $-5...+60$ °С. Изменение температуры внутри термокамеры происходит путем пропускания электрического тока нужной направленности и величины через термоэлектрические модули, при этом происходит охлаждение или нагрев твердого тела. Нижний предел в основном определяется мощностью использованных термоэлектрических модулей и температурой окружающей среды, а верхний – ограничен предельно допустимой температурой для выбранной термоизоляции.

Для обучения студентов методам и средствам измерения ускорения используется лабораторная установка "Методы и технические средства измерения ускорения", обеспечивающая возможность измерения величины задаваемого ускорения образцовым датчиком. Датчиком ускорения является математический маятник.

Лабораторная установка позволяет проводить: градуировку преобразователя (акселерометра) экспериментальным методом; получение экспериментальных статистических характеристик преобразователей; определение величины нелинейности статических и динамических характеристик преобразователей (акселерометров); определение метрологических характеристик акселерометров при многократных измерениях.

Для работы с лабораторными установками и организации пользовательского интерфейса разработано программное обеспечение Laboratory Analyser, обеспечивающее задание конфигурации каналов ввода-вывода и параметров работы МИУБ, отображение графиков измеряемых сигналов в режимах осциллографа и самописца, формирование циклограмм управления состоянием выходных каналов, ручное управление состоянием выходных каналов, отображение состояния входных каналов, экспорт результатов измерений в программу Microsoft Excel.

Созданная лаборатория позволяет: выполнять лабораторные работы различного уровня сложности (на втором – пятом курсах технических университетов) и дипломные проекты по ряду учебных дисциплин; изучать новейшие методы измерения, контроля и управления в промышленности с использованием открытых компьютерных технологий, международных стандартов, микропроцессорной техники; развивать у студентов навыки, необходимые для проведения научно-исследовательских разработок в различных областях науки и техники.

1. Князева, В.В. Микропроцессорный измерительно-управляющий блок "МИУБ" / В.В. Князева, Е.С. Неретин // Проектирование и изготовление аэрокосмических аппаратов / под ред. Ю.Ю. Комарова. – М. : Изд-во МАИ, 2006. – С. 144 – 149.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

А.В. Чувилкин, А.С. Гордеев

Мичуринский государственный аграрный университет

Предсказание электрической нагрузки оказывает огромное влияние на производство и передачу электроэнергии.

В связи с реформой электроэнергетики в РФ энергосбытовыми компаниями, обеспечивающим электрической энергией потребителей, предоставлена возможность заказывать электроэнергию. Правилами функционирования розничных рынков установлена обязанность потребителей точного планирования объемов потребления электроэнергии, что требует применения методов прогнозирования, способных обеспечить необходимую точность при недостаточном качестве исходных данных, характеризующихся пропусками и аномальными отклонениями. Излишнее или недостаточное потребление электроэнергии, заказывающейся по предварительным заявкам предприятия, приводит к дополнительным денежным расходам.

Составление прогнозов для сельскохозяйственных потребителей электроэнергии имеет свои особенности и трудности: удаленность потребителей способствует увеличению влияния климатических факторов на потребление электроэнергии; малая доля промышленной нагрузки; много мелких частных предприятий с малой мощностью; зависимость производства сельскохозяйственных (с/х) предприятий от урожайности.

В последнее время для решения задачи прогнозирования электрической нагрузки используются искусственные нейронные сети (ИНС), основанные на простой биологической модели нервной системы человека.

Для решения задачи прогнозирования электронагрузки воспользуемся пакетом Neural Network Toolbox, включенных в состав ППП Matlab 7. Используя многослойную нейронную сеть newff с обратным распространением ошибки, составим прогноз расхода электроэнергии на год. При обучении сети используем алгоритм обучения traincgf.

Для составления обучающей выборки используется следующая информация: прогнозная метеорологическая информация, учитывающая метеорологическую обстановку, которая ожидается в момент прогноза; регистрационная информация, в том числе месячные нагрузки с/х предприятий в предшествующий период; астрономические (долгота дня) и социальные факторы (выходные и рабочие дни, праздники); данные о производстве, переработке или хранении с/х продукции на предприятиях.

На рис. 1 изображена структура нейросети. Входной вектор данных V_x имеет следующие составляющие: количество дней в месяце (K_d), средняя месячная температура (T_e), скорость ветра (V_m), число пасмурных дней в месяце (P_d), количество выходных и праздничных дней за месяц (P_V), информация о производстве продукции на предприятии (P_p). Выходной вектор – расход электроэнергии по месяцам (R_m).

Во входном слое каждый элемент вектора входа соединен со всеми входами нейрона матрицей весов W . Каждый нейрон включает суммирующий элемент, который формирует выход $n(i)$. В данной нейронной сети newff мы используем во входном слое тангенциальную функцию активации $f1$. Слой выхода имеет линейную функцию активации $f2$.

В табл. 1 представлена обучающая выборка. Данные о производстве и расходе электроэнергии взяты с предприятия по переработке с/х продукции ООО "М-Конс1". Данные о производстве содержат информацию о суммарной переработке с/х продукции по месяцам, выраженной в тубах (1 туба = 400 кг). При получении метеорологической информации использовался сайт dyn.gismeteo.ru.

Для обучения нейронной сети на вход подается вектор Vx . Выходной вектор – расход электроэнергии по месяцам, кВт. Используя выбранный алгоритм обучения и данную обучающую выборку, сеть обучается с ошибкой 10^{-5} .

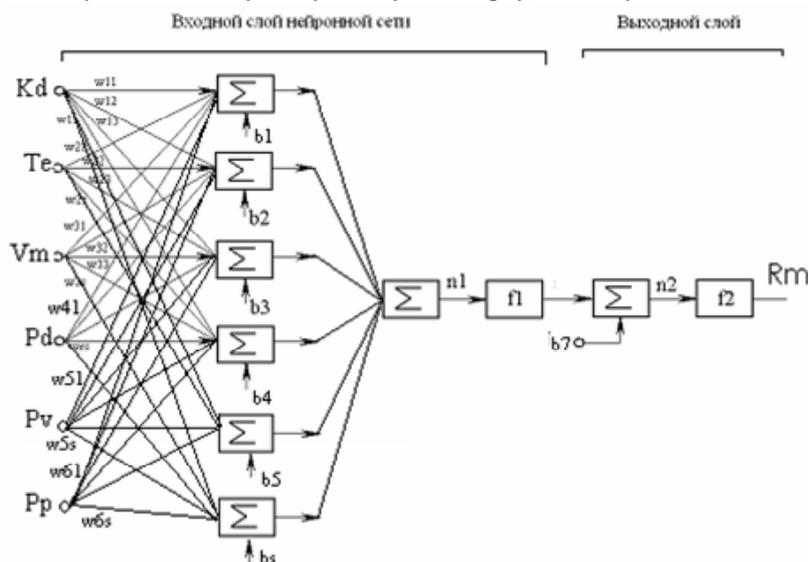


Рис. 1. Структура нейронной сети

Таблица 1

Месяц	Количество дней	Температура, °C	Скорость ветра, м/с	Пасмурные дни	Выходные и праздничные дни	Производство	Расход электроэнергии, кВт
Январь	31	-12,3	2,6	22	15	0	26 810
Февраль	28	-13,4	1,4	19	9	2	32 230
Март	31	-4,4	2,4	22	9	10	23 300
Апрель	30	6,3	1,9	22	10	3,4	24 080
Май	31	12,7	1,7	19	10	0	13 120
Июнь	30	18,7	1,6	14	9	150	12 630
Июль	31	17,8	1,8	19	10	290	18 520
Август	31	19,7	3,2	19	8	370	31 890
Сентябрь	30	13,25	1,6	18	9	310	28 860
Октябрь	31	7,5	1,9	27	9	284	28 800
Ноябрь	30	0,1	1,9	28	9	120	31 580
Декабрь	31	-0,3	2,9	29	10	40	30 850

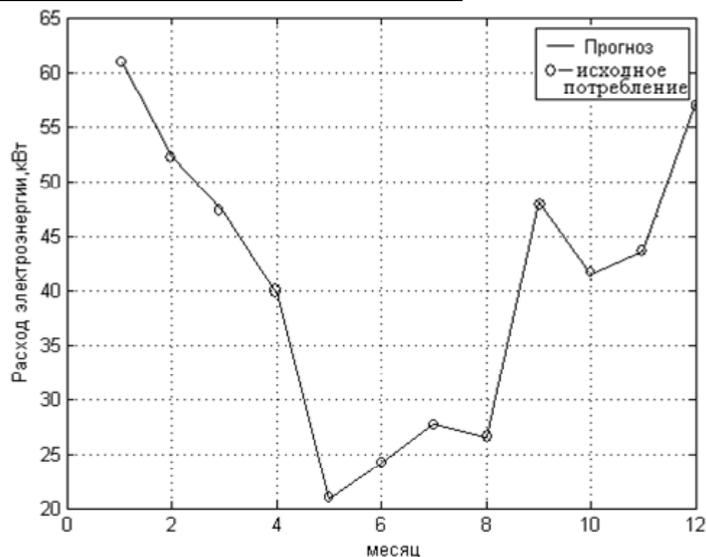


Рис. 2. Прогноз электропотребления

При прогнозировании вектор входа нейросети будет состоять из прогнозной информации о метеорологических параметрах, плана производства на прогнозируемый период. Выход – прогнозное значение расхода электроэнергии. Чем ближе к реальным параметрам будут значения входного вектора, тем точнее получится прогноз.

На рис. 2 представлен прогноз электропотребления предприятия по переработке с/х продукции. Ошибка прогнозирования на обучающей выборке составляет 3 – 5 % по разным месяцам.

При современных требованиях к точности составления прогноза данная ошибка является большой. Уменьшение ошибки до требуемых пределов можно добиться изменением структуры сети, изменением алгоритма обучения. На ошибку прогнозирования также огромное влияние оказывает достоверность данных. Введение дополнительных входных параметров также может способствовать уменьшению ошибки.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что использование нейронных сетей позволяет выявлять параметры, которые влияют на точность прогноза, без ограничения их количества и оценивать погрешность прогнозирования.

Предложенная модель прогнозирования электропотребления может использоваться для практической работы в энергосбытовых компаниях и потребителями электроэнергии.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАГРУЗКИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

А.М. Сапожников, А.В. Лукашенко

Тулский государственный университет, olga@uic.tula.ru

Слежение за нагрузкой энергосистемы в ходе производства и транспортировки электроэнергии во все моменты времени представляет собой основное требование при эксплуатации энергосистем. Как правило, нагрузка – это достаточно сложный процесс, зависящий от множества факторов. Поэтому задачу прогнозирования нагрузки необходимо решать в широком диапазоне временных интервалов. В проводимых исследованиях рассматривается вопрос краткосрочного прогнозирования нагрузки.

Краткосрочному прогнозированию нагрузки (КСПН) принадлежит решающая роль в формировании экономичных, надежных и безопасных режимных стратегий энергосистемы. Главной задачей КСПН является выработка прогнозов нагрузки для: выполнения функций по распределению нагрузки генерирующего оборудования, оценки надежности энергосистемы в любой момент времени, предоставления своевременной информации диспетчеру, регулирования значений напряжения по энергосети.

В качестве инструмента прогнозирования нагрузки рассматривается относительно новый подход, основанный на применении нейронных сетей. В отличие от классических способов оценки, данный метод позволяет не только учитывать максимально возможное количество доступных факторов для прогнозирования, но и самообучаться, корректируя тем самым прогноз.

Для исследования возможностей нейронной сети нами проведен эксперимент, для которого была выбрана и запрограммирована искусственная нейронная сеть; структура сети показана на рис. 1. Количество нейронов в скрытом слое для суточного прогнозирования равно 5. Преобразующими функциями, дающими наименьшую погрешность прогноза, выбраны сигмоидальные функции как для скрытого, так и для выходного слоя. В качестве алгоритма обучения использован алгоритм обратного распространения ошибки.

В качестве входных переменных модели прогнозирования нагрузки были выбраны две величины: время, температура в исследуемом регионе. За выходную величину принималась электрическая нагрузка.

Исходные данные для обучения нейронной сети взяты нами из архивных материалов одной из подстанций. Прогнозы полученной модели и реальные данные приведены на рис. 2.

Как видно из рис. 2, нейронная сеть достаточно точно предсказала изменение величины нагрузки за одни сутки, при этом правильно оценив пики потребления энергии в сети (с максимальной погрешностью 5 %).

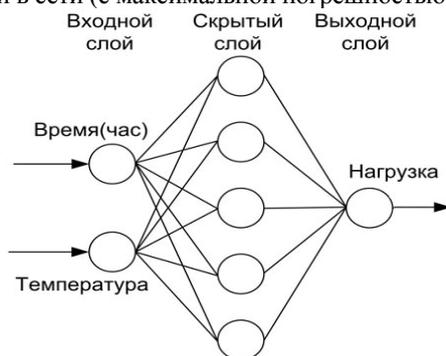


Рис. 1. Общая структура использованной нейронной сети

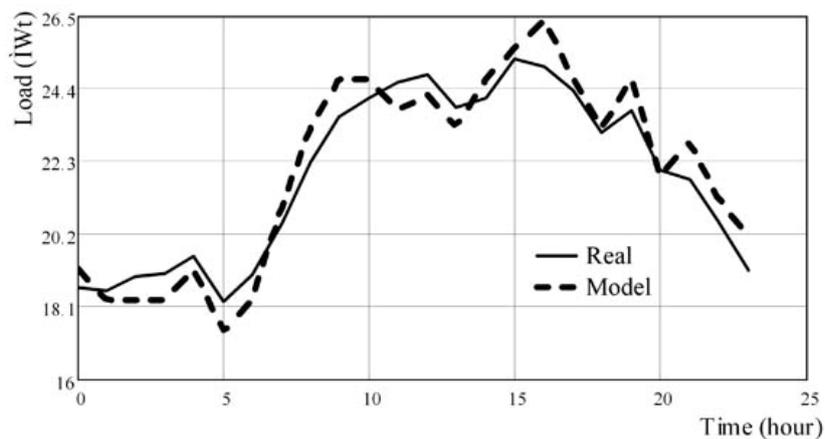


Рис. 2. Фактические и спрогнозированные значения нагрузки для рабочего дня

ПРОГНОЗ ПРОДАЖ НА ОСНОВЕ МОНИТОРИНГА МАТЕРИАЛЬНЫХ И ФИНАНСОВЫХ ПОТОКОВ

Е.Л. Дёмин, В.Н. Гиляров

Санкт-Петербургский государственный технологический институт,
eugenedjomin@mail.ru

В [1, 2] рассмотрены типичные задачи распределительной логистики на примере оптово-розничной торговой сети. Это планирование товарного ассортимента и балансировка запасов товаров. Для решения этих задач использованы методы искусственного интеллекта с привлечением аппарата нечеткой логики.

Очевидно, что повышение качества работы экспертной системы возможно лишь за счет привлечения дополнительной информации, с помощью которой можно проводить перенастройку параметров системы. Использование различных показателей рентабельности, основанных на вычислении прибыли, получаемой с единицы занимаемой конкретным товаром площади или объема, позволяет поддерживать сбалансированность товарной массы в каждой конкретной торговой точке. Однако при этом остаются нерешенными другие важные задачи – балансировка ассортимента на уровне всего предприятия в целом и задача прогнозирования ассортимента в ближайшем будущем.

Обе задачи требуют обработки значительных объемов данных о деятельности предприятия. Предоставить все необходимые данные может практически любая промышленная система управления предприятием, однако при этом есть ряд серьезных проблем: сложность интеграции со сторонними программными системами, неудовлетворительное быстродействие в условиях постоянной смены правил отбора данных, ограниченная функциональность встроенных в систему программных средств. Оптимальным решением в данном случае является реализация набора утилит, имеющих прямой доступ к базе данных системы управления предприятием. Такое решение позволяет реализовать обработку данных алгоритмами любой сложности, константную скорость обработки пользовательского запроса по сколь угодно большому временному интервалу. Самый серьезный недостаток такого решения – необходимость внедрения более строгой политики безопасности для предотвращения несанкционированного доступа к конфиденциальным данным.

Для решения задач балансировки и прогнозирования ассортимента используются данные о продажах товаров всех групп как по розничным торговым точкам, так и по всем подразделениям, занимающимся оптовой реализацией товаров. Так как программная реализация обеспечивает загрузку данных за все время, то появляется возможность исследовать различные временные интервалы. В результате исследований приняты следующие временные интервалы: год, месяц, все кварталы, 30, 90 и 365 дней от текущей даты. Данные по временным интервалам берутся как за текущий год, так и за предыдущий. Для текущего года эти интервалы, естественно, ограничены началом периода и текущей датой, для предыдущего года данные берутся за сравнимые периоды времени. Данные по кварталам также являются неполными. Для получения данных по полностью завершенным, одинаковым периодам предназначены интервалы 30, 90 и 365 дней.

Имея в распоряжении все необходимые данные, можно строить математическую модель для решения проблем балансировки товарной массы и прогноза. На текущем этапе исследуется применимость и адекватность простейшей модели. Прежде всего, производится линейная аппроксимация зависимости объема продаж/получаемой прибыли от времени. Это позволяет сделать грубую оценку тенденции продаж той или иной группы товаров в рассматриваемой торговой точке. Для уточнения оценки рассчитывается отношение данных текущего года к предыдущему по всем рассматриваемым интервалам. "Значимость" данных тем больше, чем больше временной интервал. На основании этих данных принимается решение об увеличении или уменьшении поставок товаров рассматриваемой группы в рассматриваемую торговую точку.

Несмотря на кажущуюся простоту и грубость оценки, применение данной модели позволяет минимизировать влияние скачков продаж в краткосрочном периоде, тем самым повысить качество работы как экспертной системы планирования товарного ассортимента, так и подсистем ее оптимизации.

В настоящее время ведутся испытания адекватности и эффективности разработанной модели. В дальнейшем планируется усовершенствование модели с привлечением аппарата мягких вычислений и анализа временных рядов.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПЛОДОВ НА БАЗЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Д.В. Дроздов

Мичуринский государственный аграрный университет

В последнее время в связи с развитием технологий искусственного интеллекта все чаще и чаще для прогнозирования процессов привлекают искусственные нейронные сети (НС).

Для прогнозирования качества плодов нами выбрана многослойная сеть прямой передачи с заданными функциями обучения и настройки, которые используют метод обратного распространения ошибки.

Рассмотрим алгоритм прогнозирования сроков съема плодов с помощью нейронной сети. Предварительно введем некоторые матрицы-обозначения: P – входные переменные обучения НС; PS – входные переменные прогнозирования НС; W и WS – коэффициенты весов входного и выходного слоя; B_1 – коэффициенты смещения.

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1m} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nm} \end{bmatrix}; \quad PS = \begin{bmatrix} PS_{11} \\ PS_{21} \\ \dots \\ PS_{n1} \end{bmatrix}; \quad W = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & \dots & W_{1n} \\ W_{21} & W_{22} & \dots & W_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ W_{s1} & W_{s2} & \dots & W_{sn} \end{bmatrix};$$

$$WS = \begin{bmatrix} WS_{11} \\ WS_{21} \\ \dots \\ WS_{s1} \end{bmatrix}; \quad B_1 = \begin{bmatrix} B_{11} \\ B_{21} \\ \dots \\ B_{s1} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где n и m – количество строк и столбцов матрицы; s – количество нейронов во входном слое сети.

Как видно из структурной многослойной НС (рис. 1), во входном слое каждый элемент вектора входа соединен со всеми входами нейронов и это задается матрицей весов W ; при этом каждый s -й нейрон включает суммирующий элемент, который складывает полученное произведение коэффициента веса и элемента вектора входа со смещением B_{s1} , формируя при этом выход Net_n .

Уравнение нейронов входного слоя имеет следующий вид:

$$Net_n = PS_{n1}W_{1n} + PS_{n2}W_{2n} + \dots + PS_{n1}W_{(s+1)n} + B. \quad (2)$$

Результирующая сумма Net_n является аргументом функции активации f_1 , выходом которой является a_n . Во входном слое нейронной сети нами применялась сигмоидальная логистическая функция активации f_1 с выходом $a_n = 2/(1 + \exp(-2Net_n)) - 1$.

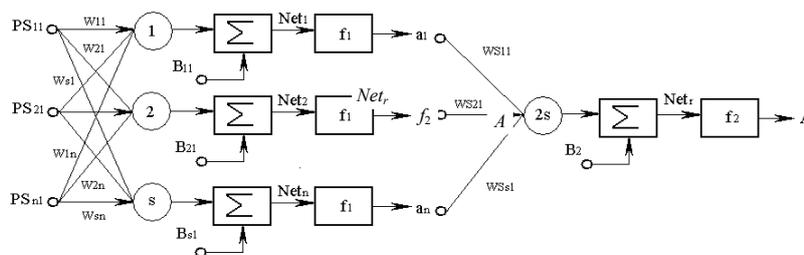


Рис. 1. Структурная схема многослойной НС

Как видно из структурной схемы многослойной НС (рис. 1), в слое выхода каждый элемент вектора входа a_n соединен с входом нейрона и это задается матрицей весов WS ; при этом нейрон включает суммирующий элемент, который складывает полученное произведение коэффициента веса и элемента вектора входа со смещением B_2 , формируя при этом выход Net_r .

Результирующая сумма Net_r является аргументом функции активации f_2 , а выходом функции активации является A . В входном слое нейронной сети используется линейная функция активации f_2 .

Сигнал выходного слоя имеет вид:

$$A = B_2 + a_1WS_{11} + a_2WS_{21} + \dots + a_nWS_{(s+1)1}.$$

Основная актуальность применения нейронных сетей для задачи прогнозирования времени съема плодов состоит в возможности использования большого количества разнообразных входных переменных – даты съема, времени хранения, массы и степени зрелости плода, пораженности плодов болезнями, активности каталазы и т.д.

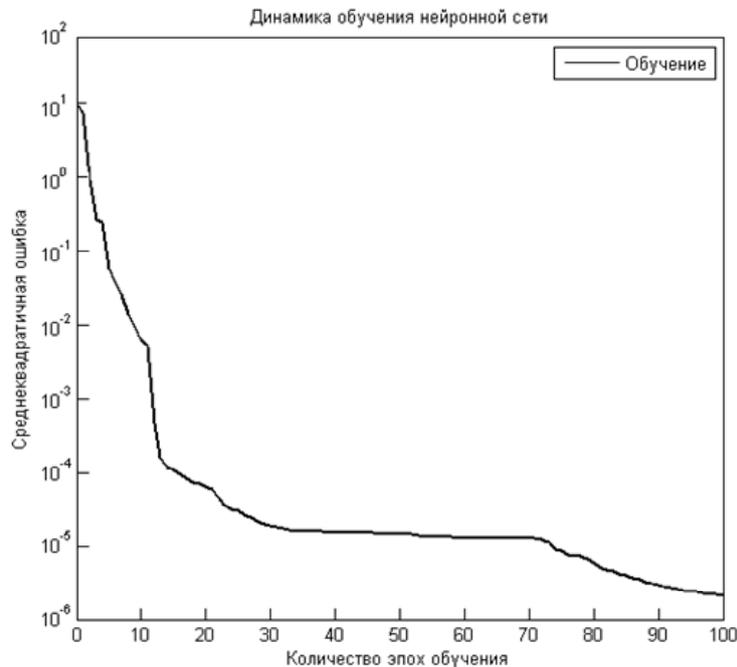


Рис. 2. Зависимость среднеквадратичной ошибки от количества эпох обучения

В процессе обучения НС и прогнозирования времени съема плодов мы используем вектор входных переменных $P = (P_0, P_1, P_2, P_3, P_5, P_8, P_9)$, который определяет вектор выходных переменных $Y = (P_4, P_6, P_8)$, где P_0 – участок сада, у.е.; P_1 – величина объективного показателя, связанная с каким-либо критерием качества плодов, снимаемых с определенного участка сада в определенное время, у.е.; P_2 – помологический сорт плода; P_3 – дата съема, дни; P_4 – время хранения, дни; P_5 – активность фермента каталазы, мгО₂; P_6 – площадь повреждения (гниль), см²; P_7 – площадь поражения физиологическими заболеваниями (загар); P_8 – степень зрелости, балл; P_9 – цвет плода, у.е.

Результаты прогнозирования хранятся в памяти компьютера.

Точность обучения нейронной сети по исходной выборке составляет 10^{-6} (рис. 2).

Предложенная сеть прогнозирования качества плодов удовлетворяет требования практики по погрешности, имеет хорошее быстродействие. Данная НС может быть использована в более простых пакетах прикладных программ типа Excel, что уменьшает необходимый объем памяти компьютера и его конфигурации.

ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ КАЧЕСТВА ПЛОДОВ

Д.В. Дроздов

Мичуринский государственный аграрный университет

Наряду с выбором алгоритма нейронной сети (НС) возникает проблема ее оптимальной структуры. Для прогнозирования качества продукции необходимо минимизировать среднеквадратичную ошибку (СКО) с тем, чтобы последняя удовлетворяла потребностям практики. На среднеквадратичную ошибку могут влиять алгоритмы обучения нейронной сети, вид функции активации, количество входных и выходных нейронов.

Для минимизации СКО нами исследовалась нейронная сеть *newff* с методом обучения обратного распространения ошибки.

План исследования включал: поиск минимального значения ошибки прогнозирования на обучающей выборке в зависимости от количества входных и выходных нейронов; поиск минимального значения ошибки прогнозирования на обучающей выборке в зависимости от вида функций активаций.

На вход сети подавали вектор данных $P = f(P_0, P_1, P_2, P_3, P_5, P_8, P_9)$, а на выходе наблюдали вектор показателя качества $Y = f(P_4, P_6, P_8)$, где P_0 – участок сада, у.е.; P_1 – величина объективного показателя, связанная с каким-либо критерием качества плодов, снимаемых с определенного участка сада в определенное время, у.е.; P_2 – помологический сорт плода; P_3 – дата съема, дни; P_4 – время хранения, дни; P_5 – активность фермента каталазы, мгО₂; P_6 – площадь повреждения (гниль), см²; P_7 – площадь поражения физиологическими заболеваниями (загар); P_8 – степень зрелости, балл; P_9 – цвет плода, у.е.

На рис. 1 показано изменение СКО и времени обучения V в зависимости от количества нейронов N входного слоя при использовании функции обучения *trainlm*.

Минимальная погрешность в зависимости от количества входных нейронов наблюдается при $N > 25$ при времени обучения $V = 100$ с. При увеличении времени среднеквадратичная ошибка стремится к нулю.

Нами использовались различные функции обучения, приведенные в табл. 1. Наиболее эффективными функциями обучения по минимуму числа входных нейронов и СКО являются функции *trainbfg*, *trainbr*, *trainlm*.

Функция *trainbfg* обучает НС, используя квазиньютонов алгоритм Бройдена, Флетчера, Гольдфарба и Шано, функция *trainbr* обучает НС, используя алгоритм Левенберга – Марквардта, дополненный регуляризацией по Байесу, функция *trainlm* обучает НС, используя алгоритм Левенберга – Марквардта.

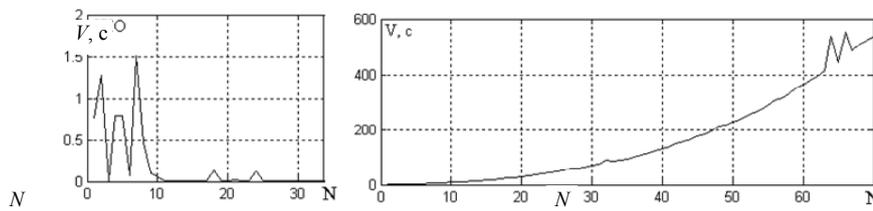


Рис. 1. Изменение СКО и времени обучения V при использовании функции обучения trainlm

1. Результаты обучения сети newff при $N = 70$

Функция обучения $T = \text{train}$	T_{gdm}	T_{gd}	T_{gda}	T_{gdx}	T_{rp}	T_{oss}	T_{cgf}
Минимальная СКО	1,1835	0,7794	0,396	0,1382	0,0192	$6,1 \cdot 10^{-3}$	$3,3 \cdot 10^{-3}$
Функция обучения $T = \text{train}$	T_{cgp}	T_{scg}	T_{cgb}	T_{bfg}	T_{br}	T_{lm}	
Минимальная СКО	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$3,1 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$5,5 \cdot 10^{-9}$	

Проведенные нами исследования модели сети newff с различным количеством входных нейронов и различных функций активации при прогнозировании качества плодов показывают, что наиболее оптимальное количество входных нейронов равно 25-ти с функциями обучения trainbfg , trainbr , trainlm , функциями активации входного слоя tansig или logsig и функцией обучения выходного слоя purelin .

Оптимизированная структура нейронной сети используется при разработке систем управления уборочным процессом.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОДОСВЕЧЕНИИ РАСТЕНИЙ СВЕТОДИОДАМИ

А.А. Фокин

Мичуринский государственный аграрный университет

В зимних теплицах рассаду овощей начинают выращивать с декабря-января. В данных условиях фактором, лимитирующим процесс фотосинтеза, является свет, поэтому в тепличном производстве широко применяется электродосвечивание рассады.

Для рационального использования электроэнергии в этой области используются специализированные источники света. Чтобы понять, чем они отличаются от обычных, необходимо рассмотреть сущность и структуру процесса фотосинтеза.

В настоящее время установлено, что фотосинтетические пигменты в мембранах хлоропластов имеют не беспорядочное расположение, а организованы в две фотосистемы. Каждая фотосистема состоит из светособирающих (антенных) молекул пигментов (хлорофилла а, хлорофилла b, каротиноидов, фикобилинов) и реакционного центра (РЦ) (рис. 1). Перенос энергии происходит только от пигментов, поглощающих свет с меньшей длиной волны, к пигментам, поглощающим свет с большей длиной волны. Коэффициенты поглощения различных пигментов приведены на рис. 2, а.

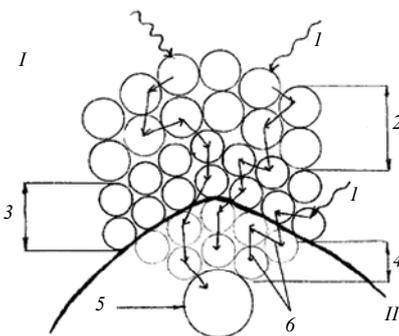
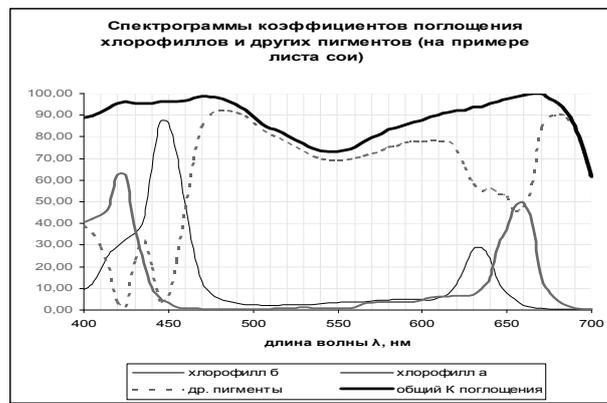
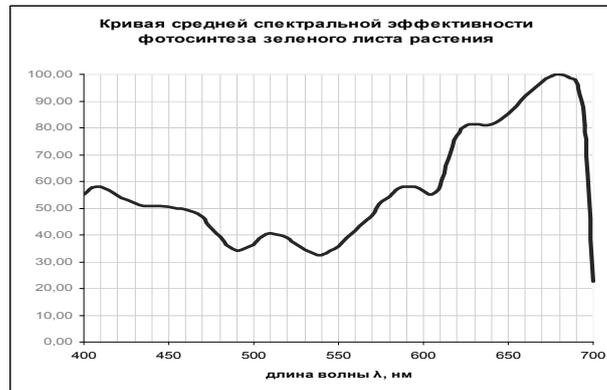


Рис. 1. Строение фотосистемы:

- I – антенный комплекс;
- II – реакционный центр;
- 1 – кванты света;
- 2 – пигменты, поглощающие в коротковолновой части спектра видимого света;
- 3 – пигменты, поглощающие в средневолновой части спектра;
- 4 – молекулы хлорофилла;
- 5 – хлорофилл-ловушка Р680 или Р700; 6 – путь энергии поглощенного кванта света к хлорофиллу-ловушке



а)



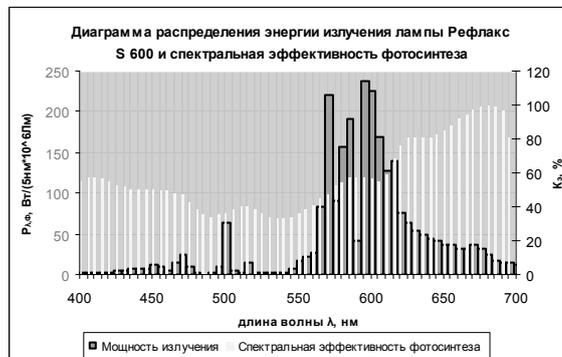
б)

Рис. 2. Спектральные коэффициенты поглощения различных пигментов (а) и спектральная эффективность фотосинтеза (б)

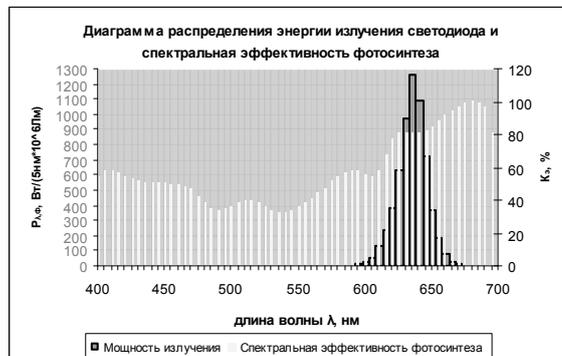
Исходя из этих данных, экспериментально получена кривая спектральной эффективности фотосинтеза (рис. 2, б).

Видно, что наибольшей эффективностью для фотосинтеза обладает красный свет. Это обусловлено тем, что молекуле хлорофилла для перехода в возбужденное состояние достаточно той энергии, которой обладает квант красного света, поэтому при освещении данного пигмента синим светом часть энергии идет на возбуждение, а часть рассеивается в виде тепла.

В настоящее время для электродосвечивания рассады применяются специальные лампы со спектром излучения, смещенным в длинноволновую область. Одной из лучших растениеводческих ламп в мире признана лампа Reflux S600 отечественного производства. Ее спектральная характеристика приведена на диаграмме (рис. 3, а).



а)



б)

Рис. 3. Диаграммы спектрального распределения энергии излучения лампы Рефлекс (а) и красного светодиода (б)

Большая часть световой энергии этой лампы излучается в области оранжевых лучей, но помимо них присутствует излучение в области зелено-голубых лучей, где спектральная эффективность фотосинтеза доходит до минимума. Таким образом, световая энергия излучения используется нерационально.

Для достижения оптимального уровня фотосинтетически активной радиации (ФАР) при минимальных затратах электроэнергии молодые растения можно облучать светом с узким спектром в области максимальной эффективности фотосинтеза. Для данной цели вполне подходят современные светоизлучающие диоды. Диаграмма спектрального распределения энергии излучения красного светодиода приведена на рис. 3, б.

Нами создана математическая модель, которая сопоставляет затраты электроэнергии при использовании двух различных источников света для электродосвечивания рассады. Исходными данными в ней являются: спектральные диаграммы источников света $P_{\lambda, \Phi_1}(\lambda)$, $P_{\lambda, \Phi_2}(\lambda)$, Вт/(5нм · 10⁶ лм); электрическая мощность источников S_1 , S_2 , Вт; световой поток источников Φ_1 , Φ_2 , Лм; требуемая удельная мощность ФАР $P_{\text{ФАР уд. опт}}$, Вт/м²; кривая спектральной эффективности фотосинтеза $K_3(\lambda)$.

$$S_{\text{уд}} = P_{\text{ФАР уд. опт}} S / \left(\Phi \int_{400}^{700} K_3(\lambda) P_{\lambda, \Phi}(\lambda) d(\lambda) \right);$$
$$\Delta S_{\text{уд}} = (S_{1\text{уд}} - S_{2\text{уд}}) \cdot 100 \% / S_{1\text{уд}},$$

где $S_{1\text{уд}}$, $S_{2\text{уд}}$ – удельная электрическая мощность источника излучения, необходимая для создания требуемого уровня ФАР, Вт/м².

С помощью данной модели на основании исходных данных по лампам Reflux S600 и светоизлучающим диодам КР-0814-1 рассчитана величина снижения энергозатрат на электродосвечивание рассады в зимних теплицах, которая составила около 10 %. Представленная модель также может использоваться при нахождении оптимальных параметров источников света, для создания необходимых условий облучения рассады в теплицах.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧИ О СОХРАНЕНИИ ВКЛАДОВ

Е.Г. Поздникина, А.А. Арзамасцев

Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина,
lenapozd@rambler.ru

Проблема сохранения накоплений является важной для любого гражданина Российской Федерации. Несмотря на значительное число публикаций по динамике макроэкономических показателей, валового внутреннего продукта и т.д., отсутствуют работы, в которых данная проблема решалась бы относительно корректно. Это связано с тем, что разные люди по-разному могут понимать термин "сохранения накоплений".

Целями данной работы являются: формализация задачи о вкладах, корреляционный анализ данных по макроэкономической ситуации в России и построение математических моделей на этой основе; проведение вычислительных экспериментов и выдача рекомендаций по наиболее выгодным способам сохранения накоплений.

На основе индивидуальных особенностей человека, его желаний и приоритетов нами разработана классификация понимания ситуации о "сохранении накоплений", которая включает в себя следующие типы индивидов:

– "полностью пассивный" индивид – это человек, который в 2000 г. имел некоторую сумму (в качестве которой мы выбрали 10 000 USD) и хотел бы сохранить ее стоимость, используя первоначальное перераспределение в валютах EUR, USD, RUB;

– "частично активный" индивид – это человек, который пользуется услугами официальной банковской сферы с ее ставками, процентами по вкладам и т.д.;

– "активный" индивид – это человек, который может вкладывать свои денежные средства в банки, ценные бумаги, недвижимость, организовывать бизнес и т.д.

Общая схема работ, предусмотренных в данном направлении, показана на рис. 1. В настоящее время расчеты выполнены только для первого и второго типов индивидов по этой классификации. В частности, нами выполнен корреляционный анализ макроэкономических показателей России за период с 1999 по 2005 гг., который показал, что большая часть таких показателей являются хорошо скоррелированными, т.е. допускают построение математических моделей.

В простейшем случае, т.е. для полностью пассивного индивида, проведено исследование задачи для известных периодов времени. Решение задачи о минимизации потерь осуществлено с помощью специально разработанной программы для различных способов сбережений, указанных в классификации.

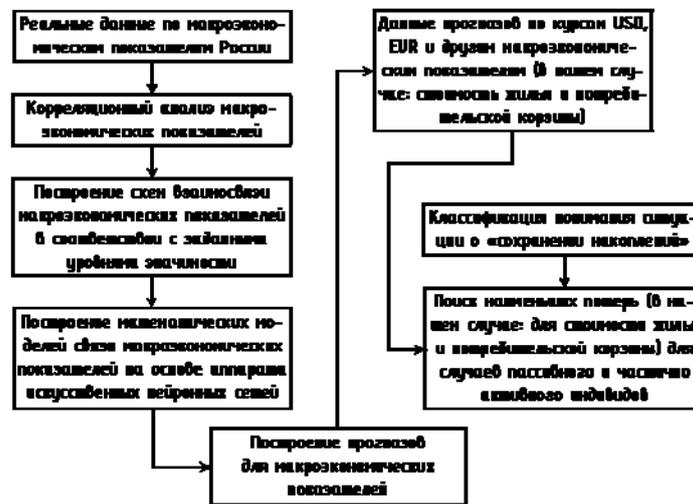


Рис. 1. Общая схема реализации работы

Данная программа позволяет оценить оптимальные решения для случаев "полностью пассивного" и "частично активного" индивидов за семилетний период, а совместно с разработанными математическими моделями, связывающими макроэкономические показатели, позволит решить аналогичные задачи для будущих периодов времени.

Осуществлена также попытка разработки математических моделей временных рядов, описывающих динамику некоторых макроэкономических показателей, таких как уровень реальной заработной платы, курсы валют и т.д., с помощью аппарата искусственных нейронных сетей.

Математические модели, разработанные на основе аппарата ИНС, показывают что корреляция между макроэкономическими показателями России настолько сильна, что при идентификации в течение пятилетнего периода такие модели позволяют делать прогнозы на двухлетний период со средней погрешностью, не превышающей 5,67 %. Такая высокая точность, в свою очередь, позволяет использовать данные математические модели для прогноза любого из макроэкономических показателей на годовой или полугодовой период.

Поскольку индивид может вкладывать свои деньги в начальный момент времени в три основные валюты: рубли, доллары и евро, то для того чтобы решать задачу о минимизации потерь мы должны принять некую универсальную "валюту", которая могла бы измерять соотношение указанных мировых валют. Считаем, что в качестве такой "валюты" могла бы выступать некоторая величина, которая характеризует реальные потребности человека. Например, стоимость потребительской корзины или стоимость одного метра жилья. Указанные данные можно найти как на сайте государственного комитета по статистике, так и в других источниках в Интернете. Таким образом, стоимость потребительской корзины и стоимость одного метра жилья брались нами в качестве универсальной единицы измерения соотношений трех валют.

Программа по минимизации потерь при накоплении вкладов реализована на языке программирования Delphi 7.0. С помощью данной программы рассчитаны остаточные стоимости на основе стоимости жилья в Москве и потребительской корзины в Тамбове за выбранный промежуток времени для случаев "пассивного" и "частично активного" индивида.

ЗАДАЧИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Д.Ю. Муромцев, О.А. Белоусов

Тамбовский государственный технический университет,
crems@crems.jesby.tstu.ru

При исследовании проблем устойчивого развития социально-экономических систем (СЭС) региона выделяют следующие комплексы задач: идентификация начальной ситуации; моделирование процессов; управление проектами; прогнозирование изменения выходных показателей; оценка рисков и затрат.

Задачи идентификации начальной ситуации предполагают: оценку значений фазовых координат $x(t)$, выходных переменных $y(t)$ и управлений $u(t)$ в текущий момент времени t , характеризующих оценку социально-экономической ситуации в регионе; сопоставление полученных значений x , y , u с ожидаемыми в соответствии с планом устойчивого развития региона показателями лидирующих в округе регионов и средними значениями по РФ; анализ результатов и принятие решений, вытекающих из текущей ситуации.

В качестве системы обобщенных показателей социально-экономической ситуации в регионе используется массив $M = \langle Y, K, L, I, J, C, D \rangle$, где Y – объем произведенной продукции в регионе; K – стоимость основных производственных фондов (производственного капитала); L – стоимость человеческого капитала; I – объем инвестиций в производственный капитал; J – объем инвестиций в человеческий капитал; C – объем потребления; D – доходы регионального бюджета.

В комплексе задач моделирования важнейшую роль играет концептуальная модель, позволяющая решать задачи управления устойчивым развитием региона. К концептуальной модели предъявляются следующие требования: схематично отражать взаимосвязи между компонентами массива M ; позволять лицу, принимающему решение (ЛПР), оценивать реальную ситуацию в регионе, формировать альтернативные варианты развития и выработать соответствующие решения (в данном случае под ЛПР понимается и коллективный орган); компоненты модели при необходимости должны детализироваться на составляющие, иметь количественную оценку; между компонентами должны иметься простейшие функциональные или графические связи, позволяющие оценивать влияние изменения управляющих воздействий на фазовые координаты и соответственно на выходные переменные.

Фрагмент концептуальной модели приведен на рис. 1.

Задачи управления устойчивым развитием региона рассматриваются как задачи управления проектами. При этом выделяют следующие задачи: управление отдельными региональными проектами; управление потоком региональных проектов;

управление отдельными проектами федерального уровня; управление потоком проектов федерального уровня; управление проектной средой.

Важнейшими компонентами, которые должны постоянно учитываться на всех этапах жизненного цикла (ЖЦ) проектов, являются риск и затраты. Риск зависит от большого числа факторов, обусловленных недостаточной информацией или случайной природой явлений, от которых зависит успех проекта. К этим факторам относятся нестабильность экономической политической ситуации, действия конкурентов,

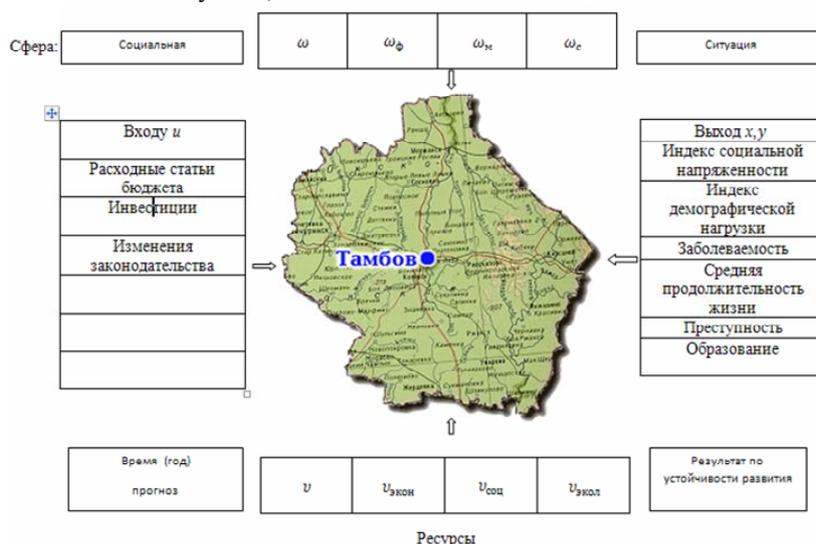


Рис. 1. Фрагмент концептуальной модели устойчивого развития региона

не абсолютная надежность производства, ошибки персонала, природные катаклизмы и т.д. Как риск проекта, так и затраты на проектирование зависят от числа рассматриваемых альтернативных вариантов на стадиях ЖЦ проекта. При этом основным способом снижения риска является увеличение числа вариантов, однако затраты в данном случае обычно возрастают. Поэтому для управления проектами в регионе необходимо использовать модели процессов проектирования, учитывающие число рассматриваемых вариантов на каждом этапе ЖЦ.

Полученные фрагменты концептуальной модели и постановки задач управления использованы при разработке единого информационного пространства информационной системы устойчивого развития региона.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 08-07-97505.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ В ПОСТИНДУСТРИАЛЬНОМ ОБЩЕСТВЕ

А.С. Степанова, Ю.Л. Муромцев

Тамбовский государственный технический университет

Главной тенденцией на рубеже XX – XXI вв. является постиндустриализация, переход от индустриального общества к постиндустриальному. Для данного общества характерно, что сектор услуг (компьютерные, информационные, деловые) занимает одно из ведущих положений в экономике.

Задачей нашего исследования является анализ структуры экономики стран мира и выяснения относительного значения трех ее основных секторов (сельского хозяйства, промышленности и услуг) по показателю их доли в общем объеме производства [1]. На основании полученных данных следует построить математическую модель постиндустриального общества стран и макроэкономическую модель России для оценки перспектив проектирования радиоэлектронных систем (РЭС).

Нами выявлено, что почти во всех растущих экономиках мира наблюдается одна и та же закономерность: с ростом уровня дохода на душу населения сельскохозяйственный сектор постепенно теряет свою ведущую роль в экономике страны, уступая ее сначала промышленности, а затем сектору услуг.

В данной работе получена математическая модель постиндустриального общества (рис. 1).

$$y = 8,3158x^2 - 2,5263x, \quad R^2 = 0,9852, \quad (1)$$

где y – процент уклада в валовом внутреннем продукте (ВВП); x – уклады стран постиндустриального общества; R – коэффициент корреляции.

В соответствии с данными [1] и рис. 1 получена макроэкономическая модель России (рис. 2):

$$y = 3,2x^2 + 10x, \quad R^2 = 0,9358, \quad (2)$$

где y – процент уклада России в валовом внутреннем продукте; x – фактические уклады России.



Рис. 1. Макроэкономическая модель постиндустриального общества

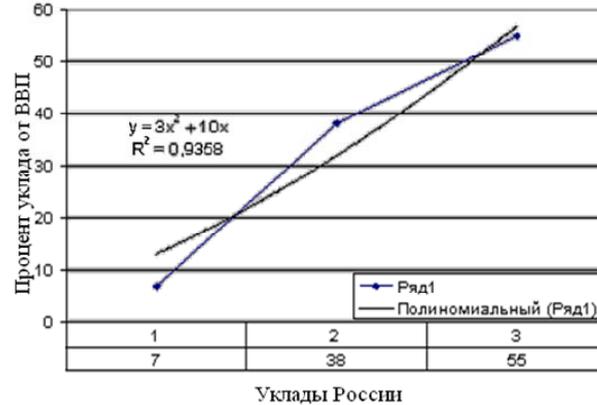


Рис. 2. Макроэкономическая модель России

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что средства, вкладываемые в разработку и управление проектированием РЭС в постиндустриальном обществе, должны быть разделены в соотношении 1 : 2, т.е. на проектирование необходимо тратить в два раза больше средств, чем на разработку технологии. Поэтому для опережающего развития в области разработки информационной технологии управления проектированием РЭС мы предлагаем изменить структуру затрат на проектирование.

1. Асмаков, С. Перспективные технологии: итоги и прогнозы / С. Асмаков // Компьютер-пресс. – 2008. – № 1.

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ЗАДАЧАХ СОЦИАЛЬНО-ГИГИЕНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Т.С. Гаврилова

Владимирский государственный университет, tany_gavrilova@mail.ru

Сейчас большое количество информации имеет графическую составляющую. Данные социально-гигиенического мониторинга населения не являются исключением. Важным обстоятельством, влияющим на выбор информационных технологий, соответствующих целям и задачам социально-гигиенического мониторинга, является исключительная значимость пространственно-временной характеристики для анализа здоровья населения. Данные социально-гигиенического мониторинга должны сопоставляться с разнообразными знаниями и данными о местности, состоянии окружающей среды и здоровье населения. Для этой цели могут с успехом применяться геоинформационные системы (ГИС).

Задачами социально-гигиенического мониторинга являются: сбор данных, их хранение и обработка, представление результатов наблюдений.

Сбор данных осуществляется в каждом регионе РФ ежегодно, данные оформляются в таблицы формата Excel. Поскольку формат этих таблиц постоянно изменяется, данные необходимо приводить к единому формату. Все собираемые данные формируются в базу данных социально-гигиенического мониторинга. Все данные имеют географическую привязку по районам, областям. Таким образом, именно этот атрибут – район и будет связующим звеном между атрибутивными данными и пространственными данными, т.е. картой. Для работы с накопленными данными можно использовать любую современную СУБД, это позволит получить преимущества конкретной СУБД, выбранной в качестве решения.

Для обработки данных социально-гигиенического мониторинга используются стандартные модули ГИС и, помимо этого, создаются приложения при помощи стандартных сред разработки. Далее требуется лишь стыковка разработанных программных модулей, предназначенных для решения поставленных задач, с ГИС. Вследствие этого для хранения, обработки и анализа данных, применительно к этому кругу задач, необходима разработка информационно-аналитической системы (ИАС), созданной на основе ГИС-технологий и включающей в себя совокупность специальных алгоритмов обработки и анализа данных [1]. В качестве примера будем рассматривать ИАС на основе ГИС MapInfo и среды разработки Delphi.

Для создания приложения с интегрированной картой необходимо написать программу, в которой должна присутствовать инструкция, запускающая ГИС в фоновом режиме. И далее эта программа будет осуществлять управление ГИС MapInfo, конструируя строки, представляющие операторы языка MapBasic (язык, используемый в ГИС MapInfo), которые затем будут передаваться в MapInfo посредством механизма управления объектами OLE или динамического обмена данными.

Существуют специальные компоненты, предназначенные для встраивания возможностей ГИС в приложения, они позволяют разработчикам использовать в своих программах средства анализа и управления пространственными данными, такие как: создание тематических карт, визуальный выбор, управление слоями, стандартный язык запросов SQL. Одним из таких компонентов является MapX – это картографический ActiveX компонент, который можно использовать в языках программирования Visual Basic, Delphi, Visual C++ и др. Для использования возможностей ГИС MapInfo в приложении необходимо импортировать установленный ActiveX компонент в пакет Delphi (Component → Import ActiveX Control) и перекомпилировать пакет программ.

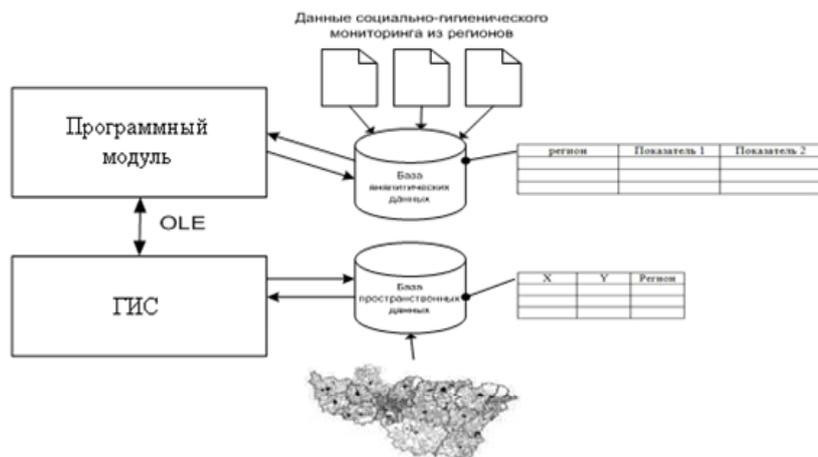


Рис. 1. Структура информационно-аналитической системы социально-гигиенического мониторинга

Для использования стандартных инструментов ГИС в приложении формируются специальные команды MapInfo. В ГИС имеет значение местоположение на карте, каждая точка имеет координатную привязку. Эти координаты также можно использовать в приложении, например пользователь выбирает на карте область и ему выводится информация о заболеваемости и состоянии окружающей среды в этом районе.

Так же карта необходима для наглядности представления результатов обработки и анализа. Анализирует приложение данные, хранящиеся в базе данных, результаты же представляются на карте и имеют географическую привязку к району. Одной из задач социально-гигиенического мониторинга является, например, ранжирование территорий по степени риска заболеваемости тем или иным заболеванием. Средства ГИС позволяют вывести эту информацию в виде карты с территориями, закрашенными определенным цветом с разной интенсивностью, характеризующей риск заболеваемости.

Геоинформационные системы дают новые возможности разработчикам не только по представлению данных, но и по их анализу и обработке. После того как выполнена интеграция ГИС и программных модулей в стандартных средах разработки, следует изучить возможности и преимущества их совместного использования.

1. Андрианов, Д.Е. Геоинформационные системы: исследование, анализ и разработка / Д.Е. Андрианов. – М. : Государственный научный центр РФ – ВНИИгеосистем, 2004.

МНОГОАГЕНТНАЯ СИСТЕМА ВНЕУЧЕБНОЙ РАБОТЫ ВУЗА

Е.В. Иванова

Березниковский филиал ПермГТУ, zxenon@narod.ru

Многоагентные системы (МАС) состоят из следующих основных компонентов: множества организационных единиц, в котором выделяется подмножество агентов, манипулирующих подмножеством объектов; множества задач; среды, т.е. некоторого пространства, в котором существуют агенты и объекты; множества отношений между агентами; множества действий агентов (например, операций над объектами).

Иначе говоря, $MAS \stackrel{def}{=} \langle \{A\}, \{AST\}, \varphi, \{L\} \rangle$, где $\{A\} = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ – множество агентов; $\{AST\} = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ – множество действий агентов в МАС; $\varphi: \{A\} \rightarrow \{AST\}$; $\{L\}$ – подмножество $\{AST\}$, которое описывает действие всей МАС. Здесь агент – это программно или аппаратно реализованная система, обладающая следующими свойствами [1]: автономность – способность функционировать без прямого вмешательства людей или компьютерных средств и при этом осуществлять самоконтроль над своими действиями и внутренними состояниями; ответственное поведение, т.е. способность взаимодействовать с другими агентами (а возможно, людьми), обмениваясь сообщениями с помощью языков коммуникации; реактивность – способность воспринимать состояние среды (физического мира, пользователя – через пользовательский интерфейс, совокупности других агентов, сети Internet, или сразу всех этих компонентов внешней среды); целенаправленная активность – способность агентов не просто реагировать на стимулы, поступающие из среды, но и осуществлять целенаправленное поведение, проявляя инициативу.

Предлагается использовать положения теории МАС для моделирования коллективной самооценки, в частности оценки уровня развития внеучебной работы вуза. Результаты самооценки являются, с одной стороны, механизмом постоянного внутреннего улучшения системы качества образования, а с другой – могут предоставляться внешним проверяющим для их выборочной проверки при аккредитации вуза. Управление развитием внеучебной работы вуза необходимо для улучшения качества образования и аккредитационных показателей.

Под самооценкой понимается всестороннее обследование объекта управления, итогом которого является суждение о результативности и эффективности организации и уровне развития, организованности, упорядоченности процессов в объекте [2]. Самооценка обычно проводится при непосредственном участии руководства учебного заведения. Основные преимущества использования МАС по сравнению с другими методами изучения социальных процессов применительно к данной предметной области таковы: МАС позволяют эффективно исследовать процессы самоорганизации, дают возможность естественного описания сложных систем и обладают высокой гибкостью.

В МАС внеучебной работы вуза выделим следующих агентов. На верхнем уровне иерархии находится стратегический агент, который определяет направление развития внеучебной работы вуза в целом и кафедр в отдельности. Решающие центральные агенты управляют исполнением задач, делегированных стратегическим агентом. На нижнем уровне находятся агенты-специалисты, которые непосредственно принимают участие в исполнении. Информационное обеспечение осуществляет софтверный агент информационно-управляющей системы, которому делегируется ряд полномочий от натуральных агентов. В отличие от натуральных агентов, софтверный агент не обладает целенаправленной активностью, что облегчает его моделирование.

Между агентами системы осуществляется прямая связь через обмен сообщениями и косвенная через области разделяемой памяти.

Цикл работы начинается с диалога со стратегическим агентом, который на основании глобальной цели генерирует список задач из набора базовых сценариев. Далее этот список направляется центральному решающему агенту, которые генерируют предложения для решения поставленных задач для исполнения агентам-специалистам. После активизации агентов-специалистов в порядке самооценки проверяется совместимость принятых решений. Если действия агентов являются несовместимыми, то управление вновь делегируется стратегическому агенту, который пытается выбрать другой базовый сценарий из набора.

Архитектура МАС внеучебной работы вуза представлена на рис. 1.

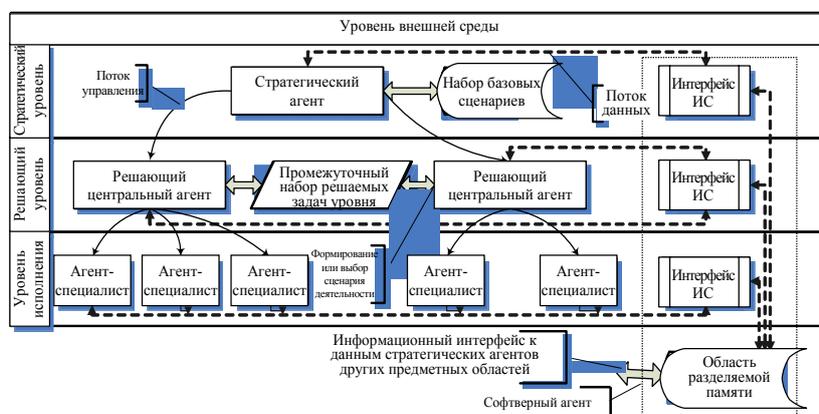


Рис. 1. Архитектура многоагентной системы

Данное направление работы актуально, так как на сегодняшний день еще не предложено решений в области моделирования внеучебной деятельности вуза, основанных на МАС. Это подтверждает необходимость приложения теории к реальным задачам, в частности задаче поддержки информационной обеспеченности агентов внеучебной деятельности вуза.

1. Тарасов, В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика / В.Б. Тарасов. – М. : УРСС, 2002.
2. Новицкий, А.Л. Внутренние аудиты. Что дает форма отчета? / А.Л. Новицкий, Т.Э. Болотина // Методы менеджмента качества. – 2005. – № 1.

АГЕНТНО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ

Е.А. Назойкин

Московский государственный университет прикладной биотехнологии,
mirovind@mail.ru

Рассматриваемая в данной работе агентно-ориентированная имитационная модель студентов является одним из средств анализа и управления образовательным процессом, дающим более глубокое понимание динамики образования и направленным на улучшение качества образования в целом.

При разработке модели использовалась концепция P, E, C, S , согласно которой переходы состояний могут осуществляться как самостоятельно, так и под воздействием окружающей среды, таким образом внутреннее состояние $F(t)$ агента можно считать множеством отдельных состояний: $F(t): P(t) \vee E(t) \vee C(t) \vee S(t)$, где $P(t)$ – физическое состояние; $E(t)$ – эмоциональное состояние; $C(t)$ – когнитивное состояние; $S(t)$ – переменные состояния, относящиеся к социальному окружению агентов; \vee – дизъюнкция.

Под состоянием будем понимать множество стабильных значений переменных параметров объекта (т.е. набор атрибутов, определяющих поведение агента) в момент времени t .

В нашей модели каждому агенту, как виртуальному отражению студента, дается элементарная личность, т.е. набор начальных характеристик, которые оказывают влияние на его поведение. Существуют следующие свойства личности: интеллектуальный уровень (Intelligenz) – указывает на быстроту усвоения знаний в рамках учебной фазы, варьируется от 80 до 120 пунктов IQ; социальная активность (SocOrganization) – влияет на способность завязывать контакты, находить друзей, чувст-

воват радость от общения и т.д., варьируется от 80 до 100 SQ. *Intelligenz* и *SocOrganization* делим на 100, тем самым приводя их к нормализованному виду.

Таким образом, комбинируя эти способности, мы получаем четыре принципиально разных типов личности.

У эмоционально-мотивированного агента [1] существуют также свои потребности в знаниях (*KnowAct*) и удовольствии от социального взаимодействия (*SocAct*), изменяющиеся в зависимости от того, учится ли агент в одиночку или в группе.

В процессе обучения уровень знаний растет. Этот рост уровня знаний обозначим *KnowAct'*, и опишем функцией, которая имеет следующий вид:

$$\text{KnowAct}' = a \cdot \text{KnowKap} \cdot \text{KnowNormal} \cdot \text{Intelligenz} / 100 \cdot \text{KnowAct}; \quad (1)$$

$$\text{KnowKap} = (\text{KnowActMax} - \text{KnowAct}) / \text{KnowActMax}, \quad (2)$$

где *KnowKap* – влияние ограничения полученных знаний; *KnowActMax* – знания, которые максимально могут быть усвоены в активной фазе обучения; *KnowNormal* – параметры для нормального прироста знаний; *a* – константа, характеризующая целеустремленность студента.

Скорость, с которой снижается уровень *SocAct*, обозначим *SocAct'*:

$$\text{SocAct}' = -b \cdot \text{SocKap} \cdot \text{SocNormal} \cdot \text{SocOrganization} / 100 \cdot \text{SocAct}; \quad (3)$$

$$\text{SocKap} = (\text{SocActMax} - \text{SocAct}) / \text{SocActMax},$$

где *SocKap* – влияние ограничения радости от социального взаимодействия; *SocActMax* – максимальный уровень радости от социального взаимодействия, который может быть достигнут; *SocNormal* – параметр нормального развития радости от социального взаимодействия; *b* – константа, используемая для выражения большей направленности агента к общению, чем к обучению.

С *SocAct* связана так называемая социальная потребность. В той же степени, в которой снижается *SocAct* индивидуума, растет потребность в социальном контакте и обществе:

$$\text{SocNeed} = \text{SocActMax} - \text{SocAct}.$$

Обучение в группе характеризуется величиной *QualityG* (качество группы):

$$\text{QualityG} = g \cdot (g1 \cdot \text{RelKnowG} + g2 \cdot \text{RelSocG} + g3 \cdot \text{QualSizeG}) + d,$$

где *RelKnowG* равно среднему значению "знания" всех членов группы; *RelSocG* обозначает среднюю "социальную компетенцию" всех членов группы; *QualSizeG* учитывает, как зависит общее качество внутри группы от количества членов группы. С помощью параметров *g1*, *g2*, *g3* можно установить вариации доминирующей потребности группы, *d* – базисное качество каждой группы, *d* = 1.

Таким образом, уравнения (1) и (3) принимают следующий вид:

$$\text{KnowAct}' =$$

$$= a \cdot \text{SocKap} \cdot \text{KnowNormal} \cdot \text{Intelligenz} / 100 \cdot \text{KnowAct} \cdot \text{QualityG};$$

$$\text{SocAct}' =$$

$$= b \cdot \text{SocKap} \cdot \text{SocNormal} \cdot \text{SocOrganization} / 100 \cdot \text{SocAct} \cdot \text{QualityG}.$$

Представленная модель реализована в универсальной имитационной системе *Simplex3* [2]. На рис. 1 видно, как агент 2, имея начальное преимущество в уровне интеллекта, к середине времени моделирования уступает агенту 1, что является следствием более выраженной социальной потребности. Очевидно, что агент 1 имеет более выраженную потребность в знаниях.

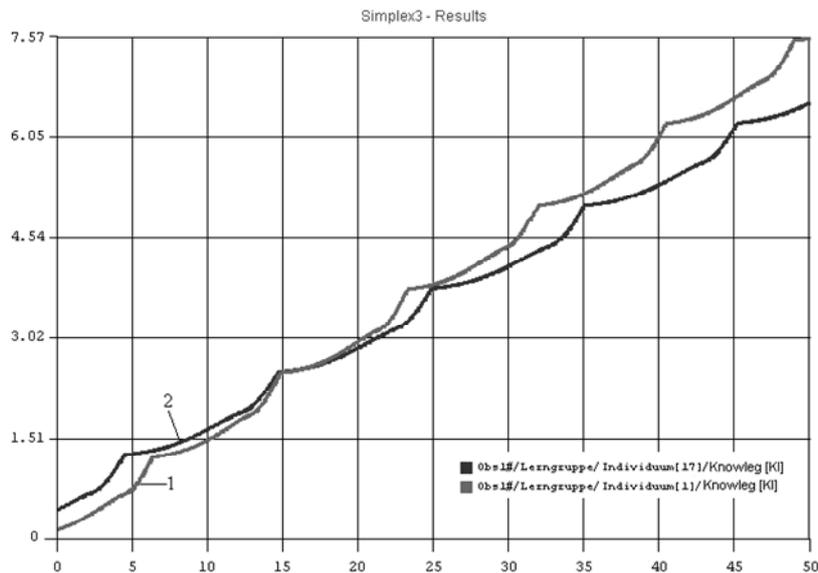


Рис. 1. Увеличение уровня знаний агента

С помощью данной модели можно выявить факторы, оказывающие влияние на подготовку студента, установить их значимость и ввести корректировку. Дальнейшее развитие модели направлено на более детальное изучение социальных процессов в высших учебных заведениях.

1. Ивашкин, Ю.А. Агентные технологии имитационного моделирования эмоционально-мотивированных агентов в активных системах / Ю.А. Ивашкин // Вестник Международной академии системных исследований. – 2007. – Т. 10. – Ч. 2. – С. 3 – 12.
2. Schmidt, B. The Art of Modeling and Simulation / B. Schmidt. – SCS-Europe BVBA, Chent, Belgium, 2001. – 480 p.

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ В УНИВЕРСИТЕТЕ

Е.А. Белякова

Владимирский государственный университет, belka-lenka@rambler.ru

Оценка качества образования необходима как для принятия управленческих решений, направленных на обеспечение функционирования образовательных учреждений, так и для осмысления и формулирования целей развития конкретного вуза. Ценна сама система отслеживания, постоянного измерения качества (мониторинг качества), позволяющая определить положение вуза по сравнению с другими, выстроить перспективы его развития.

Качество образования – понятие многомерное и многоаспектное. Можно выделить целый ряд характеризующих его показателей:

- 1) качественный состав преподавателей ($Q_{\text{кадр}}$);
- 2) показатели материально-технической базы образования ($Q_{\text{мат}}$);
- 3) методическое обеспечение ($Q_{\text{метод}}$);
- 4) уровень учебной и научной работы ($Q_{\text{науч}}$);
- 5) учебно-воспитательный процесс ($Q_{\text{учеб}}$);
- 6) уровень востребованности выпускников на рынке труда ($Q_{\text{выпуск}}$);
- 7) результат учебного процесса ($Q_{\text{рез}}$).

Таким образом, его можно измерить, воспользовавшись формулой

$$Q_{\text{вуз}} = V_1 Q_{\text{кадр}} + V_2 Q_{\text{мат}} + V_3 Q_{\text{метод}} + V_4 Q_{\text{науч}} + V_5 Q_{\text{учеб}} + V_6 Q_{\text{выпуск}} + V_7 Q_{\text{рез}}$$

где $V_1 - V_7$ – вектор весов составляющих качества образования

Наибольший интерес представляет результат учебного процесса. Если рассматривать учебный процесс как частный случай технологического процесса, то ему свойственны такие же методы анализа, какие приняты для производственных процессов. Поэтому составляющие учебного процесса можно рассматривать как элементы процесса или функции. Объектом учебного процесса можно считать или отдельного студента или группу студентов. В ходе обучения студенты взаимодействуют с элементами процесса, т.е. слушают лекции, выполняют практические задания, курсовые проекты и т.д. Результатом взаимодействия студентов с элементами процесса является повышение уровня знаний.

Следовательно, для оценки качества результатов учебного процесса возможно применение статистических методов, один из которых заключается в построении и анализе контрольных карт Шухарта.

Контрольная карта – графическое изображение мониторинга процесса. По горизонтальной оси откладываются моменты времени или номер измерения, по вертикальной – значения показателя качества. Проводятся верхняя и нижняя контрольные границы (границы регулирования) и средняя линия. Если значение показателя оказалось на одной из контрольных границ или за ее пределами, то нулевая гипотеза о статической управляемости процесса отбрасывается и процесс требует вмешательства (регулировки).

Обычно контролируется изменение как среднего значения показателя качества, характеризующего уровень настройки процесса, так и технологического рассеивания: строятся двойные карты Шухарта. При этом уровень настройки процесса может оцениваться по средним значениям или медианам, а рассеивание – по стандартным отклонениям или размахам. В соответствии с этим чаще всего используются двойные карты: средних значений и размахов ($\bar{X} - R$ -карты), средних значений и стандартных отклонений ($\bar{X} - S$ -карты), медиан и размахов ($Me - R$ -карты).

Процесс считается стабильным, или статистически управляемым, если об этом свидетельствуют обе карты – и для среднего уровня и для рассеивания.

Для построения контрольных карт, характеризующих учебный процесс, результаты сдачи студентами экзамена по одному предмету можно считать выборкой. Поскольку разные экзамены сдаются одной группой, объем выборки будет постоянным.

В рамках существующей в нашем университете информационной системы "Электронный деканат", исходя из миссии вуза и стратегических целей его развития, возможно выделить следующие направления анализа: контроль успеваемости конкретной группы в выбранный семестр, оценка результатов работы конкретного преподавателя, контроль результатов сдачи экзаменов по выбранной дисциплине.

Реализация данных функций позволяет своевременно, в реальном режиме времени, получать информацию, характеризующую качество учебного процесса, которая, в свою очередь, необходима для обеспечения обратной связи, позволяющей обнаружить погрешности в ходе учебного процесса и сформировать пути их устранения.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОСТИ ВЫСШЕГО УЧЕБНОГО ЗАВЕДЕНИЯ В ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВАХ ОБУЧЕНИЯ

О.В. Полунина

Владимирский государственный университет, OlenkaN1@yandex.ru

Современный этап развития общества характеризуется переходом к инновационной модели развития науки, техники, технологий. В этих условиях решающее значение приобретает проблема информатизации образования, к перспективным направлениям которой относятся разработка и массовое использование средств информационных и коммуникационных технологий в учебном процессе.

Поэтому особенно важно определять необходимое количество технических средств обучения для вуза на основе учебной нагрузки. Особый интерес представляет вероятностный метод [1] расчета потребности в переносных средствах (проекторах).

В этом методе используются шесть массивов исходных данных: $\mu_1 = 1$ – осенний семестр, первая смена занятий; $\mu_2 = 2$ – то же, вторая смена; $\mu_3 = 3$ – то же, третья смена; $\mu_4 = 4$ – весенний семестр, первая смена занятий; $\mu_5 = 5$ – то же, вторая смена; $\mu_6 = 6$ – то же, третья смена. Если занятия проводятся в одну или две смены, число массивов исходных данных уменьшается.

Каждый массив имеет следующие исходные данные: $n_{j\mu}$ – число заявок на технические средства данного наименования по каждому виду занятий в данную смену; $n_{j\mu}$ определяется либо по технологическим картам занятий, либо по заявкам преподавателей, либо по методу экспертных оценок; $j = 1, 2, 3, \dots$; m_j – порядковые номера видов занятий; m_μ – общее число видов занятий, проводимых в данную смену в течение данного семестра; k_{kj} – коэффициент кратности каждого вида занятий, учитывающий повторяемость занятий; n_{nj} – число учебных недель в семестре, отведенных для каждого вида занятий; n_d – число рабочих дней в неделю; $n_{\text{ч}}$ – число академических часов в смену.

Задается также вероятность безотказной работы системы обеспечения ТС, равная 0,95.

Рассчитывают каждый вид ТСО в следующей последовательности.

Определяют интенсивность потока заявок Λ_μ по формуле:

$$\Lambda_\mu = \sum_{j=1}^{m_\mu} (k_{kj} n_{m_\mu}) / n_{nj} / n_d n_{\text{ч}}, \quad \mu = 1, 2, 3, \dots, 6. \quad (1)$$

Выбирают расчетную интенсивность потока заявок согласно условию: $\Lambda_p = \max \Lambda_\mu, \mu = 1, 2, 3, \dots, 6$. Определяют вероятность отсутствия в течение двух академических часов потребности в ТСО: $P_0 = e^{-2\Lambda_p}$.

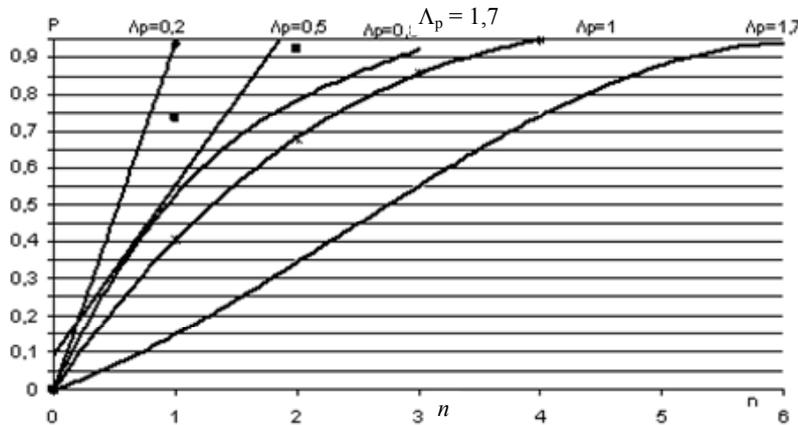


Рис. 1. Зависимость одновременной потребности единиц ТСО от числа однотипных технических средств при разных значениях интенсивности заявок Λ_p

Вычисляют вероятность P_k одновременного использования точно k однотипных ТСО: $P_k = 2\Lambda_p P_{k-1} / k, k = 1, 2, 3, \dots$. Вычисляют вероятность одновременного использования не более k однотипных ТСО: $P = P_0 + P_1 + \dots + P_k$. Число однотипных технических средств обучения, достаточное для полного обеспечения учебного процесса с заданной вероятностью $P_3 = 0,95$, находят из условия: $n = k$ при $P = P_n \geq P_3$.

На основе приведенной выше методики определим необходимое число проекторов для ряда значений Λ_p при $P = 0,95$.

Для достижения $P \approx 0,95$ при $\Lambda_p = 0,2$ необходимо иметь 1 проектор, при $\Lambda_p = 0,5$ – 2 проектора, а при $\Lambda_p = 1,7$ – уже 6 проекторов. На рис. 1 показаны зависимости одновременной потребности единиц ТСО P от числа однотипных ТС n при разных значениях интенсивности заявок Λ_p . По мере увеличения Λ_p и числа проекторов падает коэффициент их использования по времени работы, так, при $\Lambda_p = 0,2, k = 2 \cdot 0,2 / 1 = 0,4$, при $\Lambda_p = 0,8, k = 2 \cdot 0,8 / 3 = 0,53$, а при $\Lambda_p = 1,7, k = 2 \cdot 1,7 / 6 = 0,57$.

Из анализа рис. 1 следует вывод, что по возможности необходимо сосредоточивать проекторы в таких аудиториях, для которых $\Lambda_p = 0,8$.

МЕТОДИКА ВЫБОРА УРОВНЯ ЗРЕЛОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ

Е.А. Панкова

Владимирский государственный университет, laionova21@mail.ru

Выбор метода оценки эффективности инвестиций осуществляется через уровень зрелости организации, но определение самого уровня становится достаточно затруднительным, так как общей методологии его оценки пока не существует, и каждый менеджер определяет уровень зрелости для предприятия со своей точки зрения.

Разработаем критерии, по которым будет возможно определить уровень зрелости организации. Оценим эти критерии, используя балльную шкалу оценки от 0 до 1. Если ставится 0 – значит, этот показатель совсем отсутствует в организации, далее, в зависимости от полноты присутствия показателя, ставятся десятые доли, если же показатель в полной мере присутствует в организации, то выставляется единица. Отсюда следует, что оценка будет лежать в диапазоне [0; 1], т.е. и сам показатель стадии зрелости организации должен лежать в каком-либо диапазоне. Определим эти диапазоны для каждой стадии.

Следует также определить, как рассчитывать оценку с десятыми долями. Пусть если критерий оценен до 0,5, он не будет учитываться при расчете оценки самой стадии зрелости организации, а от 0,5 – будет. Производить оценку в десятых долях стоит только потому, чтобы менеджер службы ИТ видел как развит тот или иной показатель в организации, чтобы его в дальнейшем можно было доработать.

Сгруппируем показатели в три группы и оценим каждую стадию зрелости предприятия. Стадия зрелости будет определяться вектором с тремя координатами по каждой группе. Группы расположены по приоритету: первая – самая важная, вторая – менее и третья – не так значима по сравнению с двумя предыдущими. В каждой группе имеются свои критерии. Определим для каждого критерия значимость α_i , где $\sum \alpha_i = 1$ для $\alpha_i > 0$. По каждой группе должно получиться только одно значение, поэтому воспользуемся формулой сведения многокритериальной задачи к однокритериальной. Для каждой группы показатель $P_{гр}$ будет рассчитываться так:

$$P_{гр} = \sum_{i=1}^p \alpha_i q_i / s_i, \quad (1)$$

где s_i – коэффициент, обеспечивающий безразмерность критериального значения; q_i – значение i -го критерия; α – вес i -го критерия, отражающий относительный вклад частных критериев в суперкритерий [1].

Определимся со значением $s_i = q_i / q^{**}$, где s_i – нормализованное значение i -го критерия; q_i – значение i -го критерия; q^{**} – максимальное значение критерия. В нашем случае максимальное значение любого критерия во всех группах равно 1.

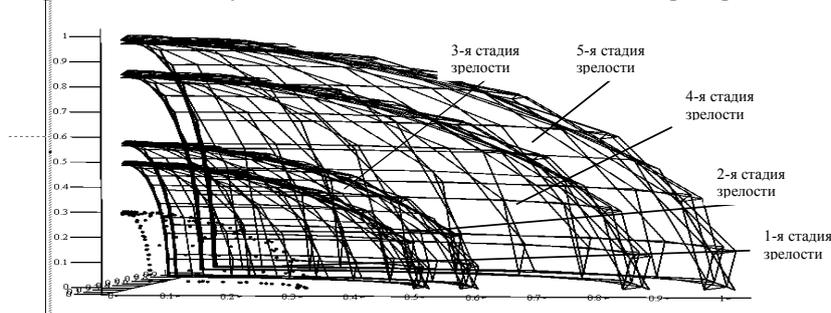


Рис. 1. Сектор сферы определения уровня зрелости организации

Группа 1. Показатели по контролю: контроль целей – сам критерий может лежать в диапазоне [0; 1], вес $\alpha_1 = 0,3$; контроль прогнозов – [0; 1], вес $\alpha_2 = 0,2$; контроль ограничений – [0; 1], $\alpha_3 = 0,1$; контроль планов – [0; 1], $\alpha_4 = 0,2$; бюджетный контроль – [0; 1], $\alpha_5 = 0,1$; контроль всех процессов производства предприятия – [0; 1], $\alpha_6 = 0,1$.

Группа 2. Показатели по бизнес-процессам предприятия: повторяемость основных бизнес-процессов – [0; 1], $\alpha_1 = 0,2$; управление основными бизнес-процессами – [0; 1], $\alpha_2 = 0,3$; стандарты на бизнес-процессы и их формализованное описание – [0; 1], $\alpha_3 = 0,3$; работоспособность бизнес-процессов – [0; 1], $\alpha_4 = 0,2$.

Группа 3. Взаимосвязь сотрудников и руководства: передача информации между сотрудниками и руководством – [0; 1], $\alpha_1 = 0,45$; наличие постоянных клиентов – [0; 1], $\alpha_2 = 0,55$.

Оценив критерии в каждой группе, рассчитаем координаты для каждой стадии: $C_{з1} = (0; 0,1; 0,225)$; $C_{з2} = (0; 0,35; 0,225)$; $C_{з3} = (0,2; 0,5; 0,225)$; $C_{з4} = (0,29; 0,6; 0,545)$; $C_{з5} = (0,6; 0,64; 0,645)$.

Необходимо также указать область определения для каждой стадии зрелости. В нашем случае областью определения для каждой стадии будет сфера, лежащая в трехмерном пространстве. Радиус сферы в трехмерном пространстве равен: $\chi^2 + \gamma^2 + z^2 = r^2$.

Стадия зрелости определяется по следующим показателям: диапазон (0; 0,3] соответствует первой стадии зрелости, 0,3; 0,5] – 2-я стадия зрелости, (0,5; 0,58] – 3-я стадия зрелости, (0,58; 0,86] – 4-я стадия зрелости, (0,86; 1] – 5-я стадия зрелости.

Проиллюстрируем полученные результаты (рис. 1).

ОЦЕНКА ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА СТЕКОЛЬНОГО ЗАВОДА

О.А. Слюнкова, Е.Р. Хорошева

Владимирский государственный университет, olya_slyunkova@mail.ru

Одной из важнейших характеристик системы менеджмента (СМ) является ее структура. Построение наглядной формальной модели структуры СМ является одной из главных задач структурного анализа. Для оценки организационной структуры (оргструктуры), имеющей топологию пирамидальной конфигурации, могут быть использованы следующие показатели: глубина организационного управления, сложность связей, сложность структуры [1].

Показатель сложности структуры является обобщающим и часто используются в качестве критерия оценки структуры, для которого два других показателя являются частными.

Оценка проводится путем сравнения результатов вычисления фактических значений показателей с их рациональными значениями, которые рассчитываются для каждой конкретной оргструктуры СМ.

Показатель глубины организационного управления рассчитывается как соотношение ширины структуры к ее высоте. Ширина структур d , построенных по форме пирамиды, может быть принята равной числу элементов (подразделений или подчиненных) на нижнем уровне иерархии. Высота организационных структур любой формы h может быть принята равной числу уровней иерархии. Тогда показатель глубины организационного управления примет вид [1]: $H = d/h$.

В оргструктуру системы экологического менеджмента (СЭМ) входят 14 подразделений оргструктуры стекольного завода, располагающиеся на 4-х уровнях пирамидальной иерархии: на 1-м уровне располагается один структурный элемент, на 2-м уровне – два, на 3-м – четыре и на 4-м – семь структурных элементов.

На основе приведенных данных показатель глубины организационного управления СЭМ равен $H = 7/4 = 1,75$.

Рациональное значение данного показателя вычисляется по формуле: $H_r = m_{nr}/n_r$, где m_{nr} – рациональное число элементов на n -м уровне организационной структуры; n_r – рациональное число уровней организационной структуры.

Для нахождения значения m_{nr} используется показатель сложности связей K_S , для определения значения n_r – зависимость между необходимым количеством уровней управления и информационными параметрами оргструктуры.

Показатель сложности связей K_S можно представить как функцию числа связей в зависимости от числа подчиненных, что записывается в следующем виде [1]:

$$K_S = m[2^m/2 + (m-1)], \quad (1)$$

где m – общее число элементов (подразделений или подчиненных) в иерархической структуре управления. Показатель сложности связей СЭМ: $K_S = 114\,870$.

Для элементов n -го уровня формула (1) примет вид:

$$K_{S_n} \approx m_n[2^{m_n}/2 + (m_n - 1)].$$

Для каждого уровня иерархии СЭМ: $K_{S_1} = 1$, $K_{S_2} = 6$, $K_{S_3} = 44$, $K_{S_4} = 490$.

Зависимости $K_S = f(m)$ и $K_{S_n} = f(m_n)$ имеют форму экспоненты, следовательно, можно отыскать некоторые значения m_r и m_{nr} , при которых показатели сложности K_{S_r} и $K_{S_{nr}}$ можно считать рациональными. Для данной СЭМ рационально значение $m_{nr} = 5$, а значение $m_r = 15$ (так как $K_{S_r} = 245\,970$).

Оценка оргструктуры по показателю K_S проводится на соответствие условию: $K_S \leq K_{S_r}$, согласно которому можно сделать вывод, что данный показатель соответствует рациональному значению.

Величина n_r рассчитывается по формуле [1]:

$$n_r = \log(V/V_m)/\log k_{сж},$$

где V – объем первичной информации объекта управления; V_m – объем первичной информации, приходящейся на m -е подразделение одного работающего объекта управления; $k_{сж}$ – коэффициент сжатия информации, приходящейся на одно подразделение. Для СЭМ стекольного завода: $n_r \approx 7$, $H_r = 5/7 = 0,7$.

Оценка оргструктуры по показателю H проводится на соответствие условию $H < H_r$, согласно которому можно сделать вывод, что данный показатель не соответствует своему рациональному значению.

Расчет показателей H и K_S позволяет оценить статику организационной структуры. Показатель сложности структуры K_c позволяет учитывать ее динамику [1]:

$$K_c = (1 + n_r) \log \sum_{i=1}^{m_n/H} m_i \sum_{j=1}^{m_j} k_{ij} \sum_{q=1}^{m_i} \omega_{ijq},$$

где m_i – число элементов на i -м уровне иерархии; k_{ij} – весовой коэффициент связей элементов i -го и j -го уровней; ω_{ijq} – частота появления связей между q -м элементом i -го уровня и элементами j -го уровня.

В соответствии с условием $K_S \leq K_{S_r}$ рациональное значение показателя K_c имеет вид:

$$K_{c_r} = (1 + n_r) \log \sum_{i=1}^{m_{nr}/H_r} m_i \sum_{j=1}^{m_j} k_{ij} \sum_{q=1}^{m_i} \omega_{ijq}.$$

Для СЭМ стекольного завода: $K_c \approx 15,6$, $K_{c_r} \approx 20,9$.

Оценка оргструктуры по показателю глубины организационного управления проводится на соответствие условию $K_c \leq K_{c_r}$, согласно которому можно сделать вывод, что данный показатель соответствует своему рациональному значению.

На основе полученных показателей можно сделать вывод, что в целом оргструктура СЭМ стекольного завода соответствует рациональным показателям. Но стоит обратить внимание на глубину организационного управления (H), улучшение значения которого позволит более эффективно решать задачи СЭМ как подсистемы интегрированной системы управления стекольного завода.

1. Никифоров, А.Д. Управление качеством / А.Д. Никифоров. – М. : ДРОФА, 2004. – 720 с.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ДЕЙСТВИЙ В БИЗНЕС-ПРОЦЕССЕ

Н.Р. Ляпин

Тамбовский государственный технический университет, LyapinNR@rambler.ru

Большие объемы информации, хранимой в базах данных, приводят к развитию методов интеллектуального анализа данных – дисциплины, изучающей процесс нахождения новых, действительных и потенциально полезных знаний в базах данных. Интеллектуальный анализ (ИА) лежит на пересечении нескольких наук, главные из которых – это системы баз данных, статистика и искусственный интеллект.

Примером задачи интеллектуального анализа данных может служить задача прогнозирования выполнения экземпляра бизнес-процесса (бизнес-процесс, инициированный в информационной системе и имеющий свой уникальный номер) в системе электронного документооборота [1]. Под бизнес-процессом понимается совокупность последовательных действий для решения какой-либо предпринимательской задачи. В системе электронного документооборота история выполнения различных экземпляров протоколируется, при этом формируется журнал выполнения [2], который хранится в системах электронного документооборота в едином формате и содержит в себе факт выполнения действия из бизнес-процесса и время его выполнения.

Под задачей прогнозирования выполнения экземпляра бизнес-процесса понимается задача вычисления вероятности выполнения последующих действий при известном наборе уже выполненных операций в рамках бизнес-процесса. При решении этой задачи имеется текущее состояние экземпляра бизнес-процесса, модель бизнес-процесса и журнал выполнения бизнес-процесса. Таким образом, для вычисления вероятности необходимо знать частоту выполнения тех или иных групп действий в прошлом.

При большом объеме журнала выполнения частота выполнения определяется алгоритмом интеллектуального анализа данных "Argiogi" [3]. Однако, имея в наличии модель бизнес-процесса, можно значительно увеличить скорость выполнения поиска экземпляра бизнес-процесса. Общая идея предлагаемого алгоритма "f-поиск" заключается в использовании, помимо свойства антимонотонности [3], ограничений, явно зафиксированных в графе модели бизнес-процесса.

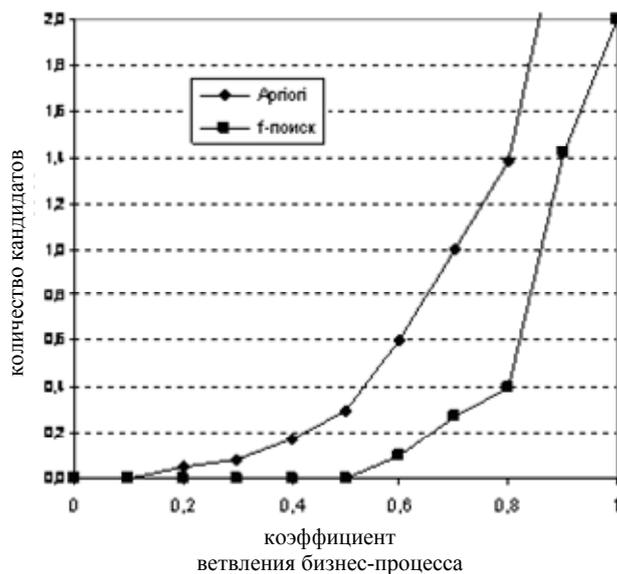


Рис. 1. Сравнение алгоритмов "Argiogi" и "f-поиск"

На рис. 1 проводится сравнение производительности алгоритмов "f-поиск" и "Argiogi". Учитывая необходимость прохода по всем записям базы данных для каждого кандидата из множества, алгоритм с меньшим количеством кандидатов будет более высокопроизводительным. Из рис. 1 видно, что количество кандидатов в экземпляры, генерируемых алгоритмом "f-поиск", меньше, чем у алгоритма "Argiogi" при прочих равных параметрах.

2. Van der Aalst W.M.P., Weijters A.J.M.M., Maruster L. Workflow Mining: Discovering Process Models from Event Logs. QUT Technical report, FIT-TR-2003-03, Queensland University of Technology, Brisbane, 2003.
3. Agrawal, R. Fast algorithms for mining association rules / R. Agrawal, R. Srikant // Proc. Of the 20th Int'l Conference on Very Large Databases. – 1994. – P. 487 – 499.

РАЗРАБОТКА МОДУЛЕЙ ДЛЯ РАСЧЕТА И ОТОБРАЖЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБОРУДОВАНИЯ

М.С. Воробьева, Р.В. Багров

Тюменский государственный университет, mvorobyeva@utmn.ru

Задача повышения эффективности синтеза программных средств, предназначенных для решения проблем технологического характера в условиях производства, требует применения современных инструментов проектирования, покрывающих весь цикл разработки от системного анализа предметной области до реализации программного средства, привязанного к конкретной производственной базе и информационному окружению.

Для успешной работы любой крупной компании требуется быстрая и качественная обработка информации. Специалистами цехов и технологических отделов промышленного предприятия, имеющего сложную иерархию и конструкцию, обрабатывается огромное количество информации в числовом, логическом и других видах. Обработка такого количества информации крайне затруднительна без внедрения новых программных модулей, которые позволяют облегчить процессы формирования итоговых таблиц, сводных ведомостей и отчетов о работе предприятия в целом.

В настоящее время специалисты цехов и технологических отделов, рабочие места которых находятся в локальной сети предприятия, не имеют непосредственного доступа к технологической информации. Учитывая специфику действующего программного обеспечения на предприятии, необходимо спроектировать и разработать приложения, которые, с одной стороны, будут интегрированы в существующую среду программных комплексов цехов и предприятия; с другой стороны, предоставят технологическому персоналу возможность просмотра сводной информации по заданным характеристикам для осуществления анализа и прогноза.

В приложении "ТЭП" осуществляется расчет технико-экономических параметров по определенному режиму, в котором находится оборудование; формирование отчетных документов для технологического персонала в виде суточных и месячных ведомостей для обеспечения наиболее экономичной эксплуатации оборудования, прогнозирования его ремонта, оценки качества работы эксплуатационного персонала, а также для составления итоговой отчетности работы цехов предприятия.

Информация для формирования выходных сообщений состоит из накопленных величин технико-экономических параметров, величин соотношений для функции анализа данных и из усредненных за сутки показателей для контроля состояния оборудования. Результаты расчета предоставляются персоналу в виде итоговых таблиц, утвержденных на предприятии.

В приложении "УВРО" производится расчет времени работы оборудования по полученным значениям с устройств (данные представлены в двоичном формате и хранятся в файлах долговременного архива); формирование отчетов за определенный период времени (сутки, месяц и с начала эксплуатации) на основе типизированных файлов архивных данных; отображения результатов расчета на web-сервере предприятия. Ведомости формируются автоматически ежедневно, результаты расчета доступны всем специалистам, рабочие места которых находятся в общей сети.

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ ПОЛИГРАФНЫХ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ОБСЛЕДОВАНИЙ

А.Ю. Бабиков, А.В. Бородин

Московский государственный университет прикладной биотехнологии

Полиграфное психофизиологическое обследование (ППО) – это психофизиологическое обследование человека с применением полиграфа (медико-биологического прибора, регистрирующего динамику нескольких физиологических показателей), цели которого связаны с выявлением скрываемой человеком информации. В ходе ППО предъявляемые психологические стимулы (вопросы, образы) вызывают изменения состояния психики обследуемого человека. Эти изменения сопровождаются физиологическими реакциями (со стороны вегетативной нервной системы), которые регистрируются полиграфом. Анализируя динамику физиологических процессов в организме обследуемого, эксперт делает вывод о так называемой значимости для обследуемого тех или иных стимулов и, на этой основе, о правдивости обследуемого.

Традиционные модели и методы обработки данных ППО являются слабоформализованными. В авторской модели обработки данных ППО, так называемом значимость-ориентированном подходе, вполне однозначно определены понятийный аппарат, цели и задачи обработки данных полиграфных обследований, принципы преобразования данных в результат, структуры обрабатываемых данных. В терминах значимость-ориентированного подхода сформулирован общий алгоритм обработки данных ППО.

Под данными ППО понимаются сигналы физиологических показателей, зарегистрированные полиграфом во время предъявления обследуемому стимулов, и информация о значимости этих стимулов. Под значимостью стимула понимается такое отношение между стимулом и психологическим состоянием обследуемого, при котором содержание предъявленного стимула провоцирует некие психологические и, соответственно, психофизиологические процессы в организме обследуемого, наблюдаемые в виде физиологических реакций на стимул, сила которых пропорциональна величине значимости стимула. На основе значимости стимулы классифицируются на: проверочные, чья значимость априори неизвестна и должна быть выяснена; контрольные, чья значимость полагается известной априори; жертвенные, чья значимость не учитывается в процедуре обработки данных ППО.

Цель этапа обработки данных ППО состоит в определении значимости предъявленных обследуемому проверочных стимулов. Ключевой принцип достижения этой цели состоит в выяснении связи между наблюдаемыми параметрами физиологических сигналов и значимостью контрольных стимулов и последующей экстраполяции этой выявленной связи на проверочные стимулы.

Обработка данных ППО подразумевает решение трех задач:

- 1) построение на основе зарегистрированных данных зависимости для вычисления показателя значимости стимулов;
- 2) оценка адекватности полученного показателя экспериментальным данным;
- 3) определение вероятности, с которой получаемые результаты можно считать соответствующими действительности.

При выборе адекватных статистических методов решения задач необходимо учитывать следующие особенности данных ППО: малые объемы выборок (количество стимулов), неизвестный характер распределения случайных величин (параметров сигналов), лабильность распределений значений параметров сигналов. Очевидной представляется необходимость обращаться к методам непараметрической математической статистики.

Намеренно не учитывая для простоты методические вопросы организации стимулов в блоки и их предъявление в несколько серий, предлагаем следующий способ вычисления показателя значимости стимулов:

$$\tilde{\lambda}(s) = \frac{1}{2} \left(\frac{\sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^{d_i} \alpha_{ij} p_{ij}^*(s)}{\sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^{d_i} |\alpha_{ij}|} + 1 \right),$$

где s – стимул; $\tilde{\lambda}(s)$ – значимость ("теоретическая") стимула s ; $p_{i,j}^*(s)$ – нормированные (приведенные к шкале [0; 1]) значения j -го параметра i -го полиграфного сигнала после предъявления стимула s (i -й полиграфный сигнал имеет всего d_i параметров); $\alpha_{i,j}$ – информативность параметра $p_{i,j}$. Числовые константы введены для того, чтобы $\tilde{\lambda}(s)$ принимала значения из отрезка [0;1].

Информативность параметра $\alpha_{i,j}$ – сила связи (по значению или уровню) параметра со степенью значимости стимулов – рассчитывается как коэффициент корреляции между двумя величинами: значимостями $\lambda(s)$ контрольных стимулов (которые полагаются известными априори) и соответствующими этим стимулам значениями параметра $p_{i,j}$.

Адекватность построенного показателя $\tilde{\lambda}(s)$ характеризуется корреляцией между априорной значимостью $\lambda(s)$ контрольных стимулов и их "теоретической" значимостью $\tilde{\lambda}(s)$. Выбор того или иного коэффициента корреляции (линейной, ранговой) осуществляется исходя из того, в какой шкале представлена $\lambda(s)$.

Достоверность получаемых результатов характеризуется вероятностью выделения значимого стимула (ВВЗС) – вероятностью того, что полученные в ходе эксперимента данные позволяют получить показатели значимости, соответствующие действительности. Задача определения ВВЗС сформулирована как задача однофакторного непараметрического анализа. В роли фактора выступает априорно известная значимость $\lambda(s)$, а в роли отклика – "теоретическая" значимость $\tilde{\lambda}(s)$. Стимулы, для которых известна $\lambda(s)$, (контрольные стимулы) распределяются по значениям (уровням) показателя в две (для критерия, например, углового преобразования Фишера) или более (для критерия, например, Краскела-Уоллиса) группы. С помощью выбранного непараметрического критерия проверяется, являются ли значимыми различия "теоретических" показателей значимости $\tilde{\lambda}(s)$ стимулов из разных групп. Минимальный уровень значимости (вероятность ошибки I рода), на котором гипотеза о различии еще не отвергается, определяет ВВЗС.

Предложенный алгоритм опирается на очевидно адекватный статистический аппарат и позволяет выполнять обработку данных ППО формально, исключая элементы субъективизма, присущего традиционным способам анализа данных ППО.

ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА "РЕПОЗИТОРИЙ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ"

Д.А. Солодухин

Владимирский государственный университет, tkf@vpti.vladimir.ru

Для более продуктивного труда в информационной среде требуются инструменты для работы с информацией. Для поиска необходимых инструментов нужно, чтобы программное обеспечение (ПО) было рассортировано и структурировано для быстрого и удобного поиска. В таких условиях репозитории ПО – систематизированные хранилища программ становятся очень важными.

Когда программ немного, может использоваться простой доступ к файлам, открытым на доступ посредством FTP, NFS или SMB, но с увеличением количества программ поддерживать в актуальном состоянии такое хранилище становится очень проблематично в плане временных затрат, а поиск необходимого инструмента может занимать много времени. Поэтому требуется переход к новому этапу, отдельной системе для создания и поддержки репозитория. Как универсальное решение требуется система с веб-интерфейсом. Она позволит управлять ПО и отслеживать его изменения, поможет найти инструмент для каждой задачи. Такие системы должны реализовать многоуровневую систему категорий, тэги, возможность задавать собственные параметры. Эти требования диктует необходимость сравнивать инструменты. Так как одним из критериев в нашем выборе была бесплатность инструментов, ни одно подходящее решение не было найдено, было принято решение о разработке собственной системы. Рассматривались следующие критерии: лицензия, по которой распространяется система; поддержка многоязычности – присутствуют ли интерфейсы на других языках; ЧПУ (HRU – Human Readable URL) – можно ли по URL определить, что будет находиться на целевой странице; поддержка PAD (Portable Application Description); поддержка RSS (Really Simple Syndication); операционная система (ОС) в параметрах – можно ли указывать поддерживаемые ОС.

Рассмотренные решения приведены в табл. 1.

Для хранения данных мы решили использовать структуру, изображенную на рис. 1.

1. Сравнение систем для создания репозитиев

	WebProjectDB	FilesHome	Esoft Script Free	SourseWell	MediaWiki	Violetta
Лицензия	GNU/GPL	–	Своя	GNU/GPL	GNU/GPL	Своя
Тип распространения	OpenSource	Freeware	Freeware	OpenSource	OpenSource	Freeware
Многоязычность	Нет	Нет	Да	Да	Да	Нет
ЧПУ	Нет	Нет	Нет	Нет	Да	Да
Поиск	Обычный	Да	Продвинутый	Обычный	Обычный	Нет
Поддержка PAD	Да	Да**	Да	Нет	Нет	Нет
Поддерживаемые БД	MySQL	MySQL	MySQL	MySQL	MySQL, Text	Text
Вложенность категорий	Нет	2 уровня	2 уровня	2 уровня	–	Любая
Отдельный вход для разработчиков	Да	Нет	Да	Нет	Да	Нет
Комментарии	Да	Нет	Да	Да	Нет	Нет
Статьи и обзоры	Нет	Нет	Нет*	Нет	Да	Нет
RSS	Да	Нет	Нет*	Да	Да	Нет
Рассылка	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
Скриншоты	Да	Да	Да	Да	Да	Нет
ОС в параметрах	Да	Да	Да	Нет***	Нет	Да
Рейтинги	Да	Нет	Да	Нет	Нет	Нет

* Имеется в платной версии.

** Поддерживается только в PAD.

*** Написать можно все, что угодно, но как отдельного параметра нет.

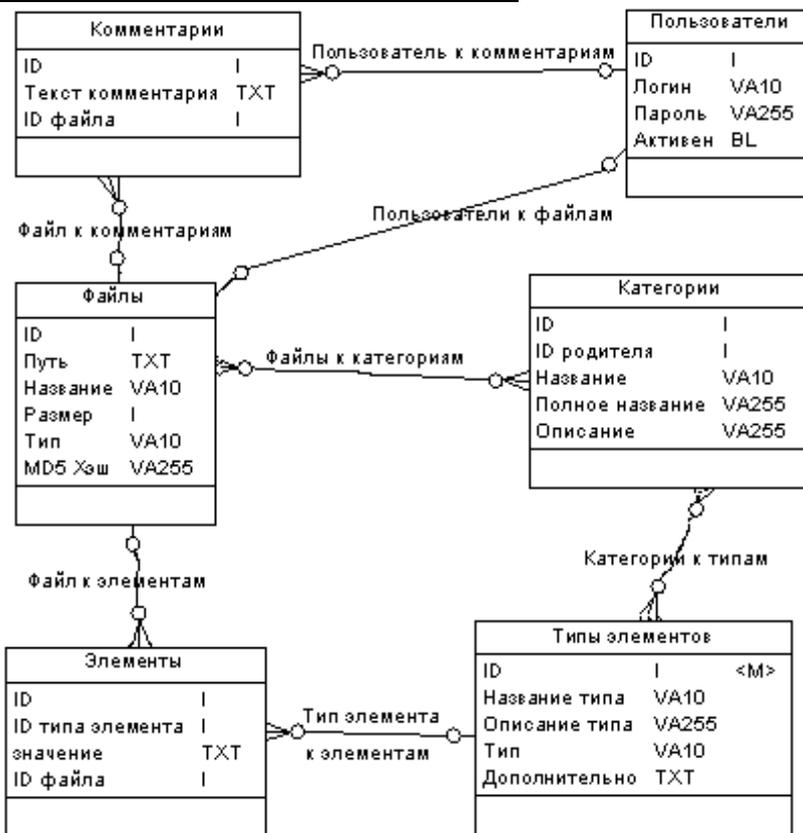


Рис. 1. Схема базы данных

Основной таблицей является таблица "Файлы", которая связана с таблицей категорий. Таким образом эта структура поддерживает задание категорий для файлов. Для каждой категории определены типы элементов, элементы связываются с файлами. Элемент содержит пару "тип – значение". Таким образом можно хранить в базе данных дополнительную информацию о файле. Используя эту структуру, нет необходимости переделывать ее в случае увеличения количества дополнительных данных. Недостатком такого подхода является усложнение связей между данными. Вынесение комментариев в отдель-

ную таблицу позволяет разгрузить таблицу "Элементы", не храня в ней комментарии пользователей, которые скорей всего не несут в себе необходимую для каталогизации информацию.

СМЕШАННЫЕ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ

Н.А. Заболотько

Владимирский государственный университет, sahibd@gmail.com

В настоящее время в индустрии программного обеспечения, особенно в отрасли веб-приложений, все большее распространение получают приложения на основе технологий Web 2.0. Эти технологии стимулируют масштабный рост и усложнение потоков данных. Это явление охватывает информацию всех видов, в частности, обычную коммерческую информацию, общественную и персональную информацию, структурированные и неструктурированные данные и существенно затрудняет работу ИТ-отделов компаний, пытающихся быстро отреагировать на меняющиеся требования бизнеса. Исходя из этого, задача смешанных (Mashup) веб-приложений заключается в интеграции, преобразовании, фильтровании и отображении такой информации в разных форматах.

Серьезная доля будущего рынка приходится на Mashup приложения – 21 % организаций планируют использовать принцип Mashup приложений в своей ИТ-архитектуре. Ежедневно создаются по 3 Mashup веб-приложения, общее число таких приложений на текущий момент достигло 3400, общая доля Mashup приложений в доле корпоративных приложений составит 700 миллионов долларов к 2013 г. [1].

Mashup – это концепция построения веб-приложений путем комбинирования из удаленных источников функциональности различных программных интерфейсов и источников данных, которая является примером паттерна проектирования Facade [2]. Данная концепция пришла на смену другой – порталной (portals), использовавшей для персонализации информации – портлеты (portlets). В отличие от нее, Mashup концепция подразумевает широкое использование таких архитектур, как SOA, REST; форматов данных: HTML, XML, WSDL, JSON; протоколы: SOAP, JSON-RPC, XML-RPC. Архитектура Mashup веб-приложений может подразумевать как и смешивание представлений, так и смешивание функциональности и данных, причем последнее может выполняться как на сервере, так и на клиенте. События в обоих случаях обрабатываются в соответствии с принципами CRUD.

Но не всегда удаленный источник предоставляет интерфейс для использования его возможностей, тогда применяется технология захвата дампа экрана и средств разбора и анализа контента (ScrAPI) и такие новые языки, как XQuery [1]. Но технологии захвата дампа экрана присущи и недостатки: отсутствие контакта между источником информации и ее пользователем и нехватка средств ScrApi.

Таким приложениям присущи проблемы и с самими данными. При конвертации данных в распространенные форматы данных, необходимо делать допущения, если отображение не полное. Кроме потери данных или неполного отображения, проектировщики Mashup приложений могут обнаружить, что данные, которые они хотят интегрировать, не подходят для машинной автоматизации или их необходимо очистить. Стандарты семантического значения данных, такие как RDF, могут помочь облегчить проблему автоматического разбора в пределах различных наборов данных при условии, что они встроены в хранилище данных. Высока вероятность того, что традиционные источники данных потребуют больше человеческих усилий для анализа и очистки данных перед тем, как они смогут быть использованы в Mashup веб-приложении.

Одним из возможных решений проблемы данных в Mashup веб-приложении является стандартизация. Действующими стандартами в области Mashup веб-приложений являются XML Metadata Interchange (XMI), OpenSam, OpenAjax, DataPortability.org.

В процессе работы нами реализованы два Mashup веб-приложения: клиентское (JavaScript) и серверное (ASP .NET 2.0). Серверное приложение обладает более высокой защищенностью за счет сокрытия кода в отличие от клиентского приложения, где код, а соответственно и механизмы смешивания информация, доступны пользователю системы и могут быть использованы им в своих целях. Способность к взаимодействию с другими источниками данных у серверного приложения выше за счет возможности использования более высокоуровневых языковых средств и платформ и, соответственно, более простой интеграции с базами данных. В то время как клиентское приложение ограничено средствами языка JavaScript и HTML. Хотя оба приложения не соответствуют существующим стандартам Mashup веб-приложений – возможность приведения к текущим стандартам выше у серверного приложения из-за поддержки более высокого спектра технологий.

Эффективность серверного приложения за счет использования средств платформы .NET выше в 8 – 10 раз, нежели клиентского приложения. В целом же Mashup веб-приложения обладают более низкой производительностью за счет задержек при обработке и получении данных, которые можно значительно сократить при сертификации как источника данных, так и веб-приложения получателя.

Сопровождаемость и переносимость серверного приложения более высока за счет применения языка C# (в отличии от скриптового языка JavaScript), применение которого повышает возможности изменяемости системы, ее стабильности и тестируемости.

Плохая масштабируемость и сильносвязанность свойственны как клиентскому приложению, так и серверному. Поэтому необходимо смешанное решение с размещением одной части функций на сервере, а другой – на клиенте, в случае использования функционала приложения в корпоративных целях поднимается вопрос об использовании решений архитектуры SOA, что позволит добиться слабосвязанности, потерев в производительности.

Построение таких приложений позволяет развертывать информационные системы на базе сторонних приложений, не углубляясь в их родительские системы, программные среды и архитектуры баз данных, тем самым снижая время разработки. В Mashup веб-приложениях используются платформонезависимые языки программирования и интерфейсы между приложениями корпоративной инфраструктуры ИТ. Это дает очевидные преимущества в поддержке, управляемости, развертывании информационных систем.

1. Raymond Yee. Pro Web 2.0 Mashups. Apress, 2008.

2. Гамма, Э. Приемы объектно-ориентированного проектирования / Э. Гамма и др. – СПб. : Питер, 2007.

РАСЧЕТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЗКИ НА ВЕБ-СЕРВЕР

И.В. Егорова

Владимирский государственный университет, irina.egorova.eiv@gmail.ru

Основной проблемой при внедрении портала кафедры стал выбор для него сервера и необходимого программного обеспечения. Эксперимент с реальной машиной и программным обеспечением требует больших затрат времени и экономически не выгоден. Наиболее простым и эффективным решением является построение имитационной модели в среде GPSS World, которое позволяет имитировать обработку заявок пользователей.

Необходимо отметить, что нами использовался типовой набор функций, который применим при построении портала любой кафедры: представление информации о кафедре, поиск выпускников, форум или вопросы и ответы, размещение методических пособий. Одно обращение к тому или иному разделу, файлу, запрос к базе данных – единица обращения, которая далее называется заявкой. Необходимо сгенерировать и рассчитать параметры так, чтобы сервер выдержал максимально предполагаемую нагрузку. Можно предположить следующие "узкие" места (bottlenecks): сетевая карта, буфер операционной системы, интерпретатор веб-страниц.

В качестве заявки (обращения) принимается пакет протокола TCP/IP. Здесь необходимо указать некоторые допущения и упрощения. Во-первых, считаем, что все заявки идут из одной точки, поскольку перед сервером находится один маршрутизатор, через который поступают пакеты протоколов. Во-вторых, не учитываем пропускную способность канала связи между маршрутизатором и сервером, тем самым допуская, что по ней может идти любое количество заявок. В-третьих, предполагаем, что на последнем участке до сетевой карты сервера пакет протокола TCP/IP имеет минимальную величину (543 байта) и больше сегментировать не будет. Заявки следовали по схеме, представленной на рис. 1.

Первоначально были выбраны предполагаемые параметры. Сервер: сетевая карта 100 Мбит/с, процессор Pentium Xeon, 2 Гб оперативной памяти. Программное обеспечение: ОС Ubuntu Server, веб-сервер Apache 2.2, интерпретатор PHP 5.2. По модели, представленной на рис. 1, построена имитационная модель в среде GPSS World. Блоки GPSS-модели копируют поведение блоков и устройств реального сервера. После моделирования небольшой нагрузки выяснилось, что сетевая карта не способна обработать исходящий трафик и заявки находятся в очереди операционной системы при стрессовой нагрузке более 5 минут, что недопустимо. Следует учесть, что исходящий трафик считается больше входящего, поскольку при обработке заявки разделены на три группы: заявки на загрузку страницы, на загрузку страницы из базы данных и загрузку файла. Соответственно объем возвращаемых данных изменялся. Заявки поступали из одного источника и распределялись по пунктам обработки случайным образом.

С этими допущениями моделируется нагрузка двух видов: стрессовая и нормальная. Под стрессовой нагрузкой в данном случае понимается поток заявок, следующий с минимальным интервалом времени, практически приближенным к нулю. Такой поток заявок поступает в систему в течение непродолжительного времени (не более часа) и крайне редко (не чаще одного раза в год). При моделировании стрессовой нагрузки исследуется устойчивость сервера в экстремальных условиях, например во время зачетов и экзаменов. Для стрессовой нагрузки предлагается генерация заявок с частотой в 1 – 2 миллисекунды в течение часа. Для сервера кафедры этого достаточно.

Под нормальной нагрузкой подразумевается ежедневная нагрузка на сервер. Поскольку в течение дня наблюдается несколько периодов сетевой активности среди пользователей, то можно рассмотреть один из них, использовать его данные и для анализа остальных с соответствующими коэффициентами.

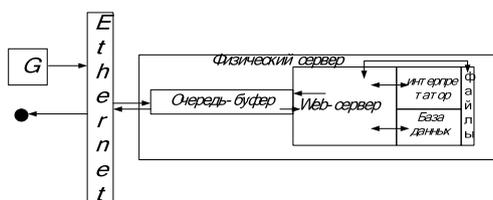


Рис. 1. Модель обработки заявок

Таблица 1

Устройство	Количество входов		Процент использования		Среднее время пребывания		Ожидающие транзакты	
	Стресс	Норма	Стресс	Норма	Стресс	Норма	Стресс	Норма
PHP	39 803	216	26,5	0	1,998	1,987	599 376	0
File	39 131	210	91,4	0	7,006	6,886	600 514	0
OutBuffer	29 105 846	156 318	9,7	0	0,001	0,001	598 632	0

Буфер сетевой карты не использовался, очередь операционной системы использовалась на 99,5 % при стрессовой нагрузке. Оба устройства не использовались при нормальной нагрузке (табл. 1).

По результатам обработки данных можно сказать, что сервер справится со стрессовой нагрузкой. При сгенерированных 200 019 заявках было полностью обработано 80 000 (без учета размера возвращаемых данных). То есть из 200 019 пользователей, практически одновременно обратившихся к серверу, в течение часа ответ получают 80 000, т.е. 39 %. При нормальной нагрузке будут обработаны все заявки и все пользователи получают ответ менее чем за 5 минут.

Таким образом, можно утверждать, что стрессовую нагрузку сервер выдержит, дальнейшее моделирование можно не проводить.

В ходе имитационного моделирования предложена модель сервера с оптимальными параметрами. Для более загруженных серверов потребуется более точный расчет и более подробная модель вплоть до расчета скорости диска. С помощью

имитационного моделирования нельзя абсолютно точно рассчитать необходимые параметры сервера, но можно оценить его возможности и сопоставить с решаемой задачей, а также предположить приблизительную стоимость сервера.

ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНИК ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ФЛЭШ-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ СОЗДАНИИ ВЕБ-САЙТОВ

В.А. Бобкова, С.А. Комиссаров

Ивановский государственный химико-технологический университет,
bobkova@isuct.ru

Стремительный рост Интернет-технологий предъявляет высокий уровень требований к разработчикам веб-сайтов. Одним из современных средств, применяемых при создании сайтов, являются флэш-приложения. Использование их имеет ряд положительных моментов: интерактивность, широкие возможности визуализации информации, межплатформенная совместимость. Флэш обладает расширенным механизмом по интегрированию видео в флэш-ролики, а также возможностью обмена флэш-ролика с внешними источниками данных посредством языка XML, позволяет создавать мультимедиа библиотеки на сайте. В настоящее время флэш-технологии становятся самым выгодным, удобным и мощным инструментом при создании сайтов. Флэш – это динамика, красота, влияние на восприятие. В то же время в литературе отсутствует сколько-нибудь систематическое изложение флэш-технологий.

Разработанный нами электронный учебник по использованию флэш-технологий содержит следующие разделы: описание программы Macromedia Flash, обоснование ее преимущества по сравнению с другими флэш-продуктами; знакомство с флэш, первые шаги (создание нового проекта, сцена и окно документа, работа со слоями, работа в разных окнах, сохранение проекта); рисование в Macromedia Flash, редактирование контуров, работа с цветом; импорт графики и работа с растровыми изображениями (размещение импортированной графики, редактирование растровых изображений, свойства растрового изображения); работа с объектами (простейшие операции над объектами, трансформация объектов, порядок наложения объектов); анимация (временная линейка, просмотр и тестирование проекта, работа с кадрами, покадровая анимация, неподвижные объекты в анимации, анимация движения, анимация форм, текста, символов, использование слоев-масок, сцен, кнопок); простейшие сценарии (описание панели Action и ее языка программирования, назначение сценария кнопке, клипу, кадру, загрузка веб-страниц); более сложные сценарии (переменные, операции, функции, условные операторы, операторы цикла, работа с клипами, текстовыми слоями); варианты использования флэш-технологий при создании сайтов; баннер, выполненный на флэш; вводная страница сайта на флэш (Welcome page); меню и другие элементы управления на флэш; сайт, полностью выполненный на флэш.

Электронный учебник снабжен многочисленными иллюстрациями, гиперссылками, обладает интуитивно понятным интерфейсом. Учебник может быть использован студентами специальности "Информационные системы и технологии". Знакомая им с наиболее современными технологиями в разработке сайтов, учебник позволяет будущим IT-специалистам повысить свою конкурентоспособность на рынке труда.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ

А.Ю. Ильина

Владимирский государственный университет, annasky@live.ru

Задачей данной работы является описание процесса usability-проектирования (проектирования удобства использования) пользовательского интерфейса применительно к конкретной предметной области, рассмотрение специфики создаваемой в процессе документации, выявление ключевых показателей эффективности применения usability.

В качестве предметной области нами выбрана система управления распределенным предприятием. Причиной выбора является сложность пользовательского интерфейса (ПИ) подобных систем. Вследствие этого улучшение usability-качеств представляется наиболее актуальным способом повышения эффективности работы с системой.

Для решения поставленной задачи необходимо выполнить следующие этапы (рис. 1): спроектировать пользовательский интерфейс; подготовить сопровождающую документацию; произвести расчет показателей эффективности; определить статистику; проанализировать результаты.

Каждый этап включает в себя соответствующий блок разработанной документации. Аналогично – каждому этапу соответствует определенный набор методик и подходов, который позволяет делать интерфейсы проработанными, детально документированными и целеориентированными.

Проектирование и дизайн пользовательских интерфейсов начинаются с предпроектного анализа и сбора требований. Необходимо описать видение проекта, предполагаемую целевую аудиторию, продумать сценарий взаимодействия и составить перечень требуемой функциональности. При непосредственном проектировании ПИ системы разрабатываются карта сайта, схема навигации, диаграммы взаимодействия и структурные схемы страниц. При осуществлении дизайнерских работ над проектом (системой) создаются дизайн-макеты и руководства по стилю интерфейса. Заключительным элементом процессов проектирования и дизайна является подготовка спецификации.

Самым наглядным результатом процесса проектирования являются интерактивные прототипы интерфейсов. Такой прототип имитирует работу будущего продукта. Сначала создается каркас прототипа, затем осуществляется объединение и наполнение прототипа, далее доработка (при необходимости).



Рис. 1. Основные этапы usability-проектирования пользовательского интерфейса

Заключительным этапом usability-проектирования является программная разработка. Здесь осуществляется выбор наиболее подходящих программных средств, оценивается сложность разработки, сроки, опыт сотрудников. На данном этапе стоит отметить такой термин, как usability-консалтинг, под которым подразумевается консультирование по проблемам, связанным с процессом usability-проектирования.

Нами проводилось usability-тестирование разрабатываемого пользовательского интерфейса на всех этапах создания. Вследствие чего преждевременно выявлены и устранены весьма значительные и весомые дефекты в проектировании, что повлияло на качество интерфейса (в лучшую сторону).

Основной проблемой оценки usability-проектирования является сложность перевода качественных характеристик ПИ в финансовые показатели. Автором была проведена статистика разработанного пользовательского интерфейса, в ходе которой были выявлены наиболее важные показатели (например, глубина просмотра), на основе которых принималось решение о необходимости доработки ПИ рассматриваемой системы. Статистика показала, что применительно к рассматриваемой предметной области – системе управления распределенным предприятием – наиболее весомыми являются следующие показатели: точка входа, глубина просмотра, посещаемость.

Неотъемлемой частью процесса usability-проектирования является определение показателей эффективности. При проектировании ПИ рассматриваемой системы нами выявлены следующие показатели: повышение эффективности работы сотрудников с системой, уменьшение затрат, сил и времени на обучение новых сотрудников, уменьшение рисков (связанных с человеческим фактором), повышение эффективности управления распределенными филиалами предприятия.

При осуществлении работ по проектированию пользовательского интерфейса системы управления распределенным предприятием выявлены возможные риски проектирования, определены оптимальные меры их предупреждения, практически опробованы и протестированы макеты интерфейса, также проведено исследование на тему, что выгоднее и оптимальнее использовать – проектирование полностью нового пользовательского интерфейса системы или же редизайн (перепроектирование) старого ПИ. В большинстве случаев проектирование "с нуля" оказывается наиболее выгодным и эффективным.

В целом, при исследовании рассматриваемой темы выявлены актуальность и востребованность usability-услуг, экономическая выгода и эффективность их использования, высокий потенциал и стремительное развитие.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИЗМЕНЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ КОМПЬЮТЕРА С ТЕЧЕНИЕМ ВРЕМЕНИ

М.А. Ластовкин

Владимирский государственный университет, doka7@mail.ru

Для защиты компьютеров от атак разрабатываются различные системы защиты. Но и они в полной мере неспособны гарантировать полную защищенность, так как появляются все новые и новые атаки. Следовательно, необходимо постоянно обновлять программную систему защиты. В каждой новой версии заложены новые методы защиты от вновь появившихся атак. При этом система защиты уже не имеет тех уязвимостей, которые существовали в предыдущих версиях.

Однако если не производить своевременных обновлений, система защиты не сможет адекватно реагировать на попытки злоумышленников получить доступ к конфиденциальной информации, что может привести к успешной реализации атаки.

Целью данной работы является оценка эффективности защиты постоянно функционирующего компьютера с течением времени.

На рис. 1 показана общая схема системы защиты компьютера.

Предполагаем, что имеется некоторый объект защиты, обрабатывающий входящий поток заявок. Входной поток (ВП) представляет собой множество, состоящее из непересекающихся множеств рабочих заявок и атак: $ВП = \{PЗ, A\}$, где $PЗ$ – множество рабочих заявок, A – множество атак. Объект, обрабатывая рабочие заявки, выполняет полезную работу и приносит доход, реализация атак на объект приводит к потерям. Система защиты призвана фильтровать входящий поток, пропуская все рабочие заявки и блокируя атаки.

Для оценки эффективности работы системы защиты в произвольный момент времени t введем понятие показателя эффективности защиты (ПЭЗ), который зависит от: коэффициента отраженных атак $K_{oa}(t)$ и коэффициента ложных срабатываний $K_{лс}(t)$: $ПЭЗ(t) = \{K_{oa}(t); K_{лс}(t)\}$.

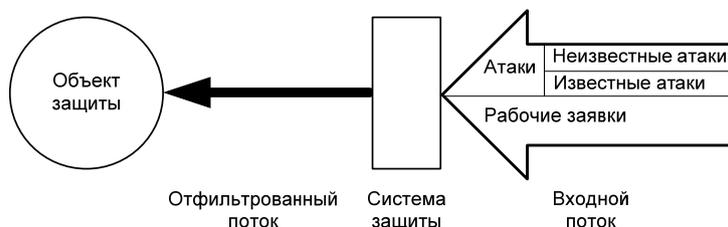


Рис. 1. Общая модель схемы системы защиты компьютера от атак

Коэффициент K_{oa} показывает отношение количества нейтрализованных атак к общему количеству атак. Здесь и далее будем полагать, что множество атак в произвольный момент времени t можно разделить на два непересекающихся подмножества (3). Первое – подмножество известных атак $A_{изв}(t)$, т.е. тех атак, которые может блокировать система защиты, и второе – подмножество неизвестных атак $A_{неизв}(t)$, т.е. тех атак, которые система защиты блокировать не может, не потому что это принципиально невозможно, а потому что способы блокировки системе пока не известны, но могут стать известны в будущем:

$$A(t) = A_{изв}(t) \cup A_{неизв}(t), \quad (1)$$

где $A_{\text{изв}}(t) \cap A_{\text{неизв}}(t) \in \emptyset$.

Таким образом, коэффициент отраженных атак можно представить в виде отношения мощностей множеств $A_{\text{изв}}(t)$ и $A_{\text{неизв}}(t)$: $K_{\text{оа}}(t) = |A_{\text{изв}}(t)|/|A(t)|$.

Коэффициент ложных срабатываний показывает отношение количества заблокированных рабочих заявок к общему количеству рабочих заявок. Данный коэффициент отражает качество реализации системы защиты, оценить которое для произвольного средства защиты крайне затруднительно, к тому же в большинстве современных средств защиты количество ложных срабатываний, как правило, очень мало. Поэтому данный коэффициент можно исключить из рассмотрения, следовательно, показатель эффективности защиты будет иметь вид: $\text{ПЭЗ}(t) = K_{\text{оа}}(t)$, или $\text{ПЭЗ}(t) = |A_{\text{изв}}(t)|/|A(t)|$.

В данном исследовании нас будут интересовать изменения отношения мощностей множеств $A_{\text{изв}}(t)$ и $A_{\text{неизв}}(t)$ в течение времени, поэтому будем рассматривать данные отношения в два момента времени t_0 и t ($t_0 < t$), а также введем зависимости, показывающие изменения множеств с момента времени t_0 и t . Для начала выразим закон изменения множества $A_{\text{изв}}(t)$ с течением времени: $A_{\text{изв}}(t) = A_{\text{изв}}(t_0) \cup \Delta A_{\text{изв}}$, где $A_{\text{изв}}(t_0)$ – множество известных атак на момент времени t_0 ; $\Delta A_{\text{изв}}$ – приращение множества известных атак с момента времени t_0 до t .

Множество неизвестных атак $A_{\text{неизв}}(t)$ выразить немного сложнее, так как часть ранее неизвестных атак становится известными, а кроме того надо обеспечить выполнение условия (1):

$$A_{\text{неизв}}(t) = (A_{\text{неизв}}(t_0) \cup \Delta A_{\text{неизв}}) \setminus \Delta A_{\text{изв}},$$

где $A_{\text{неизв}}(t_0)$ – множество неизвестных атак на момент времени t_0 ; $\Delta A_{\text{неизв}}$ – приращение множества неизвестных атак с момента времени t_0 по t ; $\Delta A_{\text{изв}}$ – приращение множества известных атак с момента времени t_0 по t .

После ряда подстановок получаем:

$$A(t) = (A_{\text{изв}}(t_0) \cup \Delta A_{\text{изв}}) \cup ((A_{\text{неизв}}(t_0) \cup \Delta A_{\text{неизв}}) \setminus \Delta A_{\text{изв}}).$$

Далее несложно получить формулу для определения ПЭЗ:

$$\text{ПЭЗ}(t) = \frac{|A_{\text{изв}}(t_0) \cup \Delta A_{\text{изв}}|}{|(A_{\text{изв}}(t_0) \cup \Delta A_{\text{изв}}) \cup ((A_{\text{неизв}}(t_0) \cup \Delta A_{\text{неизв}}) \setminus \Delta A_{\text{изв}})|}.$$

Проанализируем полученную формулу. В нее входит четыре переменных, имеющих различную смысловую нагрузку: $A_{\text{изв}}(t_0)$ – определяет множество известных атак в момент времени t_0 , и легко может быть установлен, так как является одним из известных параметров системы защиты; $\Delta A_{\text{изв}}$ – определяет обновление системы защиты за промежуток времени $t_0 \dots t$, также легко определяется и в общем случае определяет качество и оперативность работы службы, отвечающей за актуальность системы защиты; $A_{\text{неизв}}(t_0)$ – показывает количество неизвестных атак на момент времени t_0 . Данный показатель для произвольного средства защиты точно определить крайне затруднительно, однако мы будем полагать, что существуют способы его аналитической оценки; $\Delta A_{\text{неизв}}$ – показывает приращение множества неизвестных атак с момента времени t_0 по t . Этот коэффициент, как и предыдущий, в общем случае получить крайне проблематично, однако полагаем, что его можно будет получить, анализируя историю появления атак.

Коэффициенты $\Delta A_{\text{изв}}$ и $\Delta A_{\text{неизв}}$ в зависимости от времени могут быть изменчивыми, так как процесс появления новых атак зависит от множества неизвестных факторов. Среди этих факторов могут быть экономические отношения защищаемой стороны и нападающей, геополитические и т.д.

Задачей нашего исследования является получения функциональной зависимости снижения показателя защищенности системы в течение времени при условии отсутствия обновлений системы защиты. Обновление системы защиты обозначали как $\Delta A_{\text{изв}}$, следовательно, при $\Delta A_{\text{изв}} = 0$ получаем:

$$\text{ПЭЗ}(t) = \frac{|A_{\text{изв}}(t_0)|}{|A_{\text{изв}}(t_0) \cup (A_{\text{неизв}}(t_0) \cup \Delta A_{\text{неизв}})|}.$$

Полученная формула позволяет определить момент времени, когда эффективность системы защиты будет ниже критического минимума, что может быть использовано для составления оптимального расписания обновления системы защиты, а также для анализа глобальных вирусных эпидемий. Эта формула может быть применена для произвольных систем защиты и нападения. Например, вирус – антивирус, обновление – эксплоит и т.д.

В формуле фигурируют неизвестные $A_{\text{неизв}}(t_0)$, $\Delta A_{\text{неизв}}$, определение которых довольно проблематично для произвольного типа защиты и потребует дополнительных исследований. Однако, по нашему мнению, можно довольно точно определить данные множества, производя исторический анализ появления атак.

ТРЕНАЖЕРНЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ГАЗОБЕТОНА

А.В. Санитаров, В.Н. Гиляров

Санкт-Петербургский государственный технологический институт,
giljarow@mail.ru

Производство газобетона является сложным многостадийным процессом. В нем можно выделить два участка как наиболее сложных и требующих высокой квалификации персонала – бетонно-смесительный узел (БСУ) и участок автоклавной обработки изделий. Для подготовки новых операторов требуется много времени, привлечение уже действующего персонала, дополнительные затраты. В настоящее время отсутствуют математические модели и программные средства, позволяющие готовить и тестировать персонал управления сложнейшими участками производства газобетона. Поэтому является оправ-

данным и выгодным построение эффективного программного комплекса, способного подготавливать квалифицированных специалистов для работы на данных участках.

Особенностью создания тренажера участков БСУ и автоклавов производства газобетона является невысокая степень формализации знаний об этих процессах. Имеющиеся знания заданы в формах правил – продукций (экспертные знания), аналитических формул и массивов данных "вход-выход". Предполагается в тренажере обобщить все эти формы знаний.

При построении программного комплекса применяются методы экспертных систем, построенных с использованием теорий нечетких множеств, искусственных нейронных сетей и генетических алгоритмов в моделях поддержки принятия решений.

Программный тренажер для каждого из процессов включает в себя следующие основные элементы.

1. Модель (база знаний) объекта управления, включающая:
 - 1) нормальные и аварийные режимы работы;
 - 2) контролируемые параметры;
 - 3) органы управления;
 - 4) технологические схемы и состав основного оборудования.
2. Модель рабочего места обучаемого, включающая:
 - 1) графики изменения во времени важнейших параметров;
 - 2) компьютерные изображения пультов и панелей реальных рабочих мест объектов управления;
 - 3) мнемосхемы с представлением значений контролируемых параметров и состояний органов управления.
3. Модель рабочего места инструктора.

Построение математической модели процессов базировалось на основе математического описания физических процессов, происходящих в реальных объектах участков производства. Определение параметров моделей производилось на основе технологических характеристик оборудования и экспериментальных данных о работе объектов.

Рассмотрим пример гибридной модели программно управляемого процесса для участка автоклавов в составе тренажера.

Детерминированную часть модели автоклавов в общем виде можно представить формулой: $p(t) = f(t, x_1, \tilde{x}_2, \tilde{x}_3)$, где $p(t)$ – давление в автоклаве; t – время от начала процесса; x_1 – задание по давлению; x_2 – температура нижней стенки автоклава (\tilde{x}_2 после коррекции); x_3 – температура верхней стенки автоклава (\tilde{x}_3 после коррекции). Причем переменные t, x_1 не требуют коррекции, т.е. являются заведомо достоверными.

Введем вектор \bar{y} дополнительных косвенных параметров для повышения достоверности (рис. 1). Его составляющими являются: y_1 – время года; y_2 – положение запорной арматуры; y_3 – результаты предыдущих циклов обработки к данному моменту времени.



Рис. 1. Гибридная модель участка автоклавов

В блоке "Нечеткая коррекция" методами мягких вычислений происходит повышение достоверности основных переменных с помощью косвенных параметров или даже (при отсутствии их измеренных значений) полное восстановление.

По имеющимся зависимостям давления от времени в автоклаве мы строим имитационную модель в режиме реального времени в составе программного комплекса. В данную модель вводятся возмущения, созданные на основе нештатных ситуаций и иных отклонений от нормального режима работы. Обучающемуся необходимо вывести систему в рамки регламента технологического процесса. От его правильных действий, в дальнейшем, на реальном объекте, зависит качество выпускаемых изделий и целостность технологического оборудования.

Сравнение результатов работы созданного программного комплекса и операторов производства показывает целесообразность применения данного тренажера для подготовки персонала в производстве автоклавного газобетона.

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ С НАПРАВЛЕННЫМИ ВИРТУАЛЬНЫМИ СЕТЯМИ

А.С. Васильев, А.А. Хворов

Тамбовский государственный технический университет

В современных системах передачи информации надежная доставка пакетов решается, в основном, протоколами канального уровня. Особенно проблемными являются протоколы доступа к среде, которые выделены в отдельный подуровень и

реализуются по-разному, в зависимости от используемой технологии передачи. На сетевом уровне организуется взаимодействие множества узлов коммутации в целях их взаимного эффективного функционирования и сети в целом. При этом решаются как задачи маршрутизации, так и управления трафиком.

Указанный круг вопросов, ввиду особенностей реализации, часто рассматривается по отдельности. Однако при оценке эффективности системы в целом моделируется вся совокупность решаемых задач (при определенных ограничениях) от момента отправления до момента получения сообщений. Важно отметить, надежная передача сигналов реализуется на канальном уровне, на сетевом – эффективное управление и распределение информационных потоков.

Нами рассматривается расширение целевой установки задач канального уровня на сетевой. Виртуальная линия между отправителем и адресатом должна представляться виртуальной сетью, которая, обладая необходимой избыточностью и являясь "мягкой", имеет строго увязанное построение со структурой передаваемого сообщения. Такая виртуальная сеть формируется для направленной передачи сигналов одного сообщения или пачки сообщений между одной парой отправитель – адресат. Так как такие сети одновременно могут функционировать для многих пользователей, будем называть их направленными виртуальными сетями.

Моделирование передачи сообщения предполагает формирование сквозного канала с определенными маршрутами параллельной передачи. Такой "канал" представляется распределенной многоканальной системой с ретрансляцией по непересекающимся маршрутам.

Особенности систем с передачей по виртуальным направленным сетям: структура сети избыточна, позволяет для каждой пары отправитель–адресат формировать свою регулярную направленную действия подсеть; передача пакетов одного и того же сообщения осуществляется по непересекающимся путям в регулярных подсетях; на приемной стороне осуществляется многоканальная фильтрация пакетов, принимаемых по независимым направлениям.

Модель сети реализует подход к передаче информации путем функционирования всех узлов коммутации в сети с избыточной структурой, при этом вопросы модуляции сообщения переносятся на сетевой уровень с последующей сверткой в точке приема – получателя.

НАДЕЖНОСТЬ И РИСКИ ЛОКАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

П.В. Малев

Тамбовский государственный технический университет,
crems@crems.jesby.tstu.ru

Определение надежности и рисков компьютерных сетей связано с преодолением ряда теоретических и практических трудностей. Эти трудности обусловлены большим числом элементов сети, сложностью структуры, разнообразием нарушений в работе и их последствий, недостаточной информацией о надежности элементной базы и другими факторами.

Обычно для расчета надежности сеть представляется связным графом с множеством вершин (узлов) и дуг (связей). В случае сложной топологии сети и большого числа вершин рассчитать точные значения таких показателей надежности, как вероятность безотказной работы, средняя наработка на отказ, коэффициент готовности в связи с отмеченными трудностями не представляется возможным.

Предлагается для решения практических задач, связанных с проектированием, развитием и повышением эффективности сети, рассчитывать риски для различных состояний функционирования. Основными этапами расчета являются следующие:

1. Вводится множество \mathcal{H} состояний функционирования (МСФ) сети, в котором состояния $h \in \mathcal{H}$ различаются величиной негативных последствий (затрат), вызываемых нарушениями работы компонентов. Множество \mathcal{H} должно удовлетворять условию несовместимости, т.е. в произвольный момент времени сеть не может находиться одновременно в нескольких состояниях $h \in \mathcal{H}$.

2. Множество \mathcal{H} преобразуется в множество $\bar{\mathcal{H}} = \{h_0, H_m, H_6, h_{кр}\}$, здесь h_0 – состояние сети нормального функционирования (все элементы находятся в работоспособном состоянии); H_m – подмножество состояний с малым ущербом для сети; H_6 – подмножество состояний, пребывание в которых связано с большим ущербом; $h_{кр}$ – критическое состояние с максимальным ущербом.

3. Рассчитываются вероятности $p(h_0)$, $p(H_m)$, $p(H_6)$, $p(h_{кр})$, при этом должно выполняться условие нормировки:

$$p(h_0) + p(H_m) + p(H_6) + p(h_{кр}) = 1.$$

Расчет вероятности $p(h_0)$ выполняется по формулам последовательного и параллельного соединений в смысле надежности для структурной схемы, содержащей все элементы сети. В расчете $p(h_{кр})$ участвуют только компоненты, образующие ядро сети. Расчет $p(H_m)$ и $p(H_6)$ производится по приближенным формулам с использованием усредненных значений интенсивности отказов элементов. Для эффективной работы сети должно выполняться условие:

$$p(h_{кр}) < p(H_6) < (p(H_m) + p(h_0)).$$

4. Множествам состояний H_6 и H_m ставятся в соответствие значения затрат $(Z_6^{\min}, \bar{Z}_6, Z_6^{\max})$ и $(Z_m^{\min}, \bar{Z}_m, Z_m^{\max})$ в виде тройственных оценок (минимум, среднее значение или медиана, максимум);

5. Используя искусственное разделение вероятностей $p(H_6)$, $p(H_m)$ применительно к тройственным оценкам затрат, записывается массив значений рисков:

$$\begin{aligned} < p(h'_m), Z_m^{\min} >, < p(\bar{h}_m), \bar{Z}_m >, < p(h''_m), Z_m^{\max} >, \\ < p(h'_6), Z_6^{\min} >, < p(\bar{h}_6), \bar{Z}_6 >, \end{aligned}$$

$$\langle p(h_6''), Z_6^{\max} \rangle, \langle p(h_{кр}), Z_{кр} \rangle,$$

при этом

$$p(h_M') + p(\bar{h}_M) + p(h_M'') = p(H_M) \quad \text{и} \quad p(h_6') + p(\bar{h}_6) + p(h_6'') = p(H_6).$$

Полученные значения рисков позволяют оценить показатель Π_Z , характеризующий общие потери при эксплуатации сети в связи с отказами отдельных компонентов, т.е.

$$\Pi_Z = \sum_{i=1}^7 p_i z_i,$$

здесь $p_1 = p(h_M')$, $z_1 = z_M^{\min}$, $p_2 = p(\bar{h}_M)$, $z_2 = \bar{z}_M$, ..., $p_7 = p(h_{кр})$, $z_7 = z_{кр}$.

Анализ слагаемых показателя Π_Z дает возможность выделить компоненты сети, которые требуют модернизации для повышения ее эффективности. Например, если значительный вклад в показатель вносят слагаемые $p_7 z_7$, то следует повысить надежность ядра сети, если же наибольшее значение имеет $p_1 z_1$, то необходимо увеличить надежность периферийных компонентов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 08-07-97505.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ БАЗАМИ ДАННЫХ ORACLE

В.А. Бондаренко, Р.А. Нейдорф

Донской государственный технический университет

Базы данных (БД) получили широкое распространение во всех областях жизнедеятельности человека. Количество и объем данных постоянно растут, соответственно растет и потребность в надежных и высокопроизводительных системах управления БД – одной из таких СУБД является Oracle. Но почти все системы, в которых протекают динамические процессы, обладают большой сложностью, и СУБД Oracle не исключение. И при некорректной настройке данной СУБД могут возникать серьезные проблемы при эксплуатации информационной системы.

Настройка СУБД – это процесс, при котором нужно добиться соответствия задаче, поставленной перед системой, путем изменения ее компонентов, а также минимального времени реакции и максимальной пропускной способности системы. Настройка состоит в предоставлении системе всех необходимых ресурсов, более равномерном использовании уже имеющихся возможностей, пересмотре частей системы, а также более продуманном выполнении различных трудоемких операций с системой. Настройка в контексте управления производительностью означает максимизацию использования всех системных ресурсов для ее увеличения [1]. К направлениям настройки СУБД относятся: настройка приложения, использующего БД, путем его оптимизации, использование индексов, способов нахождения неэффективных операторов SQL в приложениях и трассировка неэффективных кодов SQL; настройка экземпляра Oracle, специфичных областей экземпляра; настройка буфера журнала обновлений и встроенного оптимизатора Oracle, настройка физических атрибутов файлов, таблиц, индексов БД; настройка параллельных запросов и уменьшение конкуренции в БД; настройка среды, т.е. объектов системы, не касающихся СУБД Oracle, но влияющих на ее производительность.

Перечисленные направления в свою очередь распадаются на составные части, каждая из которых требует детального рассмотрения и реконфигурации для повышения производительности.

Настройка приложения подразделяется на пункты, такие как организация использования внутреннего оптимизатора SQL запросов; поиск SQL запросов, излишне нагружающих систему; оптимизация выявленных "плохих" SQL запросов; организация сбора статистики по объектам БД; поиск оптимальной стратегии индексирования.

Настройка экземпляра и базы данных включает в себя подбор оптимальных размеров для блока базы данных, разделяемого пула, большого пула, буферного кэша и буфера журнала повторного выполнения, а также проектирование и конфигурирование табличных пространств базы данных.

Специализированная настройка включает в себя реализацию параллельных запросов, их мониторинг и уменьшение конкуренции доступа к объектам в базе данных.

Настройка среды состоит из настройки ввода/вывода (подбор RAID технологии, поиск оптимального размещения базы данных) и настройки операционной системы (конфигурирование памяти операционной системы, минимизация функций операционной системы – ликвидация лишних сервисов ОС).

Каждый из перечисленных пунктов характеризуется специфичным набором параметров, при реконфигурировании хотя бы одного из них изменяется состояние пункта, который в свою очередь влияет на раздел и соответственно на всю систему в целом. Таким образом, для достижения максимальной производительности системы необходимо достигнуть максимума/минимума по каждому пункту.

Как видно из всего вышесказанного, задача повышения производительности СУБД Oracle характеризуется критерием – производительностью базы данных, который в свою очередь зависит от ряда факторов, которые взаимосвязаны между собой и могут рассматриваться как подкритерии или частные критерии. Это создает определенные сложности в решении данной задачи и помимо этого еще требуется оценивать альтернативные решения с точки зрения нескольких критериев. Все это порождается несколькими причинами: множественность технических требований, предъявляемых к характеристикам системы; необходимость обеспечения оптимальности системы при различных условиях ее функционирования, т.е. система имеет сложную многокомпонентную структуру, оптимальность всей системы определяется эффективностью и качеством функционирования ее отдельных частей.

Это позволяет применить аппарат оптимизации к процессу настройки производительности. При этом необходимо построить математическую модель процесса с учетом различной важности критериев, а проводить оптимизацию позволит разработанное в соответствии с примененным методом оптимизации программное обеспечение.

1. Дональд К. Бурлесон. Использование средств автоматической настройки баз данных Oracle9i / Дональд К. Бурлесон // Oracle OpenWorld. – San Francisco, 2001.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО РИСКА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В.И. Денисенко, А.П. Дьяченко

Владимирский государственный гуманитарный университет, rector@vladgggu.ru

В настоящее время отсутствуют исследования производственного риска машиностроительных предприятий с использованием методов математического моделирования. Математическое моделирование служит инструментом оценки и прогноза рисков предприятий. Информация о динамике проявления и степени воздействия производственного риска устраняет неопределенность в выборе механизмов по его снижению и предотвращению.

Основными этапами построения модели производственного риска являются: определение структуры модели производственного риска; разработка показателей, характеризующих структуру модели; построение регрессионных моделей основных видов проявления производственного риска.

Структура модели производственного риска представлена на рис. 1.

Входные факторы модели: технические, трудовые и материальные ресурсы; выходные показатели: Y_1 – для крупносерийного производства невыполнение запланированного объема выпуска изделий (для мелкосерийного и опытного

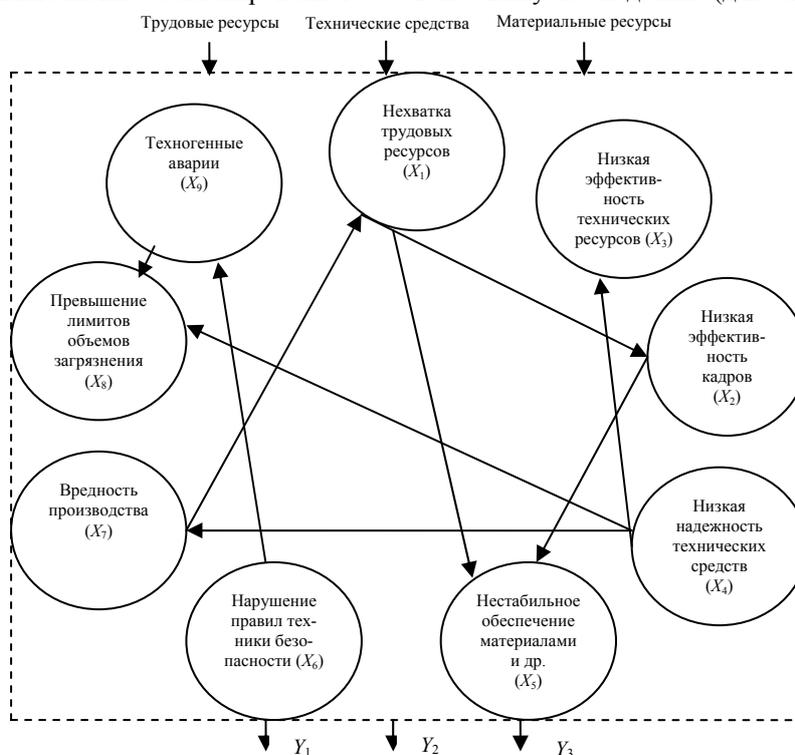


Рис. 1. Структурная схема производственного риска

производств – величина невыполнения запланированной трудоемкости изготовления изделий), шт.; Y_2 – нанесение ущерба здоровью сотрудников, непосредственно участвующих в производстве (число больничных за исследуемый период времени); Y_3 – загрязнение окружающей среды и нанесение вреда здоровью людям, не имеющим отношения к данному производству (количество случаев ухудшения здоровья людей, не имеющих отношения к данному производству). В структуру модели входят рискообразующие факторы производственного риска (X_1, X_2, \dots, X_n).

Для машиностроительного предприятия определены показатели, характеризующие рискообразующие факторы: обеспеченность трудовыми ресурсами (X_1); эффективность трудовых ресурсов (X_2); эффективность технических средств (X_3); надежность оборудования (X_4); показатель, характеризующий надежность стабильности обеспечения материалами и/или заготовками, и/или деталями, и/или комплектующими изделиями (X_5); показатель, отражающий уровень несоблюдения правил техники безопасности (X_6); показатель, отражающий уровень вредности производства (X_7); показатель уровня превышения допустимых лимитов объемов загрязнения окружающей среды (X_8); показатель, отражающий риск техногенной аварии (X_9).

На основе статистических данных за исследуемые периоды построены регрессионные уравнения с учетом взаимодействия компонентов модели, например:

$$Y_1 = A_0 + A_1X_1 + A_2X_2 + A_3X_3 + A_4X_4 + A_5X_1X_2 + A_6X_4X_3;$$

$$Y_2 = A_0 + A_1X_6 + A_2X_7; \quad Y_3 = A_0 + A_1X_8.$$

Определить вид функциональной зависимости (линейная, степенная или др.), наиболее точно отражающий связь между переменными, можно методом подбора, т.е. путем исследования динамики основных проявлений производственного риска и характеризующих их показателей за некоторые интервалы времени. Механизм построения регрессионного уравнения можно найти в [1].

Таким образом, разработанная методика построения модели производственного риска позволяет оценивать и прогнозировать динамику основных проявлений производственного риска с учетом взаимодействия рискообразующих факторов. Анализируя полученные результаты, можно выявить рискообразующие факторы, которые оказывают доминирующее влияние на уровень производственного риска.

1. Радченко, С.Г. Устойчивые методы оценивания статистических моделей : монография / С.Г. Радченко. – Киев : ПП Санспарель, 2005. – 504 с.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ ТЕЛЕФОННЫХ ЗВОНКОВ В ЛОГ-ФАЙЛАХ ЦИФРОВЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ ТЕЛЕФОННЫХ СТАНЦИЙ

В.В. Волков

Донской государственный технический университет, vitvlkv@gmail.com

Приводится постановка частной задачи распознавания образов, которая возникает при обработке данных, получаемых от цифровых автоматических телефонных станций (АТС) местных операторов телефонной связи. Обсуждаются различные подходы и алгоритм решения поставленной задачи.

Оборудование рассматриваемого оператора связи схематично представлено на рис. 1. Две АТС, "Алмаз" и "Гранит", работают синхронно, обслуживая поступающие звонки. Маршрутизатор cisco предоставляет абонентам выход в сеть Интернет, а также услуги ip-телефонии.

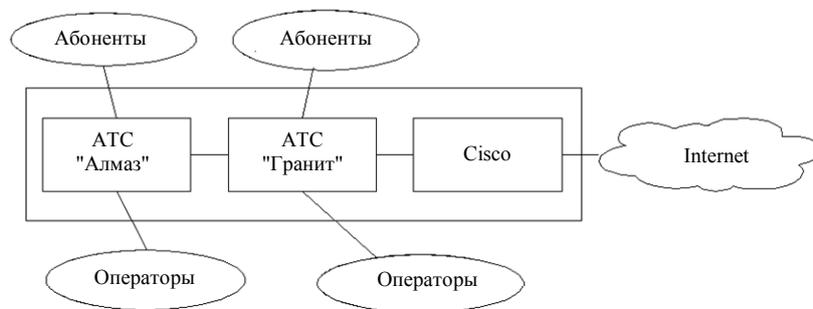


Рис. 1. Оборудование рассматриваемого оператора связи

Несмотря на то, что две разнотипные АТС работают синхронно, каждая АТС сохраняет данные о звонках в собственный лог-файл. Звонок в пределах рассматриваемого оператора может проходить по довольно сложному маршруту. Например, звонок может быть принят одной АТС, передан второй и затем отдан обратно первой, которая после этого установит соединение с абонентом или перенаправит его другому оператору. В подобных ситуациях один и тот же звонок может неоднократно повторяться в каждом логе. Однако записи, соответствующие одному и тому же звонку, не будут полностью идентичными. Чтобы избежать ошибочной повторной тарификации одних и тех же звонков, необходима предварительная обработка данных лог-файлов. Целью данной обработки является приведение исходных данных в более простую форму, однозначно описывающую все звонки, проходившие через оператора телефонной связи. Только после этого полученные данные можно будет подавать на вход биллинговой системы для проведения их тарификации.

Данная задача предварительной обработки исходных данных для биллинговой системы может быть решена с применением различных подходов.

Первый подход состоит в объединении двух логов синхронно работающих АТС в один лог-файл. Дело в том, что каждый звонок может состоять в общем случае из нескольких неодинаковых записей различных логов. Каждая запись – это один шаг по пути движения звонка в пределах оператора связи. Таким образом, каждый звонок можно рассматривать как цепочку записей, соединенных друг за другом в определенной последовательности.

Данный подход имеет своей целью не только удаление повторяющихся в логах звонков. Отдельно взятая запись иногда содержит неполную информацию о совершенном звонке, которой может оказаться недостаточно для проведения его тарификации. К примеру, может отсутствовать номер вызывающего абонента, в таком случае неизвестно, кому следует оплачивать данный вызов. Недостающая информация, как правило, содержится в других записях цепочки. Поэтому, соединив все записи в правильную последовательность, можно восстановить полную информацию о звонке.

Соединение записей в последовательности представляет собой разновидность задачи распознавания образов. Каждый звонок можно рассматривать как объект, характеризующийся следующими свойствами: дата и время начала звонка, длительность звонка, номер вызывающего абонента, номер вызываемого абонента. Записи лог-файла в идеальном случае содержат полную информацию о звонке, однако зачастую они содержат эту информацию лишь частично либо в искаженной форме. Иногда сами телефонные станции могут давать сбои, в результате которых в лог записывается уже различным образом испорченная информация. Другими словами, записи лог-файлов являются образами звонков. И задача соединения записей в последовательность является задачей распознавания из всего множества образов конкретного звонка и сортировки их в определенном порядке.

Второй предлагаемый подход основан на выделении и анализе только граничных записей лог-файлов, т.е. таких записей, которые являются последними или первыми в цепочках, составляющих отдельные звонки. Промежуточные записи, ко-

торые получаются в результате передачи звонка от одной АТС к другой, как правило, являются малоинформативными. Более того, звонок может и не дойти до оконечной вызываемой стороны, т.е. наличие промежуточной записи в логе АТС еще не означает, что соответствующий телефонный разговор состоялся. Выделяя только последние записи цепочек, нужно смотреть, содержит ли запись достаточную информацию для тарификации. Если информации не хватает, то нужно искать предыдущие записи данной цепочки до тех пор, пока необходимая информация не будет найдена. При этом совершенно не обязательно восстанавливать каждую цепочку целиком.

Для решения поставленной задачи распознавания образов нами составлен алгоритм, реализующий первый из описанных подходов. Алгоритм был реализован в виде программы, с помощью которой проведены первые эксперименты на реальных данных.

Суть алгоритма состоит в следующем. Записи, подлежащие обработке, загружаются в оперативную память и сортируются по дате и времени начала звонка. Обработка начинается с поиска первой записи цепочки. Когда такая запись найдена, среди оставшихся записей для нее ищется продолжение до тех пор, пока не будет найдена последняя запись данной цепочки. Затем выбирается первая запись следующей цепочки и алгоритм повторяется до тех пор, пока не будут обработаны все записи.

Ключевым для данного алгоритма является способ поиска для текущей записи ее продолжения. Основан он на первоначальном выделении из всех записей его подмножества, содержащего потенциальных кандидатов на продолжение. Кандидаты выбираются на основании попадания в небольшой временной интервал относительно начала звонка и совпадения информации о портах записей (служебная информация АТС). Далее к множеству кандидатов последовательно применяются различные критерии, которые удаляют заведомо неподходящие записи. Примерами критериев являются: совпадение последовательностей набора, минимальная разница во времени начала звонка и/или в длительности звонка и др. В результате остается одна искомая запись.

Исходные данные для проведения испытаний разработанной программы были предоставлены одним местным оператором телефонной связи. Данные представляли собой текстовые лог-файлы с двух синхронно работающих разнотипных АТС, содержащих в общей сложности 1 545 924 записей. Оператор имеет 318 непосредственных абонентов из своей нумерации, а также множество абонентов ip-телефонии из нумерации других операторов. Разработанный алгоритм показал следующие результаты: 541 526 звонков обработаны успешно. Не удалось успешно обработать только 291 звонок, что составляет чуть более 0,05 % от общего числа звонков. При детальном изучении ошибочных звонков оказалось, что только часть из них являются ошибками самого алгоритма, другая же часть является результатом ошибок оборудования и составить для них цепочки записей не представляется возможным.

В дальнейшем планируется реализовать алгоритм на основе второго предложенного подхода, провести эксперименты и сравнить результаты работы двух алгоритмов.

ЦИФРОВОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ УНИВЕРСАЛЬНОГО ШИРОКОПОЛОСНОГО БЕСПРОВОДНОГО ДОСТУПА

В.В. Киселёв, М.С. Светлов

Саратовский государственный технический университет, tki@sstu.ru

Передача телевизионных программ по технологии IP-телевидения (IPTV), широко распространенной в локальных сетях и глобальной сети Интернет, основана на применении в качестве транспорта группы протоколов TCP/IP, поверх которых инкапсулируются MPEG-потоки видеоизображения. Технология IPTV предъявляет довольно высокие требования к пропускной способности транспортной сети и до недавнего времени могла существовать лишь в рамках ассиметричных цифровых абонентских линий. Однако с появлением широкополосного беспроводного доступа Broadband Wireless Access стандарта IEEE 802.16 (WiMAX) ситуация резко изменилась, ибо теперь IPTV может стать дешевой альтернативой цифровому телевидению стандарта DVB-T. Итак, WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) – это телекоммуникационная технология, разработанная с целью предоставления универсальной беспроводной связи на больших расстояниях для широкого спектра устройств (от рабочих станций и портативных компьютеров до мобильных телефонов). WiMAX позволяет осуществлять доступ в Интернет на высоких скоростях. Это позволяет использовать технологию в качестве "магистральных каналов", продолжением которых выступают традиционные цифровые абонентские линии, а также локальные беспроводные сети. В результате подобный подход позволяет создавать высокоскоростные сети масштабов целых городов. Беспроводные технологии более просты в использовании, чем традиционные проводные каналы. WiMAX сети проще в развертывании и по мере необходимости легко масштабируемы. Этот фактор оказывается очень полезным, когда необходимо развернуть большую сеть в кратчайшие сроки. Структура сетей семейства стандартов IEEE 802.16 схожа с традиционными сотовыми GSM сетями (базовые станции действуют на расстояниях до десятков километров, для их установки не обязательно строить вышки – допускается установка на крышах домов при соблюдении прямой видимости между станциями). Поэтому сети WiMAX идеально подходят в качестве транспортной инфраструктуры технологии IPTV, что уже сегодня позволяет реализовать технологию эфирного IPTV с сотовой структурой.

Необходимо обратить внимание на то, что между сетью телевизионного вещания по стандарту DVB-T и IPTV на базе WiMAX имеется много общего:

- Технология IPTV базируется на транспортном IP уровне передачи данных, на котором в IP пакеты данных инкапсулируется видеоряд. Уровень приложений в IPTV представлен процедурами Media Concentrator and Streaming, на котором контент преобразуется в цифровой формат, например MPEG или H.264. Транспортный уровень передачи данных обеспечивается стандартной IP сетью, которая не зависит от способа реализации физического и канального уровня сети передачи. В случае эфирного IPTV физический и канальный уровень реализуются беспроводной сетью WiMAX.

- Технология DVB-T так же, как и WiMAX, использует на физическом уровне широкополосное ортогональное частотное мультиплексирование радиосигнала с 16- или 64-уровневой квадратурно-амплитудной модуляцией. На канальном уровне DVB-T использует метод мультиплексирования каналов при множественном доступе на основе кодированного ортогонального частотного разделения каналов, который технологически близок аналогичным методам мультиплексирования на

базе множественного доступа с разделением по времени для фиксированного WiMAX стандарта IEEE 802.16-2004 и масштабируемый множественный доступ посредством ортогональных несущих для мобильного WiMAX стандарта IEEE 802.16e.

– Технологии IPTV и DVB-T имеют схожие методы преобразования контента в цифровые форматы на уровне приложений.

Принципиальным отличием этих технологий является отсутствие в DVB-T транспортного уровня IP и использование вместо него специализированного протокола передачи цифровых форматов видео в контейнерах Digital Video Broadcasting. В IPTV для передачи видео используются стандартные IP пакеты данных. Очевидно, что передача видео в специализированных контейнерах DVB более эффективна, нежели передача видео в универсальных IP пакетах. Однако при предоставлении услуг передачи данных, в том числе доступа в Интернет на базе DVB, необходимо уже IP пакеты данных упаковывать в контейнеры DVB и организовывать обратный IP канал передачи данных, что является значительно менее эффективной и ресурсоемкой и, как следствие, дорогой операцией по сравнению с технологией упаковки видео в IP пакеты. Однако главное преимущество IPTV – это независимость уровня приложений от физического и канального уровней, что обеспечивается стандартным транспортным IP протоколом. Тем самым технология IPTV может использовать в качестве транспорта любую удовлетворяющую определенным требованиям сеть передачи IP данных, в том числе сеть WiMAX. На сегодняшний день WiMAX является самой эффективной беспроводной сетью передачи данных, что позволяет IPTV, базирующейся на WiMAX, иметь соответствующие конкурентные преимущества перед DVB-T, более того, сеть WiMAX изначально строится по сотовому принципу, что способствует покрытию услугой больших территорий. При этом, несмотря на относительно низкую мощность передатчиков базовых станций WiMAX (до 4 Вт), сотовый принцип размещения базовых станций WiMAX сети обеспечивает устойчивую работу абонентов услуги IPTV на обширных территориях. Как известно, сотовый принцип размещения базовых станций также применяется в сетях мобильной связи, поэтому услуга IPTV, построенной на базе мобильной сети WiMAX, также становится мобильной.

Особое внимание следует обратить на то, что реализация цифрового телевидения DVB-T требует выделения операторам соответствующего частотного спектра, и на сегодняшний день эта задача в полном объеме пока не решена. Напротив, частоты в диапазонах 3,5 и 5,4 ГГц под технологию WiMAX уже выделены, и сегодня такие сети уже строятся и активно функционируют, в частности сотовый оператор МегаФон построил такую сеть на оборудовании производства компании Proxim.

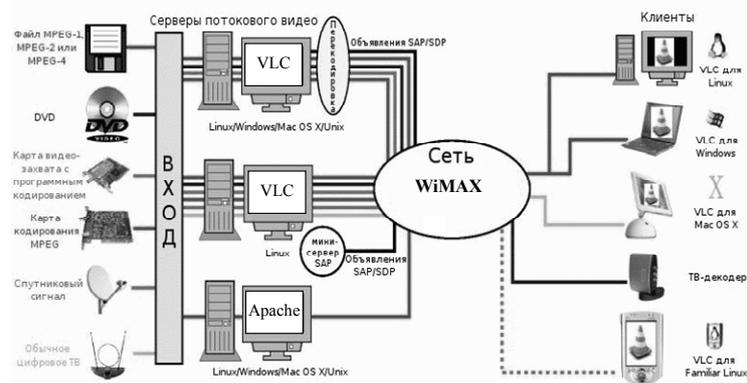


Рис. 1. Принципиальная схема IPTV на базе WiMAX с применением ПО VLS и VLC

На рис. 1 принципиально представлена возможная реализация эфирного IPTV на базе WiMAX с использованием существующего бесплатного и открытого многоплатформенного программного обеспечения VideoLAN Server (VLS) и VideoLAN Client (VLC). Преимущество предлагаемой реализации состоит в том, что все операции по обслуживанию сети со стороны провайдера контента ложатся на компьютеры с соответствующим программным обеспечением и максимально автоматизируются и универсализируются, причем доля аппаратных средств минимальна, и, как следствие, налицо дешевизна решения.

Итак, можно ли услугу эфирного IPTV назвать в ближайшее время цифровым эфирным телевидением, будет зависеть от того, какая технология цифрового телевидения (стандарта DVB-T или IPTV на основе использования сети WiMAX) будет более востребована рынком. Если использование IP инфраструктуры станет не только самым эффективным способом доставки видео и данных, но и будет признана рынком, то IPTV на базе сетей широкополосного беспроводного доступа WiMAX станет очень скоро доминировать в беспроводной фиксированной и мобильной связи.

КОМПЛЕКСНЫЙ ВЕКТОРНЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НАВИГАЦИИ И ОРИЕНТАЦИИ

Г.М. Проскуряков, Р.С. Пальков

Саратовский государственный технический университет

Последние годы ознаменовались массовым внедрением в различные отрасли практической деятельности человека индивидуальных средств навигации и ориентации. Можно назвать множество областей практической деятельности человека, в которых необходимо использовать индивидуальные средства навигации и ориентации (геофизика, геологическая и военная разведка, строительство и мониторинг дорог, путешествия, альпинизм, охота, рыболовство, отдых на природе и пр.).

В настоящее время в нашей стране, как и во всем мире, для решения задач индивидуальной навигации в указанных областях используются приемники спутниковых навигационных систем (СНС-приемники). В основном на практике нашли применение GPS-приемники американского производства. Отечественные ГЛОНАСС-приемники пока не внедрены в широкую практику и по техническим характеристикам немного уступают GPS-приемникам.

С другой стороны, всем современным СНС-приемникам присущи существенные недостатки: зависимость работы СНС-приемников от условий прямой радиовидимости навигационных спутников (НС), от условий формирования рациональной

конфигурации СНС, от рельефа местности и наличия наземных объектов и пр.; отсутствие автономности работы СНС-приемников (их работа жестко связана с работой всей СНС); относительная дороговизна всей системы СНС-приемников и СНС; отсутствие возможности в настоящее время выполнения СНС-приемниками функций решения задачи ориентации.

Для устранения отмеченных недостатков нами предлагается разработать и внедрить в широкую практику альтернативное техническое решение – автономный навигатор (АН). АН совершенно не связан с работой СНС, работает в автономном режиме, используя информацию, получаемую от датчиков тахометрической $\vec{\Omega}$, гравиметрической \vec{g} , магнитометрической \vec{T} информации, встроенных в конструкцию навигатора.

Нами разработано математическое, алгоритмическое и техническое обеспечение для разработки конструкции АН. В основу разработки предлагаемого комплексного (тахо-грави-магнитометрического) векторного ($\vec{\Omega} - \vec{g} - \vec{T}$) метода решения задач навигации и ориентации положены три условия: условие неповторяемости аффинного трехгранника $\vec{\Omega} - \vec{g} - \vec{T}$ для любых двух точек околоземного пространства, условие невырождаемости аффинного трехгранника $\vec{\Omega} - \vec{g} - \vec{T}$ практически для всех точек околоземного пространства, кроме особых точек (географических и магнитных полюсов), условие возможности решения задачи ориентации по информации о двух неколлинеарных векторах геофизических полей.

Математическое обеспечение разработки комплексного векторного метода основано на формировании векторно-матричных уравнений, связывающих между собой информацию о векторе напряженности \vec{g} гравиметрического поля Земли, о векторе угловой скорости $\vec{\Omega}$ собственного вращения Земли (торсионного поля Земли) и о векторе напряженности \vec{T} магнитного поля Земли, с одной стороны, и информацию о навигационных параметрах – географических координатах (r, φ, λ) и углах ориентации $(\psi, \vartheta, \gamma)$, с другой стороны.

Алгоритмическое обеспечение разработки комплексного векторного метода основано на решении сформированных векторно-матричных уравнений навигации и ориентации относительно оценок координат местоположения АН $(\bar{r}, \bar{\varphi}, \bar{\lambda})$ и оценок углов его ориентации $(\bar{\psi}, \bar{\vartheta}, \bar{\gamma})$.

Для повышения точности решения навигационной задачи необходимо учитывать различную модель Земли (ГОСТ Р51794–2001):

Земля – сфероид (шар), Земля – эллипсоид вращения, Земля – референц-эллипсоид.

С целью повышения надежности и точности решения задачи ориентации и обеспечения отказоустойчивости АН предусмотрено использование принципа структурной и функциональной избыточности информации. Для этого разработаны четыре типа алгоритмов ориентации, работающих в АН параллельно: А1 (трехвекторный $(g - \Omega - T)$ -алгоритм), А2 (двухвекторный $(g - \Omega)$ -алгоритм), А3 (двухвекторный $(g - T)$ -алгоритм), А4 (двухвекторный $(\Omega - T)$ -алгоритм).

Все эти алгоритмы имеют компоненты, связанные с вычислением направляющих косинусов a_{ij} ($i, j = 1, 2, 3$) ориентации АН и выражаемые в векторно-матричном виде в следующей обобщенной форме:

$$[a_{i1}, a_{i2}, a_{i3}]^T = A_j^{-1}[\Omega_i, g_i, T_i]^T, \quad i = \overline{1, 3},$$

где Ω_i, g_i, T_i – проекции векторов на i -ю ось связанной системы координат XYZ ; A_j^{-1} – обратная матрица j -го алгоритма ($A_j; j = \overline{1, 4}$); T – символ транспонирования.

Проекции Ω_i, g_i, T_i ($i = \overline{1, 3}$) и элементы матрицы A_j ($j = \overline{1, 4}$) формируются на основе показаний блоков тахометров $\vec{\Omega}$, гравиметров \vec{g} и магнитометров \vec{T} . По вычисленным направляющим косинусам a_{ij} определяются оценки эйлеровых углов ориентации $(\bar{\psi}, \bar{\vartheta}, \bar{\gamma})$.

С учетом достижимых в данное время точностей тахометрических ($\Delta\Omega \geq 0,1$ град/ч), гравиметрических ($\Delta g \geq 10^{-6}g$) и магнитометрических ($\Delta T \geq 80$ мкГс) измерений в соответствии с разработанными алгоритмами оценены на основе функций чувствительностей величины максимально достижимых погрешностей определения оценок навигационных параметров ($\Delta r_{\max} = 15$ м; $\Delta \lambda_{\max} = 0,5^\circ$; $\Delta \varphi_{\max} = 0,5^\circ$) и эйлеровых углов ориентации ($\Delta \psi_{\max} = 1^\circ$; $\Delta \vartheta_{\max} = 0,7^\circ$; $\Delta \gamma_{\max} = 0,6^\circ$).

Математическое моделирование решения задач навигации и ориентации на основе использования разработанных алгоритмов показало, что погрешности определения навигационных параметров и углов ориентации в реальных условиях не превышают указанных выше величин.

Техническое обеспечение разработки АН на основе использования разработанных алгоритмов показало, что АН может быть реализован в настоящее время на основе применения современных датчиков (для измерения $\vec{\Omega}$ – волоконно-оптические гироскопы; для измерения \vec{g} – маятниковые гравиметры, для измерения \vec{T} – феррозондные магнитометры).

Автономный навигатор может стать достойным альтернативным конкурентом для СНС-приемников.

ГЕОМАГНИТНЫЙ МЕТОД ПРОСТРАНСТВЕННОЙ НАВИГАЦИИ И ОРИЕНТАЦИИ

Г.М. Проскураков, А.Ю. Савельев

Саратовский государственный технический университет, КБПА, savand@bk.ru

Давно известна попытка человека использовать информацию о геофизических полях, окружающих нашу планету, для решения задач навигации и ориентации. При этом использовалась: гравиметрическая информация о напряженности \vec{g} гра-

витационного поля Земли (ГПЗ), тахеометрическая информация об угловой скорости вращения планеты $\bar{\Omega}$ (торсионное поле Земли – ТПЗ), магнитометрическая информация о напряженности \bar{T} магнитного поля Земли (МПЗ).

К настоящему времени среди специалистов сложилось такое стереотипное представление о том, что информацию о геофизических полях целесообразно использовать для достижения следующих целей: горизонтирования основания (по гравиметрической информации \bar{g}), компасирования основания (по тахеометрической информации $\bar{\Omega}$), выполнения азимутальной коррекции курсоуказывающих средств и получения информации о магнитном курсе ψ_m (по магнитометрической информации \bar{T}).

Такой подход к практическому использованию информационных свойств геофизических полей свидетельствует о недооценке этих свойств и об ограниченных практических возможностях использования этих свойств при решении задач навигации и ориентации.

Следует отметить, что МПЗ является более информативным полем, чем ГПЗ и ТПЗ. Это связано с тем, что ГПЗ в первом приближении обладает свойством центральной симметрии, а ТПЗ является однородным полем. В отличие от ГПЗ и ТПЗ геомагнитное поле является неоднородным, обладающим в первом приближении осью магнитной симметрии, повернутой относительно оси собственного вращения Земли ($\bar{\Omega}$) на угол $\chi \approx 11,5^\circ$. Эти геометрические свойства МПЗ обеспечивают такие условия формирования в каждой точке пространства его вектора напряженности, заданного в нормальной земной системе координат $X_g Y_g Z_g$, при которых в околосферном пространстве не найдется ни одной пары точек, в которых бы вектор

$\bar{T} = [T_{xg} \ T_{yg} \ T_{zg}]^T$ полностью повторялся (проблема единственности).

В связи с этим можно предполагать, что на основании показаний трехкомпонентного блока магнитометров в каждой точке околосферного пространства нам задан ортогональный трехгранник $T_{xg} - T_{yg} - T_{zg}$, принимаемый за базис для дальнейшего решения задач навигации и ориентации магнитометрическим методом.

МПЗ, обладая свойством высокой информативности, вместе с тем отличается сильной зашумленностью, обусловленной влиянием ряда факторов, приводящих к формированию соответствующих погрешностей (методических и случайных). Для исключения степени влияния различных факторов на точность решения прикладных задач геофизики, магниторазведки, ориентации, навигации и др. во многих странах принята модель МПЗ, характеризующая представлением геомагнитного потенциала в виде его разложения по сферическим функциям (ряда К. Гаусса). Полученная при этом модель аналитического поля МПЗ (IGRF – International Geomagnetic Reference Field) имеет вид

$$U = R \sum_{n=1}^{\infty} (R/r)^{n+1} \sum_{m=0}^n (g_n^m \cos m\lambda + h_n^m \sin m\lambda) P_n^m(\sin \varphi), \quad (1)$$

где R – радиус Земли, $R = 6\,371\,110$ м; r – модуль радиус-вектора точки в пространстве; φ, λ – сферические координаты точки (географические широта и долгота); $P_n^m(\sin \varphi)$ – присоединенные функции Лежандра n -й степени порядка m ; g_n^m, h_n^m – коэффициенты Гаусса – Шмидта.

На основе метода гармонического анализа геомагнитного потенциала U разработан целый ряд аналитических моделей нормального МПЗ, обеспечивающих достаточно высокую точность описания геомагнитного поля (МАП-80, Magsat-80, POGO-2/72, IGRF-275, AWC-75, JGS-75, WC-80 и др). Эти модели уточнены на основе спутниковой магнитометрии, проведенной на ИСЗ Magsat, Oersted, CHAMP, SAC/C (Oersted-2), на которых установлены трехкомпонентные феррозондовые магнитометры и модульные ОВН-магнитометры.

Связь между вектором напряженности МПЗ \bar{T} , регистрируемого с помощью трехкомпонентного блока магнитометров в связанных осях XYZ , и вектором напряженности МПЗ $\bar{T}_{МПЗ}$, заданного в нормальной системе координат $X_g Y_g Z_g$, определяется уравнением Пуассона:

$$\bar{T} = (S + E)A\bar{T}_{МПЗ} + \bar{T}_{МПО}^{\Pi}, \quad (2)$$

где $\bar{T}_{МПО}^{\Pi}$ – постоянная составляющая вектора напряженности магнитного поля объекта (МПО); A, E, S – матрица ориентации, единичная матрица и матрица коэффициентов индуктивной составляющей МПО.

Для решения задач ориентации и навигации магнитометрическим методом решается задача идентификации МПО (определение $S, \bar{T}_{МПО}^{\Pi}$) в соответствии с методикой и технологией, изложенными в патентах РФ № 1633930, № 1777451, № 1822248.

С другой стороны, компоненты вектора $\bar{T}_{МПЗ}$ на основе использования аналитической модели IGRF могут быть представлены в следующем виде:

$$\begin{aligned} T_{xg}^H &= \sum_{n=1}^{\infty} (R/r)^{n+2} \sum_{m=0}^n (g_n^m \cos m\lambda + h_n^m \sin m\lambda) dP_n^m(\sin \varphi) / dt; \\ T_{yg}^H &= \sum_{n=1}^{\infty} (R/r)^{n+2} \sum_{m=0}^n (g_n^m \sin m\lambda - h_n^m \cos m\lambda) P_n^m(\sin \varphi) / \cos \varphi; \\ T_{zg}^H &= -\sum_{n=1}^{\infty} (n+1)(R/r)^{n+2} \sum_{m=0}^n (g_n^m \cos m\lambda + h_n^m \sin m\lambda) P_n^m(\sin \varphi). \end{aligned} \quad (3)$$

На основании выражений (3) нами разработаны алгоритмы решения задач навигации и ориентации магнитометрическим методом применительно к разработке автономного навигатора АН (альтернативного технического решения для спутникового навигатора). Эти алгоритмы представляют собой рекуррентные соотношения, обеспечивающие определение координат местоположения АН методом последовательных приближений и предполагают реализацию принципа структурной и функциональной избыточности информации. Проведенное математическое моделирование показало эффективность и работоспособность разработанных алгоритмов.

К ВОПРОСУ О ДЕМПФИРОВАНИИ КОЛЕБАНИЙ ШУЛЕРА В ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

С.Г. Наумов

Саратовский государственный технический университет, mozg2277@inbox.ru

В инерциальных навигационных системах (ИНС), применяемых в настоящее время в составе навигационных комплексов, для демпфирования колебаний с периодами Шулера в целях сохранения невозмущаемости ИНС при маневрировании объекта используется информация от неинерциальных источников. Внешняя информация может быть полезна не только для уменьшения (или даже уничтожения) возмущений инерциальной системы, получающихся при введении в нее демпфирования, но может служить и для сокращения периода невозмущаемых колебаний системы. Наличие внешней информации дает возможность демпфировать колебания в инерциальной системе без введения в нее возмущения и сокращать период собственных колебаний системы, не нарушая свойство невозмущаемости.

Благодаря последнему обстоятельству даже временное использование внешней информации может оказаться весьма полезным, так как за сравнительно короткий промежуток времени можно осуществить демпфирование колебаний, обусловленных начальными ошибками системы.

Нами рассматривается вопрос демпфирования колебаний Шулера одной разновидности бесплатформенной ИНС [1] в кватернионных алгоритмах с использованием информации со спутниковой навигационной системы GPS. В этом случае совместная обработка сигналов этих измерительных систем производится с помощью фильтра Калмана [2]. Для этого модель объекта наблюдения представлена в виде: $\dot{x} = Ax + GW$, где A – матрица объекта; G – матрица входных шумов; W – вектор нормированных случайных воздействий, представляющих собой процессы типа "белый" шум; x – вектор состояния следующего вида:

$$x = [\alpha, \beta, \chi, \Delta V_{\eta 1}, \Delta V_{\eta 2}, \Delta V_{\eta 3}, \Delta \varphi, \Delta \omega_{x1}, \Delta \omega_{x2}, \Delta \omega_{x3}, \Delta W_{x1}, \Delta W_{x2}, \Delta W_{x3}]^T;$$

α, β, χ – ошибки определения моделируемой в бортовом компьютере горизонтной системы координат; $\Delta V_{\eta 1}, \Delta V_{\eta 2}, \Delta V_{\eta 3}$ – ошибка определения ИНС скоростей объекта; $\Delta \varphi$ – ошибка определения широты; $\Delta \omega_{x1}, \Delta \omega_{x2}, \Delta \omega_{x3}$ – погрешности гироскопов; $\Delta W_{x1}, \Delta W_{x2}, \Delta W_{x3}$ – погрешности акселерометров.

Применяя процедуру оптимальной фильтрации Калмана, получим следующие выражения, записанные в матричной форме:

$$x = Ax + K(y - Cx), \quad y = Cx + R, \quad y = [\Delta V_{\eta 1}, \Delta V_{\eta 2}, \Delta V_{\eta 3}, \Delta \varphi]^T,$$

$$K = PC^T R^{-1}, \quad \dot{P} = AP + PA^T - PC^T R^{-1} CP + GQG^T,$$

где y – вектор измерения (с использованием данных GPS); C – матрица перехода вектора состояния x в вектор измерения y ; V – вектор измерительных шумов; R – ковариационная матрица.

Исследование данной комплексированной системы проводилось с помощью математического моделирования. Для сравнения здесь приведены два случая: автономная работа бесплатформенной ИНС в кватернионных алгоритмах и комплексированной бесплатформенной ИНС-GPS с использованием метода инвариантных оценок. Параметры моделирования: длительность работы – 7000 с, начальная широта $51,5^\circ$, долгота $45,9^\circ$, интегрирование – метод Адамса четвертого порядка, шаг 0,05 с, поступательное движение объекта на поверхности Земли: действие ускорения в северном направлении величиной 1 м/с^2 в течение времени 1500 – 1520 с, а затем движение с постоянной скоростью 20 м/с до конца моделирования, действие ускорения в восточном направлении величиной 1 м/с^2 в течение времени 2500 – 2520 с, а затем движение с постоянной скоростью 20 м/с до конца моделирования, качка объекта по трем осям с параметрами: амплитуда качки 0,1 рад, частота качки 0,2π, 0,1π, 0,04π рад/с по осям рыскания, тангажа и крена, соответственно, в течение времени 1000 – 7200 с. Параметры датчиков выбраны следующие: для гироскопов – дрейф 0,6 °/ч, шум 0,3 °/ч; для акселерометров – сдвиг нуля $2 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^2$, шум $4 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$. Сигналы GPS приближены к идеальным.

На рис. 1, 2 представлены графики моделирования работы двух систем. $\Delta \psi, \Delta \theta, \Delta \gamma$ – погрешности определения рыскания, тангажа, крена, соответственно. $\Delta X_{\zeta 1}, \Delta X_{\zeta 2}, \Delta X_{\zeta 3}$ – погрешности определения северной, вертикальной и восточной координат.

Использование данных GPS существенно повышает точность бесплатформенной ИНС. Углы ориентации определяются в 10 – 100 раз точнее, координаты в $10^5 - 2 \cdot 10^5$ раз. Из графиков работы бесплатформенной ИНС в кватернионных алгоритмах видны колебания с периодом Шулера – 84,4 мин. В комплексированной системе эти колебания также присутствуют, но со значительно меньшей амплитудой. Таким образом, с использованием GPS удается значительно демпфировать колебания Шулера.

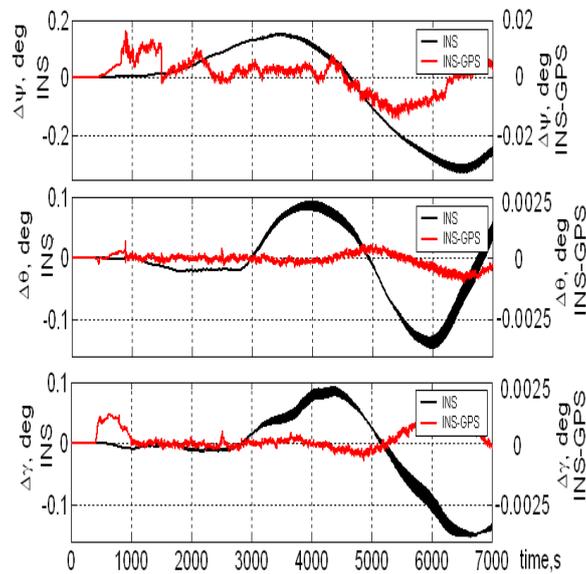


Рис. 1. Погрешности определения углов ориентации в автономном режиме и с использованием фильтра Калмана

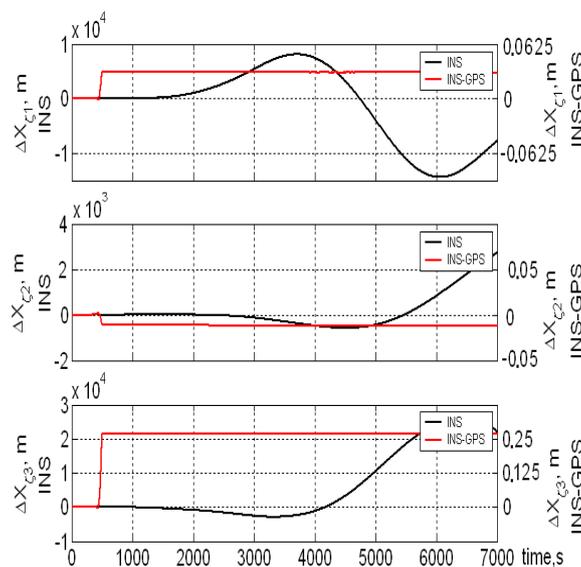


Рис. 2. Погрешности определения координат в автономном режиме и с использованием фильтра Калмана

1. Плотников, П.К. Элементы теории работы одной разновидности бесплатформенных инерциальных систем ориентации / П.К. Плотников // Гироскопия и навигация. – 1999. – № 3 (26). – С. 23 – 35.

2. Анучин, О.Н. Интегрированные системы ориентации и навигации для морских подвижных объектов / О.Н. Анучин, Г.И. Емельянцев. – СПб. : ГНЦ РФ – ЦНИИ "Электроприбор", 2003.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ GPS-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ ПЛАНА ПАРКОВОГО МАССИВА

В.Д. Краснов

Мичуринский государственный аграрный университет

На современном этапе развития аэрокосмических средств появилась возможность их использования для создания планов местности и проектирования садово-парковых объектов.

Наибольшее распространение при кадастровом картографировании получило комплексное использование GPS-приемников и электронных тахеометров. Принцип действия спутниковой GPS навигации основан на определении расстояния от текущего положения до группы спутников. Точное местоположение GPS спутников известно из данных эфемерид и альманаха, передаваемых в навигационных сообщениях. Зная расстояние до трех спутников, можно определить текущее местоположение, как точку пересечения трех окружностей. Расстояние до спутников R определяется простым уравнением $R = tc$, где t – время распространения радиосигнала от спутника до наблюдателя; c – постоянная величина, равная скорости света. Соответственно, зная время, за которое сигнал дошел от спутника до GPS-приемника, и умножив ее на скорость света, можно определить расстояние.

Используя GPS-технологии, был составлен план местности лесопарка с Ново-Никольское Мичуринского района.

Первый этап в создании плана – сбор исходной информации, касающейся лесопарка. Для этого понадобится растровая карта данной местности, чтобы иметь представление о площади, границах объекта, прилегающих к нему жилых застройках и основных маршрутах дорожно-тропиночной сети. У таких карт имеется ряд недостатков; большие искажения и неточности

по сравнению с реальными объектами, поэтому необходимы спутниковые снимки данной местности, которые показывают реальную ситуацию на данном объекте. Для этого использовалась программа Google Планета Земля. Эта программа позволяет просматривать аэрофотоснимки и спутниковые фотографии высокого разрешения. Далее одним из самых достоверных источников являются треки, которые записываются непосредственно на местности. С помощью GPS-приемника отмечается начальная точка и начинается движение по дорожно-тропиночной сети лесопарка с пометками на нем координат основных путевых точек, обозначающих важные места лесопарка. К ним относятся пересечение дорог, поляны, границы участка. Каждая путевая точка имеет свои координаты (широта, долгота), кроме того известна ее высота относительно уровня моря, впоследствии это пригодится для построения плана рельефа местности.

Полученные значения отмечаются на координатной сетке. Далее все получившиеся точки соединяются линиями таким образом, чтобы обрисовывался контур будущего плана. Для определения расстояния между двумя соседними точками используется метод расчета сферического расстояния большого круга:

$$\Delta\sigma = \arctan \left\{ \frac{\sqrt{[\cos\phi_2 \sin\Delta\lambda]^2 + [\cos\phi_1 \sin\phi_2 - \sin\phi_1 \cos\phi_2 \cos\Delta\lambda]^2}}{\sin\phi_1 \sin\phi_2 + \cos\phi_1 \cos\phi_2 \cos\Delta\lambda} \right\},$$

где ϕ_1, ϕ_2 – широта и долгота двух точек в радианах; $\Delta\lambda$ – разница координат по долготе; $\Delta\sigma$ – угловая разница.

Для перевода углового расстояния в метрическое нужно угловую разницу $\Delta\sigma$ умножить на радиус Земли (6 372 795 м), единицы конечного расстояния будут равны единицам, в которых выражен радиус (в данном случае – метры). Зная расстояние между двумя соседними точками, рассчитывается масштаб плана.

На этом примере можно убедиться в том, что с помощью GPS-технологий значительно увеличивается производительность труда по картографированию местности. При этом можно достичь сантиметрового уровня точности определения координат гораздо быстрее, чем при использовании традиционных геодезических инструментов. GPS позволяет вести геодезические работы круглосуточно, в любую погоду, а также при отсутствии прямой видимости между точками.

ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В СЛАБО-ДИССИПАТИВНОЙ ТЕОРИИ КОЛМОГОРОВА – АРНОЛЬДА – МОЗЕРА

Р.И. Богданов, М.Р. Богданов

Московский государственный университет инженерной экологии,
НИИ ЯФ МГУ, bogdanov@bogdan.sinp.msu.ru

Сочетание свойств стохастических и регулярных режимов кинетики на сегодня является актуальной задачей, восходящей к основополагающим работам Л. Больцмана. Появление классической теории Колмогорова – Арнольда – Мозера (КАМ) и последующие исследования привели к излагаемой ниже новой модели, которая является наиболее изученным примером слабо-диссипативной теории КАМ. Одним из основных достоинств этой теории является более естественное по сравнению с Гамильтоновым формализмом определение температуры, давления, чисел Рейнольдса, коэффициентов теплоемкости и теплопроводности. По сравнению с классическими моделями здесь появляется возможность изучения переходных нестационарных процессов, связанных с механизмами самоорганизации квазиравновесных состояний динамики в среде и мелко масштабных турбулентных течениях жидкости или газа [1].

Ранее в [2] на основе бифуркации Богданова – Такенса рассмотрена следующая дискретная динамическая система на плоскости:

$$x_{n+1} = x_n + y_{n+1}, \quad y_{n+1} = y_n + F(x_n, y_n), \quad (1)$$

где $F(x_n, y_n) = kx_n(x_n - 1) + (\varepsilon + \mu x_n)y_n$.

Упоминание бифуркации Богданова – Такенса связано с универсальностью динамической системы на прямой в непрерывном времени:

$$m\ddot{x} = -\partial u / \partial x + f(x)\dot{x}, \quad (2)$$

где потенциальные силы даются ангармоническим потенциалом $U(x) = \varepsilon x + x^3 / 3$, а коэффициент "трения" выбирается в виде $f(x) = \mu \pm x$ (переход к фазовой плоскости (x, \dot{x}) приводит к обозначению $y = \dot{x}$).

"Универсальность" систем означает, что в окрестности точки $x = \dot{x} = 0$ можно отбросить в (2) высокие по степени слабые в ряду Тейлора, не меняя качественно фазовых портретов динамических систем семейства.

Важно, что (2) имеет прозрачный физический смысл, будучи уравнением Ньютона на прямой, причем, система (1) отвечает уравнению (2) при дискретизации (2) по полуявной схеме 1-го порядка Эйлера (в конечной разности при дискретизации фазовой переменной x содержится скорость y_{n+1} , т.е. последующем узле дискретизации, см. (2)). Физический смысл (2) и его связь с (1) позволяют продвигаться в изучении свойств модели (1) в приложении к транспорту частиц в сплошной среде. Уравнение (2) можно интерпретировать как одномерную динамику пробной частицы (а также их ансамблей). Дополнительные возможности представляет интерпретация x в качестве полярного радиуса в цилиндрической системе координат или сферического радиуса в сферической системе координат.

Модель (1) позволяет оценить численно две важные характеристики динамики – коэффициенты теплопроводности и теплоемкости ансамбля частиц. Как известно, коэффициент трения пропорционален коэффициенту теплопроводности газовой среды. Для периодических орбит типа "in" или "out" речь идет о соответствующих ансамблях частиц, отвечающих квазиравновесному состоянию, определяемому периодической орбитой. В качестве оценки коэффициента теплопроводности мы используем средний коэффициент трения вдоль периодической орбиты. С учетом термодинамических идей о процессах сжатия (состояние "out") или расширения (состояние "in") средний коэффициент вязкости мы показываем отрицательной величиной (для состояний "in") и положительной (для состояний "out").

На рис. 1 для периодических орбит динамической системы (1) (вычисленных на ЭВМ в количестве ~ 1000 орбит) точками для каждой орбиты показаны зависимости коэффициента теплопроводности и указанных на рисунках величин.

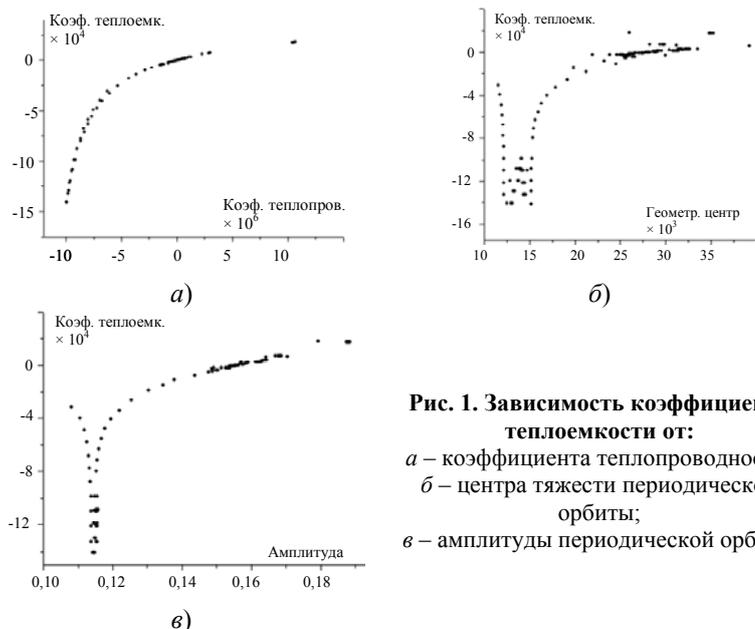


Рис. 1. Зависимость коэффициента теплоемкости от:
 а – коэффициента теплопроводности;
 б – центра тяжести периодической орбиты;
 в – амплитуды периодической орбиты

1. Фриш, У. Турбулентность. Наследие А.Н. Колмогорова / У. Фриш. – М. : ФАЗИС, 1998. – XIV. – 346 с.
 2. Arrowsmith, D.K. The Bogdanov-map: bifurcations, mode locking, and chaos in a dissipative system / D.K. Arrowsmith et al. // International Journal of Bifurcation and Chaos. – 1993. – V. 3, № 4. – P. 803 – 842.

АСИМПТОТИКА РЕШЕНИЙ ВЫРОЖДАЮЩИХСЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ВТОРОГО ПОРЯДКА

В.П. Архипов, С.А. Чопчиян

Старооскольский технологический институт

Исследование решений линейных дифференциальных уравнений вблизи "особых" точек проводились в [1] и [2], где рассмотрены условия разрешимости и гладкости решений для вырождающегося линейного дифференциального уравнения второго порядка вблизи точек, в которых коэффициент при старшей производной обращается в нуль. Однако точное поведение решений около таких точек исследовано не было. В настоящей работе устанавливаются асимптотические формулы для решений вырождающегося дифференциального уравнения второго порядка вблизи точки вырождения.

Рассмотрим обыкновенное дифференциальное уравнение

$$(a(t)u'(t))' + b(t)u'(t) + c(t)u(t) = f(t), \quad t \in [0; d], \quad a(0) = 0, \quad b(0) \neq 0, \quad (1)$$

где коэффициенты и $f(t)$ – бесконечно дифференцируемые функции и $a(t) > 0$ при $t \in (0, d]$.

Выбрав достаточно малое $\delta > 0$, определим на отрезке $[0; \delta]$ $\alpha(t) = \sqrt{b^2(t) - 4a(t)c(t)} > 0,5|b_0|$ и функции

$$v_1(t) = \alpha^{-1/2}(t) \exp \left\{ \int_t^\delta \frac{b(\tau) + \alpha(\tau)}{2a(\tau)} d\tau \right\};$$

$$v_2(t) = \alpha^{-1/2}(t) \exp \left\{ \int_t^\delta \frac{b(\tau) - \alpha(\tau)}{2a(\tau)} d\tau \right\}.$$

(2)

Рассмотрим вспомогательные интегральные уравнения $\Phi(t) = 1 + K_1\Phi(t)$ и $\Psi(t) = 1 + K_2\Psi(t)$ с операторами

$$K_1\varphi(t) = \int_0^\delta K_1(t, t_1)\varphi(t_1)dt_1, \quad K_2\psi(t) = \int_0^t K_2(t, t_1)\psi(t_1)dt_1, \quad (3)$$

где $K_1(t, t_1) = \begin{cases} h(t_1), & 0 \leq t_1 \leq t \leq \delta; \\ h(t_1)e^{w(t_1)-w(t)}, & t \leq t_1 \leq \delta; \end{cases}$

$$K_2(t, t_1) = -h(t_1)[1 - e^{w(t)-w(t_1)}], \quad 0 \leq t_1 \leq t \leq \delta,$$

а функции $h(t)$, $w(t)$ определяются равенствами:

$$h(t) = 0,25\alpha^{-1}(t)(a(\alpha'/\alpha)^2 - 2(a\alpha'/\alpha)' - 2b'), \quad w(t) = \int_t^{\delta} \frac{\alpha(\tau)}{a(\tau)} d\tau.$$

Отметим, что в наших условиях интеграл $\int_0^{\delta} \frac{d\tau}{a(\tau)} = +\infty$, т.е. расходится. Значение $\delta > 0$ выбирается так, чтобы были определены функции в (2) и реализовывались условия сжатия для операторов K_1 и K_2 в $C[0, \delta]$, для чего достаточно выполнения неравенства

$$\varepsilon(0, \delta) = \int_0^{\delta} |h(t_1)| dt_1 < \frac{1}{2}. \quad (4)$$

На отрезке $[0; \delta]$ установлены точные асимптотические при $t \rightarrow 0+0$ формулы для решений уравнения (1). Приведем здесь лишь результаты для однородного уравнения в случае так называемых "сильных" вырождений, т.е. при $a'(0) = 0$.

Теорема. Пусть коэффициенты уравнения (1) бесконечно дифференцируемы, $a(0) = a'(0) = 0$, $b_0 = b(0) \neq 0$, $a(t) > 0$ при $t \in (0; \delta]$ и выполнено условие (4).

Функции

$$u_1(t) = v_1(t)\Phi(t) \in C^\infty(0, \delta] \quad \text{и} \quad u_2(t) = v_2(t)\Psi(t) \in C^\infty(0, \delta], \quad (5)$$

где $v_1(t)$, $v_2(t)$, $\alpha(t)$ заданы в (2), а $\Phi(t)$ и $\Psi(t)$ доставляют решение уравнений (3) при начальных условиях $\Phi(0) = \Psi(0) = 1$ и представляют на интервале $(0, \delta)$ фундаментальную систему решений уравнения (1). При этом, $u_{1,2}(t) \in C^\infty(0; \delta]$. И, если $b(0) = b_0 < 0$, то $u_{1,2}(t) \in C^\infty[0, \delta]$, $\lim_{t \rightarrow 0+0} u_2^{(m)}(t) = 0$ для любых $m \geq 0$, $\lim_{t \rightarrow 0+0} u_1(t) = \theta_1 = \text{const} > 0$, а если $b(0) = b_0 > 0$, то $u_2(t) \in C^\infty[0; \delta]$, $u_2(0) > 0$ и $\lim_{t \rightarrow 0+0} u_1^{(m)}(t) = +\infty$ для всех $m \geq 0$.

1. Глушко, В.П. Линейные вырождающиеся дифференциальные уравнения / В.П. Глушко. – Воронеж : Изд-во Воронежского ун-та, 1972.
2. Розов, Н.Х. Дифференциальные уравнения с вырождающимся коэффициентом при старшей производной / Н.Х. Розов, В.Г. Сушко, Д.И. Чудова // Фундаментальная и прикладная математика. – 1998. – Т. 4, № 3. – С. 1063 – 1095.

РЕШЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ С ПЕРЕМЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ НА ОСНОВЕ ФУНКЦИЙ УОЛША

А.В. Никоноров

Воронежская государственная технологическая академия, nikcom@mail.ru

Рассмотрим линейную нестационарную систему

$$\dot{x}(t) = A(t)x(t) + B(t)u(t), \quad x(0) = x_0, \quad (1)$$

где $x(t)$ – n -вектор состояния объекта; $u(t)$ – m -вектор управляющих воздействий; $A(t)$, $B(t)$ – переменные матрицы, характеризующие объект и имеющие размерности соответственно $n \times n$, $n \times m$.

Приведем уравнение (1) к виду

$$\dot{x}(t) = A(t)x(t) + \sum_{j=1}^q b_j(t)u_j(t), \quad (2)$$

где $b_j(t)$ – j -й столбец матрицы $B(t)$.

Любая функция может быть приближенно представлена с помощью ряда Уолша с m членами, при этом точность аппроксимации тем выше, чем больше членов ряда [2]:

$$f(t) = \sum_{i=0}^{m-1} c_i \phi_i(t) = c^T \Phi_m(t), \quad (3)$$

где $c_i = \int f(t)\phi_i(t)dt$ – вектор коэффициентов c для (3).

Пусть $a_{ij}(t)$ и $b_{ij}(t)$ будут элементами $A(t)$ и $B(t)$, а $b_{ij}(t)$ будет i -м элементом вектора $b_j(t)$. Предположим, что матрицы $A(t)$, $B(t)$ абсолютно интегрируемы на интервале $[0,1)$. Тогда аппроксимация с помощью ряда Уолша приводит к выражениям:

$$a_{ij}(t) = c_{ij0}\phi_0(t) + c_{ij1}\phi_1(t) + \dots + c_{ij,m-1}\phi_{m-1}(t) = c_{ij}^T \Phi(t),$$

где $c_{ij}^T = (c_{ij0}, c_{ij1}, \dots, c_{ij,m-1})$ – вектор-столбец коэффициентов ряда Уолша для $A(t)$;

$$b_{ij}(t) = w_{ij0}\phi_0(t) + w_{ij1}\phi_1(t) + \dots + w_{ij,m-1}\phi_{m-1}(t) = w_{ij}^T \Phi(t),$$

где $w_{ij}^T = (w_{ij0}, w_{ij1}, \dots, w_{ij,m-1})$ – вектор-столбец коэффициентов ряда Уолша для $B(t)$; $\phi(t)^T = (\phi_0(t), \phi_1(t), \dots, \phi_{m-1}(t))$ – вектор-строка функций Уолша;

$$u_j(t) = g_{j0}\phi_0(t) + g_{j1}\phi_1(t) + \dots + g_{j,m-1}\phi_{m-1}(t) = g_j^T \phi(t),$$

где $g_j^T = (g_{j0}, g_{j1}, \dots, g_{j,m-1})$ – вектор-столбец коэффициентов ряда Уолша для $u_j(t)$.

Представление переменной состояния $x(t)$ имеет вид:

$$x(t) = \begin{pmatrix} h_{10}\phi_0(t) + h_{11}\phi_1(t) + \dots + h_{1,m-1}\phi_{m-1}(t) \\ h_{20}\phi_0(t) + h_{21}\phi_1(t) + \dots + h_{2,m-1}\phi_{m-1}(t) \\ \dots \\ h_{n,0}\phi_0(t) + h_{n,1}\phi_1(t) + \dots + h_{n,m-1}\phi_{m-1}(t) \end{pmatrix} = H\phi(t),$$

где $h_j^T = (h_{j0}, h_{j1}, \dots, h_{j,m-1})$ – вектор-столбец коэффициентов ряда Уолша для $x(t)$.

Теперь, проинтегрировав уравнение (1) от 0 до t , получим с учетом разложений:

$$H\phi(t) - [x_0, 0_1, \dots, 0_{m-1}]\phi(t) = \int_0^t \alpha \psi(t) H\phi(t) dt + \sum_{j=1}^q \int_0^t \beta_j \phi(t) \phi^T(t) g_j dt. \quad (4)$$

Произведение вектора Уолша и результата его транспозиции будем называть произведением матрицы $\Phi_{m \times m}(t)$ [1]:

$$\phi_m(t) \phi_m^T(t) = \Phi_{m \times m}(t) = \begin{pmatrix} \phi_0 & \phi_1 \\ \phi_1 & \phi_0 \end{pmatrix}.$$

Тогда

$$\phi(t) H\phi(t) = \begin{pmatrix} \phi_m(t) \phi_m^T(t) h_1^T \\ \vdots \\ \phi_m(t) \phi_m^T(t) h_m^T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Phi_{m \times m}(t) h_1^T \\ \vdots \\ \Phi_{m \times m}(t) h_m^T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} H_1 \phi_m^T(t) \\ \vdots \\ H_m \phi_m(t) \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Здесь H_i – матрица неизвестных коэффициентов h_j .
Второй член правой части (4) можно записать в виде:

$$\phi_m(t) \phi_m^T(t) g_j = \Phi(t) g_j = G_j \phi(t), \quad (6)$$

Подставив (5), (6) в уравнение (4) и выполнив интегрирование с использованием свойства функций Уолша ($\int_0^1 \phi(t) dt = P\phi(t)$) [2], получим:

$$H\phi_m(t) - [x_0, 0_1, \dots, 0_{m-1}]\phi_m(t) = \alpha \begin{pmatrix} H_1 \\ \vdots \\ H_m \end{pmatrix} P_{m \times m} \phi_m(t) + \sum_{j=1}^q \beta_j G_j P_{m \times m} \phi_m(t), \quad (7)$$

где $P_{m \times m}$ – универсальная матрица интегрирования.

В результате упрощения (7) получаем неизвестные коэффициенты h для решения системы (1):

$$H = \left(E - \alpha \begin{pmatrix} H_1 \\ \vdots \\ H_m \end{pmatrix} P_{m \times m} \right)^{-1} + \left(\sum_{j=1}^q \beta_j G_j P_{m \times m} + (x_0 \dots 0, x_1 \dots 0)^T \right).$$

В качестве примера использования данной методики рассмотрим систему второго порядка

$$A(t) = \begin{pmatrix} 0,1t & 1,5t \\ 2,2t & 0,8t^2 \end{pmatrix}; \quad B(t) = \begin{pmatrix} 3,3t & 2t \\ 0,1t & 4t \end{pmatrix}; \quad u(t) = \begin{pmatrix} 1,2t \\ t \end{pmatrix}.$$

Расчеты производятся в среде MathCAD 14 Professional.

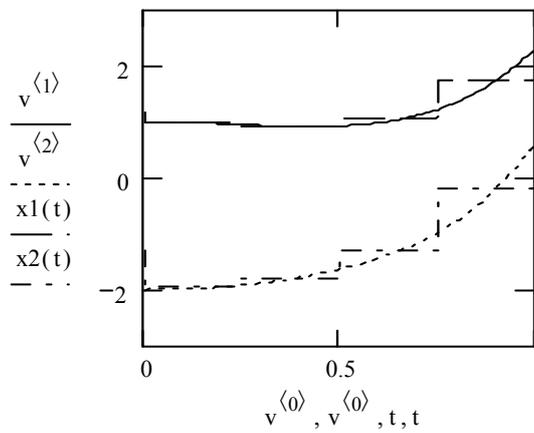


Рис. 1

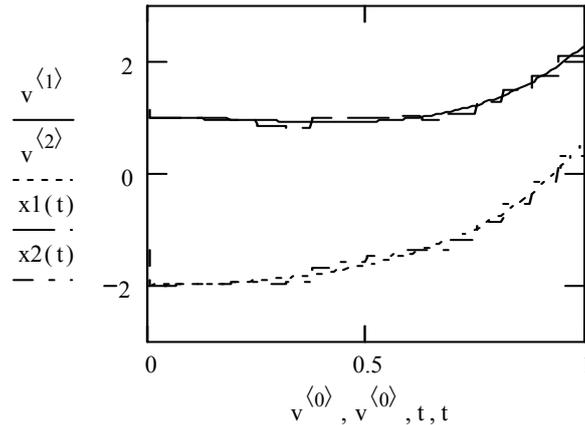


Рис. 2

На рис. 1, 2: $v^{<1>}, v^{<2>}$ – аналитическое решение дифференциального уравнения методом диагонализации в среде MathCAD, а $x_1(t)$ и $x_2(t)$ – решение, полученное на основе вышеизложенного метода через функции Уолша. На рис. 1 для решения используются четыре функции, а на рис. 2 – 16 функций.

1. Хармут, Х. Теория секвентного анализа / Х. Хармут. – М. : Мир, 1980. – 574 с.
2. Качмаж, С. Теория ортогональных рядов / С. Качмаж, Г. Штейнгауз. – М. : Физматгиз, 1958. – 312 с.

ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

И.К. Никифоров

Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова

Вейвлеты и преобразования на их основе не нашли широкого распространения в обработке сигналов в силу своей малоизвестности, но они во многом эффективнее преобразование Фурье (ПФ).

Типовое ПФ не учитывает того, что частота сигнала может резко меняться во времени. Спектральное разложение ПФ такого сигнала дает едва заметные составляющие спектра, по которым обнаружить эти особенности (их место и характер) практически невозможно. Также невозможно и точное воспроизведение сигнала из-за появления эффекта Гиббса. Для получения информации о высокочастотных спектральных составляющих с высокой точностью следует извлекать ее на относительно малых временных интервалах, а не из всего сигнала. Для этого используется оконное ПФ, в котором применяется операция умножения сигнала $S(t)$ на "окно" вида $w(t-b)$:

$$S(\omega, b) = \int_{-\infty}^{\infty} S(t)w(t-b)\exp(-i\omega t) dt, \quad w(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t \leq \tau; \\ 0, & t < 0 \text{ и } t > \tau. \end{cases} \quad (1)$$

Перемещая окно скачками вдоль оси t через интервал времени τ , при некотором числе таких перемещений просматривают весь сигнал $S(t)$. Такой спектральный анализ равносильен анализу с помощью набора фильтров с полосой пропускания $\Delta\omega \approx 2\pi/\tau$. Как известно, ввиду принципа неопределенности ($\Delta\omega\tau = \text{const}$) невозможно получить одновременно высокое разрешение и по частоте и по времени.

Отсюда следует вывод: недостатком оконного ПФ по (1) является фиксированное разрешение по времени и частоте для всех точек плоскости преобразования, которое не всегда может быть адаптировано к локальным изменениям сигнала.

В отличие от классического преобразования Фурье, вейвлет-преобразование (ВП) дает двумерную развертку исследуемого одномерного сигнала. При этом частота и координата (или время) рассматриваются как независимые переменные. Поэтому появляется возможность анализировать свойства сигнала одновременно в физическом (время или координата) и в частотном пространствах.

ВП одномерного сигнала – это его представление в виде обобщенного ряда по системе базисных функций вида

$$\psi_{ab}(t) = \psi(t-b)/a/\sqrt{a}, \quad (2)$$

полученных из исходной функции $\psi(t)$ за счет операций сдвига во времени изменением параметра b и изменения временного масштаба параметром a . Малые значения a соответствуют мелкому масштабу $\psi_{ab}(t)$ или высоким частотам, большие параметры a – растяжению исходного вейвлета $\psi(t)$ и сжатию его спектра. Как видно из (2), вейвлет-спектр является функцией двух аргументов: аргумент a аналогичен периоду осцилляций (т.е. обратен частоте $\omega \sim 1/a$), а аргумент b – аналогичен, как и в (1), смещению сигнала по оси времени. В частотной области спектры вейвлетов похожи на всплески с пиком на частоте ω_0 и полосой $\Delta\omega$, т.е. имеют вид полосового фильтра. При этом ω_0 и $\Delta\omega$ уменьшаются с ростом параметра a . Такое спектральное представление базисных функций в большей степени соответствует многим реальным ограниченным во времени сигналам, чем принципиально неограниченным базисным функциям в ПФ.

Основные наиболее простые вейвлетобразующие функции (материнские вейвлеты), согласно [1], приведены в табл. 1.

Большинство типов вейвлетов не имеют аналитического описания в явном виде и задаются итерационными выражениями, легко вычисляемыми компьютерами. Например, в пакете Wavelet Toolbox (MATLAB 6) имеется около 20 материнских вейвлетов с множеством их вариантов.

Воссоздадим базис $\psi_{ab}(t)$ формулы (2) с помощью непрерывных масштабных преобразований a и переносов b исходного вейвлета $\psi(t)$. Считаем, что параметры a и b имеют произвольные значения. Тогда прямое (анализ) и обратное (синтез) непрерывное ВП сигнала $S(t)$ запишутся следующим образом:

$$W_s(a, b) = (S(t), \psi_{ab}(t)) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} S(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt; \quad (3)$$

$$S(t) = \frac{1}{C_\psi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} W_s(a, b) \psi_{ab}(t) \frac{dadb}{a^2},$$

где $C_\psi = \int_{-\infty}^{\infty} |\Psi(\omega)|^2 |\omega|^{-1} d\omega < \infty$ – нормирующий коэффициент; $\Psi(\omega)$ – ПФ вейвлета $\psi(t)$. Спектр $W_s(a, b)$ является поверхностью в трехмерном пространстве, что не всегда удобно для анализа, поэтому часто берут проекцию на плоскость ab с изуровнями. Тогда становится возможным проследить изменение интенсивности амплитуд ВП на разных масштабах (a) и во времени (b).

ВП обладает свойствами линейности, произвольного сдвига, произвольного масштабирования и дифференцирования [1].

На практике у реальных сигналов параметры a и b непрерывно изменяются и для расчета непрерывного вейвлет-спектра по (3) необходимы большие вычислительные затраты, т.е. множество $\psi_{ab}(t)$ избыточно. В большинстве практических случаев производят дискретизацию параметров a и b через степени двойки $a = 2^m$, $b = k \cdot 2^m$, где m (преобразованный параметр масштаба) и k – целые числа. Тогда (2) переписывается к виду

$$\psi_{mk}(t) = \psi(2^{-m}t - k)/\sqrt{a^m}. \quad (4)$$

Таблица 1

Вид ВП	Аналитическая запись $\psi(t)$	Спектральная плотность $\psi(\omega)$
<i>Вещественные непрерывные</i>		
Гауссовы:		
– 1-го порядка	$-t \exp(-t^2/2)$	$(i\omega)\pi\sqrt{2} \exp(-\omega^2/2)$
– 2-го порядка	$(1-t^2)\exp(-t^2/2)$	$(i\omega)^2\pi\sqrt{2} \exp(-\omega^2/2)$
– n -го порядка	$(-1)^n \frac{d^n}{dt^n} [\exp(-t^2/2)]$	$(-1)^n (i\omega)^2\pi\sqrt{2} \exp(-\omega^2/2)$
DOG – difference of Gaussians	$\exp(-t^2/2) - 0,5\exp(-t^2/8)$	$\pi\sqrt{2}(\exp(-\omega^2/2) - \exp(-2\omega^2))$
LP – little wood & paley	$(\pi t)^{-1}(\sin 2\pi t - \sin \pi t)$	$(2\pi)^{-0,5}, \pi \leq t \leq 2\pi, 0$, иначе
<i>Вещественные дискретные</i>		
HAAR – вейвлет	$\geq 1, 0 \leq t \leq 1/2; -1, 1/2 \leq t \leq 1;$ $0, t < 0$ и $t > 0$	$i \exp(i\omega/2) \sin^2 \omega/4 / 0,25\omega$
FNAT – вейвлет	$\geq 1, t \leq 1/3; -1/2, 1/3 \leq t \leq 1;$ $0, t > 1$	$4 \sin^3 \omega/3 / (3\omega/3)$
<i>Комплексные</i>		
Морле (Morlet)	$\exp(i\omega_0 t) \exp(-t^2/2)$	$\sigma(\omega)\pi\sqrt{2} \exp((-\omega - \omega_0)^2/2)$
Пауля (Paul)	$\Gamma(n+1)i^n / (1-n)^{n+1}$	$\sigma(\omega)\pi\sqrt{2} (\omega)^n \exp(-\omega)$

В (4) плоскость параметров a и b превращается в сетку с координатами m и k . Подобная сетка называется диадной, а само преобразование – диадным (dyadic) ВП. Прямое и обратное диадное ВП непрерывных сигналов запишутся в виде:

$$c_{mk} = (S(t), \Psi_{mk}(t)) = \int_{-\infty}^{\infty} S(t) \Psi_{mk}(t) dt ; \quad (5)$$

$$S(t) = \sum_{m,k} c_{mk} \Psi_{mk}(t) . \quad (6)$$

Для различных значений m ширина Ψ_{mk} различна и выбор $b = k \cdot 2^m$ гарантирует, что растянутые вейвлеты на уровне m покрывают всю ось времени, как и у исходного вейвлета при $m = 0$. Коэффициенты c_{mk} разложения (5) определяют через непрерывное ВП $W_s(a, b)$ в виде $c_{mk} = W(2^m, k \cdot 2^m)$, откуда и следует, что сигнал $S(t)$ может быть представлен суммой "вейвлетных волн" с коэффициентами c_{mk} .

Имеется и дискретное ВП, где не только параметры a и b , но и сигнал $S(t)$ дискретизируются по времени. На основании теоремы отсчетов (теоремы Котельникова) непрерывный дискретный сигнал $S_d(t)$, спектр которого не содержит частот выше f_m , определяется дискретной последовательностью мгновенных значений $\{S_i\}$ ($i = 0, 1, \dots, N-1$), отсчитываемых через интервалы $\Delta t = 1/2f_m$ и $f_d = 1/\Delta t = 2f_m$ – шаги дискретизации по времени и частоте. Такой сигнал определяют выражением вида: $S_d(t) = \sum_{i=1}^{N-1} S(i\Delta t) \delta(t - i\Delta t)$. При числе отсчетов $N = 2^{n_0}$ максимальное значение m в (4) будет равно $n_0 - 1$. Соответствующее наибольшее значение k (для текущего m) равно $2^{n_0 - m} - 1$. Если в базисе (2) $a = 1$, т.е. $m = 0$, число сдвигов $k = 2^{n_0} - 1 = N - 1$. С каждым последующим значением m (1, 2, ...) вейвлет $\Psi_{mk}(t)$ расширяется в 2 раза, а число k уменьшается в 2 раза. При $m = m_{\max}$ имеем $k = 0$.

1. Яковлев, А.Н. Введение в вейвлет-преобразования / А.Н. Яковлев. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2003. – 104 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА В НЕОДНОРОДНЫХ СИСТЕМАХ

В.Г. Кобак, А.Г. Хулаян

Донской государственный технический университет

В [1] предложен генетический алгоритм (ГА) решения задачи составления расписания для однородных приборов, использующий минимаксный критерий. Нами исследуется приведенная модель путем переноса модели ГА на систему неоднородных приборов. По сравнению с [1] оператор кроссовера и оператор мутации остаются неизменными, но нами в качестве турнирного отбора применяется один из наиболее перспективных вариантов, а именно отбор с предком.

Для проверки результатов работы данного ГА проводилось его сравнение с приближенным алгоритмом составления расписания, описанным в [2]. Данный алгоритм, несмотря на простоту, дает результаты достаточно близкие к оптимальным. В ходе экспериментов генерировались случайные матрицы загрузки в диапазоне [25, 30]. Данный диапазон является одним из наиболее трудных для времени работы точного алгоритма. Кроме того, алгоритмы тестировались на количестве приборов от 2 до 4, что является наиболее используемым на практике. Число задач варьировалось от 20 до 25. Во всех экспериментах установлена вероятность кроссовера – 0,9, вероятность мутации – 0,1, размер популяции – 50 особей, число поколений – 50.

В эксперименте № 1 число приборов фиксировано и равно 2, число работ изменялось от 20 до 25. На рис. 1 по оси абсцисс – количество запланированных задач, по оси ординат – минимаксный критерий расписания и показаны результаты работы двух алгоритмов над одними и теми же исходными данными.

Как непосредственно видно из рис. 1, ГА всегда дает в среднем лучшее решение для двухприборной системы.

В эксперименте № 2 число процессоров изменяется от 2 до 4. Число работ фиксированное и равное 25. На рис. 2 представлены результаты работы над одними и теми же матрицами загрузки.

Как непосредственно видно из рис. 2, ГА всегда дает в среднем лучшее решение и для системы с большим количеством приборов. Однако четко просматривается тенденция, что чем больше приборов, тем меньше разница между двумя алгоритмами.

Представляет интерес зависимость времени работы ГА от числа задач. Хотя время работы ГА "в разы" превышает время работы эвристического алгоритма, но для всех сгенерированных матриц не превышает 1 с, что гораздо меньше времени на получение точного решения.

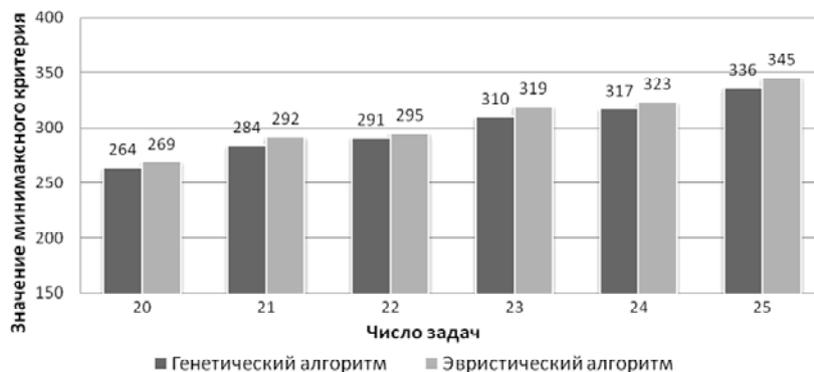


Рис. 1. Результаты эксперимента № 1

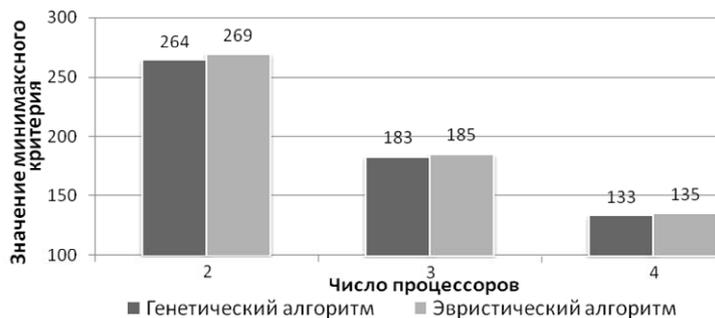


Рис. 2. Результаты эксперимента № 2

В целом вычислительный эксперимент показал, что применение генетического алгоритма к получению решения минимаксной задачи для неоднородных приборов дает лучшие результаты, чем приближенный алгоритм [2].

1. Кобак, В.Г. Сравнительный анализ приближенных алгоритмов решения минимаксной задачи для однородных приборов / В.Г. Кобак, Д.М. Будиловский // Вестник Донского государственного технического университета. – М., 2006. – Т. 6, № 4.
2. Плотников, В.Н. Техническая кибернетика / В.Н. Плотников, В.Ю. Зверев. – 1974. – № 3.
3. Ларионов, А.М. Вычислительные комплексы, системы и сети / А.М. Ларионов, С.А. Майоров, Г.И. Новиков. – СПб. : Энергоатомиздат, 1987.

РЕФЕРАТЫ МАГИСТЕРСКИХ ДИССЕРТАЦИЙ И ДИПЛОМНЫХ РАБОТ

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОТОПЛИВНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

А.А. Батманов

Тамбовский государственный технический университет, mahp@tambov.ru

Проведен анализ современного состояния технологий и оборудования для приготовления водотопливных эмульсий. Обоснована актуальность предварительной обработки исходного мазута или дизельного топлива с целью получения водотопливной эмульсии, использование которой позволит повысить коэффициент сжигания топлива, уменьшить вредные выбросы продуктов сгорания, **повысить эффективность и долговечность топочного оборудования**. Одним из наиболее перспективных методов получения мелкодисперсных эмульсий является способ, основанный на использовании импульсного многофазного воздействия при приготовлении эмульсий.

Проведены экспериментальные исследования интенсивности кавитационного воздействия на качество приготовления эмульсий "вода-дизельное топливо" и "вода-мазут", на основании результатов которых определены оптимальные режимы эмульгирования.

Разработана технология и подобрано оборудование для водогрейной котельной установки с встроенным участком для приготовления водомазутной эмульсии на базе роторного импульсного аппарата производительностью 47 ТВт тепла в год.

Выполнено экономическое обоснование проекта по созданию участка для приготовления водотопливных эмульсий на базе роторно-импульсной установки РИА-200, встроенной в котельную. Несмотря на дополнительные капитальные затраты, экономический эффект от проекта достигается путем снижения затрат на закупку исходного топлива – мазута за счет его экономии на 15...20 %. Предполагаемый срок окупаемости инвестиционного проекта составит 0,4 года.

Магистерская диссертация по направлению подготовки "Технологические машины и оборудование" выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора М.А. Промтова на кафедре "Машины и аппараты химических производств" ТГТУ и защищена в 2008 г.

Структура диссертации: введение, четыре раздела, заключение, список источников из 17 наименований; 67 страниц, 16 рисунков, пять таблиц.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СОЛОДОРАЩЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФЕРМЕНТНЫХ ПРЕПАРАТОВ И РАЗРАБОТКА АППАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОФОРМЛЕНИЯ

Е.В. Нечайкина

Тамбовский государственный технический университет, topt@topt.tstu.ru

Рассмотрены теоретические основы процесса солодоращения и современные способы его интенсификации. Обоснована актуальность использования в солодовенном производстве ферментных препаратов с целью повышения качества пивоваренного солода и сокращения продолжительности стадии солодоращения.

Проведены экспериментальные исследования влияния ферментных препаратов целлюлолитического действия на продолжительность процесса солодоращения и качество готового солода, на основании результатов которых определены оптимальные дозировки ферментных препаратов и кислотность замочной воды.

Разработана математическая модель, позволяющая спрогнозировать качественные характеристики солода в зависимости от концентрации ферментного препарата и кислотности замочной воды.

Обоснован выбор машинно-аппаратурного оформления технологической линии производства светлого ячменного солода с учетом предложенных изменений режимов стадий замачивания ячменя и солодоращения.

Выполнено технико-экономическое обоснование проектного решения для ОАО «Пивоваренный завод "Моршанский"», результаты которого показали, что предложенное техническое решение позволяет снизить себестоимость 1 дал пива на 5,69 р. и увеличить рентабельность производства на 11,17 %. Предполагаемый срок окупаемости проекта составляет 1,32 года.

Основные результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на I и II Научных студенческих конференциях Ассоциации "Объединенный университет им. В.И. Вернадского" (Тамбов, 2006 и 2007 г.). По теме диссертации опубликованы две печатные работы.

Магистерская диссертация по направлению подготовки "Технологические машины и оборудование" выполнена под руководством канд. пед. наук, доцента Е.И. Муратовой на кафедре "Технологическое оборудование и пищевые технологии" ТГТУ и защищена в 2008 г.

Структура диссертации: введение, три раздела, выводы, список литературы из 30 наименований, четыре приложения; 109 страниц, 19 рисунков, 18 таблиц.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА МИКРОВОЛНОВОЙ ПАСТЕРИЗАЦИИ ПИВА

П.М. Нечайкин

Тамбовский государственный технический университет, topt@topt.tstu.ru

Представлен обзор информационных источников по проблеме биологической стойкости пива и проведен анализ биологических, химических, тепловых, механических и электромагнитных способов повышения биологической стойкости. Обоснована актуальность использования процесса микроволновой пастеризации для повышения биологической стойкости пива.

Описаны методы исследования биологической стойкости пива и выполнены экспериментальные исследования влияния микроволновой и тепловой обработки на микробиологическую обсемененность и органолептические свойства пива. Определены режимные параметры процесса: температура пастеризации, продолжительность воздействия, мощность излучения. Установлено, что микроволновая обработка повышает биологическую стойкость на 20 % по сравнению с тепловой при одинаковых температурно-временных режимах.

Рассмотрены подходы к математическому моделированию периодического и непрерывного процессов микроволновой пастеризации пива. Разработан алгоритм и написана компьютерная программа расчета эффективности обработки, позволяющая подбирать режимные параметры микроволновой пастеризации пива для получения требуемой биологической стойкости.

Выполнено технико-экономическое обоснование проекта, подтверждающее целесообразность использования микроволновой пастеризации пива в промышленных масштабах.

Результаты исследования докладывались на студенческих научных конференциях Ассоциации "Объединенный университет им. В.И. Вернадского" (г. Тамбов, 2006 и 2007 гг.).

Магистерская диссертация по направлению подготовки "Технологические машины и оборудование" выполнена под руководством канд. пед. наук, доцента Е.И. Муратовой на кафедре "Технологическое оборудование и пищевые технологии" ТГТУ и защищена в 2008 г.

Структура диссертации: введение, три раздела, заключение, список источников из 27 наименований, четыре приложения; 99 страниц, 25 рисунков, 11 таблиц.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БИОДИЗЕЛЯ ИЗ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ

О.Ю. Иншакова

Тамбовский государственный технический университет, mahp@tambov.ru

Показана актуальность использования альтернативных источников топлива для дизельных двигателей и представлены результаты анализа материалов по проблеме получения биодизеля из растительных масел.

Приведены результаты экспериментальных исследований факторов, влияющих на реакцию этерификации растительных масел и этанола, в процессе получения биодизеля при импульсном энергетическом воздействии в роторном импульсном аппарате.

На основании результатов экспериментальных исследований разработаны технологическая схема и регламент производственного процесса получения биодизеля из растительных масел. Проведен расчет и выбор основного технологического оборудования, спроектирован и изготовлен кавитационный реактор на базе роторного импульсного аппарата.

Разработан бизнес-план для мини-цеха по производству биодизеля производительностью 680 т в месяц, рассчитаны показатели экономической эффективности проекта, срок окупаемости которого составит 5 месяцев.

Практические и научные результаты диссертационной работы приняты для дальнейшего использования в ООО "Инновационный центр высоких био- и химических технологий". По теме магистерской диссертации опубликованы две печатные работы.

Магистерская диссертация по направлению подготовки 150400 – "Технологические машины и оборудование" выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора М.А. Промтова на кафедре "Машины и аппараты химических производств" ТГТУ и защищена в 2008 г.

Структура диссертации: введение, четыре раздела, заключение, список источников из 23 наименований, шесть приложений; 99 страниц, 18 рисунков, восемь таблиц.

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ВАЛА ГЕНЕРАТОРА

Д.А. Гривенев

Саратовский государственный технический университет, gda_home@mail.ru

Показана актуальность и практическая значимость задачи построения цифрового регулятора для системы электрогидравлического регулирования скорости вращения вала генератора переменного тока с приводом от маршевого двигателя.

Рассмотрен принцип работы и выделены основные узлы электрогидравлической системы регулирования, построена обобщенная математическая модель для ряда объектов аналогичных рассматриваемому, проведено преобразование полученной математической модели к безразмерному виду для конкретного объекта управления. Полученная математическая модель описывает целый ряд объектов управления электрогидромеханических приводов постоянных оборотов с генераторами переменного тока, отличающихся лишь числовыми значениями коэффициентов в уравнениях модели.

Проведено моделирование переходных процессов и анализ поведения элементов конструкции системы золотник – якорь и сервопоршень, недоступных для прямого измерения из-за невозможности установки соответствующих датчиков на реальном объекте. Моделирование выполнено в пакете прикладных программ Matlab в среде Simulink с ранее разработанным аналоговым регулятором. Забросы и провалы частоты генератора при подключении и отключении нагрузки лежат в допустимых пределах, и система достаточно быстро возвращается в установившееся значение.

Осуществлена линеаризация полученной безразмерной математической модели для выбранного режима работы с целью последующего использования при синтезе закона управления и сравнения переходных процессов основных параметров нелинейной и линеаризованной систем регулирования. При анализе линеаризованной модели показано, что она адекватно описывает поведение нелинейного объекта управления.

Выполнен синтез дискретного алгоритма управления для стабилизации угловой скорости вращения вала генератора переменного тока. Метод синтеза основан на теории наблюдающих устройств минимальной размерности, на процедурах линейно-квадратичной дискретной (LQD) оптимизации и оптимальной дискретной фильтрации. Все вычисления производятся с использованием программного комплекса Matlab. Анализируя результаты моделирования, можно сделать вывод о том, что в целом синтезированный дискретный регулятор отвечает требованиям технического задания.

Магистерская диссертация по направлению подготовки "Автоматизация и управление" выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора Ю.В. Садомцева на кафедре "Техническая кибернетика и информатика" СГТУ и защищена в 2008 г.

Структура диссертации: введение, четыре раздела, заключение, список источников из шести наименований, одно приложение; 67 страниц, 20 рисунков.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ ЖИРОРАСТВОРИМЫХ АНТИОКСИДАНТОВ В ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТАХ

П.А. Федина

Московский государственный университет инженерной экологии,
polina_wap@mail.ru

Выполнен обзор публикаций в отечественной и зарубежной периодике по методам контроля антиоксидантов, предотвращающих развитие сердечно-сосудистых, онкологических, социальных заболеваний, показывающий отсутствие универсального метода и автоматизированного измерителя концентрации жирорастворимых антиоксидантов.

Для решения задачи по разработке автоматизированного контроля жирорастворимых антиоксидантов в пищевых продуктах проведен критический анализ различных методов и выбран амперометрический метод, как более приемлемый в сравнении с другими, на основе практики известных исследований и проведенных автором натуральных испытаний. Разработаны автоматизированная система контроля жирорастворимых антиоксидантов (АСКА-Ж), методика определения жирорастворимых антиоксидантов на базе амперометрического метода с учетом подбора оптимальных условий определения жирорастворимых антиоксидантов. Найдены аппроксимирующие зависимости аналитического сигнала и концентрации антиоксиданта, построенные по результатам экспериментальных исследований.

Выполнены исследовательские работы по отработке методики определения жирорастворимых антиоксидантов, модификации рабочего электрода наночастицами алмаза и серебра. Модификация наночастицами позволила уменьшить пределы детектирования к полифенолам и значения потенциалов. Проведены опытно-конструкторские работы по модернизации блока дозирования АСКА-Ж устройством автосамплер, предложен проект преобразования АСКА-Ж в автоматический измеритель.

Получены результаты экспериментальных исследований по подбору оптимальных условий определения жирорастворимых антиоксидантов. Так, в качестве элюента и растворителя выбран подкисленный ортофосфорной кислотой ацетон, а стандартным веществом – галловая кислота. В этих условиях достигается хорошая воспроизводимость в измерении аналитических сигналов. Градуировочный график получается с высоким коэффициентом чувствительности. Показания детектора практически пропорциональны концентрации или количеству дозируемых веществ, т.е. детектор обладает достаточно широкой областью линейности.

С помощью АСКА-Ж по разработанной методике впервые определено суммарное содержание жирорастворимых антиоксидантов в ряде пищевых продуктов, таких как орехи, шоколад, разные виды масел. Установлено, что в 100 граммах указанных продуктов содержится от 5 до 135 мг антиоксидантов в пересчете на галловую кислоту.

Магистерская диссертация по направлению подготовки "Автоматизация и управление" выполнена под руководством д-ра хим. наук С.Ф. Чернова и консультанта профессора Я.И. Яшина на кафедре "Техническая кибернетика и автоматика" МГУИЭ и защищена в 2008 г.

Структура диссертации: введение, четыре раздела, заключение, список источников из 89 наименований, два приложения; 106 страниц, 17 рисунков, шесть таблиц.

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОМАТИЧЕСКОГО ОПТИКО-АКУСТИЧЕСКОГО ГАЗОАНАЛИЗАТОРА В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ

М.Ю. Масловская

Московский государственный университет инженерной экологии

На основании анализа научно-технической литературы показаны необходимость и возможность применения в АСУ ТП автоматического широкодиапазонного оптико-акустического газоанализатора. Проведен обзор литературы по оптико-акустическому методу анализа концентраций. На основе функции интегрального поглощения в виде закона квадратного корня выведено уравнение статической характеристики оптико-акустического газоанализатора в широком динамическом диапазоне измеряемых концентраций. Предложены критерии для оценки степени нелинейности статической характеристики.

Для линеаризации статической характеристики газоанализатора предложен класс степенных функций, включающих три параметра: показатель степени и два масштабных коэффициента. Для оценки информационной эффективности аналитического прибора в широком диапазоне концентраций использованы логарифмические характеристики точности (по Новицкому). Для модельной статической характеристики предложен и успешно апробирован алгоритм вычисления оптимальных параметров функции линеаризации по критерию минимакса.

Представлены экспериментальные результаты исследования статической характеристики оптико-акустического газоанализатора КЕДР-М в широком диапазоне концентраций. Аппроксимация функции линеаризации по экспериментальным данным степенной функцией по методу наименьших квадратов показала хорошую сходимость результатов модельного и натурального эксперимента.

Магистерская диссертация по направлению подготовки "Автоматизация и управление" выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора В.А. Рылова на кафедре "Техническая кибернетика и автоматика" МГУИЭ и защищена в 2008 г.

Структура диссертации: введение, шесть разделов, заключение, список источников из 20 наименований, четыре приложения; 70 страниц, 26 рисунков, одна таблица.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ ОКСИДОВ АЗОТА

Н.И. Хавалкина

Московский государственный университет инженерной экологии

Проведенный аналитический обзор научной и технической литературы по проблеме загрязнения атмосферы выбросами промышленных предприятий показал актуальность автоматического контроля оксидов азота в атмосферном воздухе. Выполненный анализ известных методов измерения концентрации оксидов азота (NO , NO_2 , NO_x) и автоматических газоанализаторов позволил выбрать в качестве объекта исследования отечественный хемилюминесцентный газоанализатор типа ЕТ-909.

Выполнено экспериментальное и теоретическое исследование метрологических и динамических характеристик хемилюминесцентного газоанализатора ЕТ-909 в широком диапазоне изменения концентраций оксидов азота. Выявлены основные факторы, заметно влияющие на линейность преобразования входных сигналов и инерционность газоанализатора. К числу таких факторов относятся объем и форма реакционной камеры, режим перемешивания газовой смеси, диапазон изменения расходов реагентов и доля отраженного излучения.

Спроектирована новая реакционная камера, форма и линейные размеры которой значительно расширяют диапазон линейности газоанализатора и улучшают его динамические характеристики, в частности постоянную времени прибора; экспериментально найден оптимальный режим работы озонатора; показана возможность оптимального функционирования автоматического хемилюминесцентного газоанализатора ЕТ-909 в диапазоне высоких концентраций оксидов азота.

Магистерская диссертация по направлению подготовки "Автоматизация и управление" выполнена под руководством канд. техн. наук, доцента Г.А. Гальцовой и консультанта д-ра техн. наук В.А. Рылова на кафедре "Техническая кибернетика и автоматика" МГУИЭ и защищена в 2008 г.

Структура диссертации: введение, шесть разделов, заключение, список источников из 20 наименований, одно приложение; 86 страниц, 34 рисунка, четыре таблицы.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ ТРИПЛЕКСА

О.А. Мельцаева

Владимирский государственный университет

Выполнен анализ научно-технической литературы по вопросам рыночной потребности и качества автомобильного стекла, показавший актуальность задачи оптимизации управления технологическими процессами и, особенно, процессом моллирования производства многослойного стекла. В связи с этим показана актуальность разработки математического обеспечения для информационной системы управления производством триплекса.

Выполнено обследование процесса производства многослойного стекла; разработана модель технологического процесса производства автомобильного стекла; определены требования, предъявляемые к качеству многослойного стекла; сформулированы критерии управления технологическим процессом моллирования.

Выполнено исследование и разработка моделей, описывающих зависимость провиса, напряжений растяжения и сжатия в кромке стекла от температурного режима моллирования; определена архитектура моделей и параметры их реализации на нейронных сетях; оценена точность нейросетевых моделей по сравнению с точностью регрессионных моделей.

Формализована задача управления процессом моллирования многослойного стекла; разработаны алгоритмы управления производством многослойного стекла с использованием моделей на нейронных сетях; описаны основные функции подсистемы поддержки принятия решений; разработана структура подсистемы и схема ее работы.

Разработанные модели на нейронных сетях и алгоритмы управления печью моллирования переданы для использования в ПК "Автостекло" ОАО Эй Джи Си "Борский стекольный завод"; по результатам исследований опубликованы два доклада в сборниках научных трудов международных конференций ММТТ-20 и ММТТ-21.

Магистерская диссертация по направлению подготовки "Информационные системы" выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора Р.И. Макарова на кафедре "Информационные системы и информационный менеджмент" ВлГУ и защищена в 2008 г.

Структура диссертации: введение, четыре раздела, заключение, список источников из 18 наименований; 126 страниц, 34 рисунка, 13 таблиц.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

А.О. Михайлов

Владимирский государственный университет

Выполнен обзор научно-технической литературы по проблеме планирования и управления многотоннажными производствами, к которым относится, в частности, производство листового полированного стекла. При этом показано, что технологические процессы производства стекла являются непрерывными, многостадийными, взаимосвязанными и инерционными. Переналадка производства на выпуск стекла разных толщин и типоразмеров производится без остановки технологического процесса, что приводит к появлению материальных и энергетических потерь, зависящих от длительности наладок.

Поставлена задача создания алгоритма управления непрерывным производством листового стекла, обеспечивающего минимизацию потерь, возникающих во время переналадки технологического процесса. При решении задачи проведен анализ следующих критериев эффективности управления: доход от реализации заказов, время выполнения заказа, потери при переналадке технологических линий, потери при хранении и транспортировке. Исходная задача управления двумя технологическими линиями сведена к процедуре многокритериальной оценки альтернативных вариантов решений, базирующейся на агрегировании критериев.

В основу алгоритма управления положен графокомбинаторный метод формирования оптимального краткосрочного плана многономенклатурного производства, математическая суть которого сводится к задаче о разбиении заданного целого числа на слагаемые с помощью аддитивного арифметического графа (см. Наязин Н.Г. Формирование и оптимизация ресурсных потоков: графокомбинаторные методы и модели. – Владимир, 2006. – 190 с.). Математическое моделирование алгоритмов управления показало, что потери стекла на технологических линиях 1ЛПС и 2ЛПС при переходах сокращаются до 1,45 и 1,67 %

Магистерская диссертация по направлению подготовки "Информационные системы" выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора Р.И. Макарова на кафедре "Информационные системы и информационный менеджмент" ВлГУ и защищена в 2008 г.

Структура диссертации: введение, четыре раздела, заключение, список источников из 26 наименований; 92 страницы, 29 рисунков, 16 таблиц.

ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА НА ПРИМЕРЕ СТЕКЛОЗАВОДА

И.С. Красноперов

Владимирский государственный университет, ilya.krasnoperov@gmail.com

Проведен анализ научно-технической литературы по проблеме производственной деятельности промышленных предприятий и, в частности, стекольных заводов и ее влияния на окружающую среду. Показана актуальность разработки и внедрения систем экологического менеджмента на стекольных заводах. В связи с этим, поставлена задача анализа математических методов, позволяющих снизить затраты на производство листового стекла за счет совершенствования системы управления технологическим процессом с учетом качества продукции и негативных воздействий на окружающую природную среду.

Для решения поставленной задачи выполнен анализ технологического процесса производства листового стекла как объекта управления; выявлены основные факторы, негативно влияющие на экологическую ситуацию и качество продукции; исследована эффективность использования методов математической статистики (корреляционный, кластерный, регрессионный анализ), методов математического программирования (модифицированные множители Лагранжа, штрафные функции, численные алгоритмы условной оптимизации), а также нейронных сетей для контроля и оптимального управления негативным воздействием стекольного производства на окружающую природную среду; исследованы и адаптированы математические модели, описывающие негативные воздействия производства на окружающую природную среду; проведено сравнение точности построенных регрессионных и нейросетевых моделей; исследованы и разработаны алгоритмы поддержки принятия решений для разрабатываемой информационной системы; разработано информационное и алгоритмическое обеспечение системы поддержки, принятия решений по управлению производством листового стекла с учетом качества продукции и минимизацией негативных воздействий на окружающую среду.

Магистерская диссертация по направлению подготовки "Информационные системы" выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора Р.И. Макарова на кафедре "Информационные системы и информационный менеджмент" ВлГУ и защищена в 2008 г.

Структура диссертации: введение, четыре раздела, заключение, список источников из 30 наименований, три приложения; 117 страниц, 31 рисунок, 25 таблиц.

БИЛЛИНГОВАЯ POSTPAID СИСТЕМА ДЛЯ МАЛЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ ТЕЛЕФОННЫХ СТАНЦИЙ

В.В. Волков

Донской государственный технический университет, vitvlkv@gmail.com

Выполнен обзор научно-технической литературы по проблеме биллинга услуг информационных телекоммуникаций и анализ ряда коммерческих биллинговых систем, позволившие выявить их достоинства и недостатки применительно к использованию на автоматических телефонных станциях (АТС) малой номерной емкости. Поставлена задача разработки собственной биллинговой системы для малых АТС. Сформулированы требования к разрабатываемой системе: ее принадлежность к postpaid типу, надежность и отказоустойчивость, удобство интерфейса пользователя.

Проведен детальный анализ структуры предприятия оператора связи. Составлены функциональные модели по методике IDEF0, раскрывающие механизм взаимодействия отделов предприятия и биллинговой системы. Построена детальная объектная UML модель биллинговой системы, раскрывающая ее статическую структуру. На основании построенных моделей спроектирована архитектура программного средства, отличающаяся параллельным использованием объектно-реляционного и чисто реляционного способов доступа к базе данных. Первый способ применяется для единичных манипуляций с данными и их визуализации, что существенным образом упрощает разработку программы, так как при этом используется библиотека DevExpress.Xpo. Второй, реляционный способ применяется в функциях обработки больших объемов данных, для которых необходимо минимизировать время их работы.

Создано пять приложений, составляющих биллинговую систему: "Абонентский отдел", "Справочники", "Предбиллинг", "Расчетный отдел", "Администрирование". Разработанная биллинговая система успешно прошла контрольные испытания и была внедрена в производственный процесс предприятия ООО "ТИКСИ" г. Ростова-на-Дону.

Магистерская диссертация по направлению подготовки "Информатика и вычислительная техника" выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора Р.А. Нейдорфа на кафедре "Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем" ДГТУ и защищена в 2008 г.

Структура диссертации: введение, шесть разделов, заключение, список источников из 10 наименований, три приложения; 79 страниц, 23 рисунка, три таблицы.

ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДОСТУПА К РЕЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ БАЗОЙ ДАННЫХ

А.С. Стадник

Донской государственный технический университет

Выполнен обзор существующих систем доступа к реляционной системе управления базой данных (СУБД). Выявлены их достоинства и недостатки, а также сложности внедрения систем в работу предприятий. Выделены основные требования, предъявляемые к моделям данных. Сформулирован также ряд отличительных требований к разрабатываемой системе доступа.

Поставлена задача создания объектно-ориентированной системы доступа к реляционной СУБД, которая должна не только обеспечивать связь классов с таблицами базы данных, но также предоставлять средства для автоматического построения запросов и извлечения данных, что может значительно уменьшить время разработки. Кроме того, система должна обеспечивать прозрачную поддержку сохранности данных для объектов и поддержку серверного объектного КЭШа данных. Установлена конфигурация аппаратно-программных средств для серверной части.

Объектно-ориентированная система доступа предназначена для освобождения разработчика от значительного объема общих задач программирования по обеспечению сохранности данных. Разработчик может начать использовать систему объектного доступа в процессе разработки как с нуля, так и для уже существующей базы данных.

Разработаны методы и формат хранения данных в реляционной СУБД, а также метод отображения классов на плоскую память. Создана система кэширования объектов в памяти с поддержкой "грязных" данных и поздней записи. Разработан механизм выборки данных с поддержкой вложенных запросов и частичной выборки. Для удобства отладки и работы введена подробная система ведения логов работы системы.

На наглядном примере рассмотрены три стратегии объектно-реляционного преобразования с использованием предложенной системы. Разработан пакет программной документации: техническое задание, руководство оператора, руководство программиста, руководство системного программиста.

Разработанная система может быть применена на предприятиях для обслуживания и развития существующих информационных систем, а также может быть основой для дальнейших исследований в области создания объектно-ориентированных надстроек.

Магистерская диссертация по направлению "Информатика и вычислительная техника" выполнена под руководством канд. техн. наук, доцента М.В. Гранкова на кафедре "Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем" ДГТУ и защищена в 2008 г.

Структура диссертации: введение, шесть разделов, заключение, список литературы из 12 наименований, одно приложение; 83 страницы, 9 рисунков, одна таблица.

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ПРОГРАММ РЕАЛИЗАЦИИ ЭКСПЕРТНЫХ ПРЕДПОЧТЕНИЙ НА ОСНОВЕ ЛОГИСТИЧЕСКИХ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

Л.Ю. Богданов

Саратовский государственный технический университет,
leonid_bogdanov@epam.com

Объектом исследования служат логистические регрессионные модели экспертных предпочтений, строящиеся для бинарного отклика с биномиальным законом распределения от количественных, порядковых и номинальных регрессоров.

Задачей работы является создание алгоритмов и программ для расчета параметров моделей экспертных предпочтений с использованием логистической регрессии.

Выполнен обзор методов исследования зависимости между качественными и количественными переменными; особое внимание уделено регрессионным моделям, в которых бинарный отклик зависит от входов, измеренных в смешанных шкалах. Показано, что логистическая регрессия является гибким инструментом, позволяющим исследователю получать качественные прогнозы значений бинарной зависимой переменной. Вычисленные коэффициенты при независимых переменных уравнения регрессии отражают изменение отношения шансов (риска) при изменении соответствующей переменной на единицу величины и фиксированных остальных, позволяя таким образом определить наиболее влияющую переменную на исход исследуемого события.

Показана связь логистической регрессии с нейронными сетями, а также возможность ее использования в качестве метода бинарной классификации для оценки вероятности наступления события, относительно которого нужно принять решение. Выявлено, что подобные модели имеют большое значение при принятии решений относительно широкого круга задач в медицине, маркетинге и других предметных областях.

Разработан комплекс программ для оценки параметров логистической регрессии, расчета статистик оценок и адекватности модели на языке программирования высокого уровня Java. Поддерживается работа с входными файлами форматов CSV и XML, благодаря этому возможно организовать обмен данными с популярными статистическими пакетами для удобства и гибкости использования.

В сотрудничестве с кафедрой "Детские инфекционные болезни" СГМУ с помощью созданного комплекса программ решена задача определения признаков, значимо влияющих на появление полинейропатий у больных, перенесших дифтерию, что позволяет прогнозировать осложнения у пациентов в будущем.

Результаты работы могут быть использованы в медицинских, социологических, маркетинговых исследованиях, при принятии управленческих решений, анализе надежности технических систем и в других областях.

Дипломная работа по специальности "Информационные системы и технологии" выполнена под руководством канд. техн. наук, профессора Р.Н. Каримова на кафедре "Прикладные информационные технологии" СГТУ и защищена в 2008 г.

Структура дипломной работы: введение, четыре раздела, заключение, список литературы из 28 наименований, четыре приложения; 110 страниц, 44 рисунка.

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ КЛАССИФИКАЦИИ ЭКСПЕРТНЫХ ПРЕДПОЧТЕНИЙ ДЛЯ СМЕШАННЫХ ШКАЛ

Л.А. Козлякова

Саратовский государственный технический университет, kozlyakova_l@mail.ru

Объектом исследования являются данные нечисловой природы результатов оперативных вмешательств при раке толстой кишки с локализацией опухоли в различных ее отделах.

Задачей работы является создание алгоритмов и программ дискриминантного анализа, адаптированных для данных нечисловой природы, для диагностики больных с помощью канонических дискриминантных функций.

Рассмотрены алгоритмы классификации данных, основанные на исследовании внутригрупповых и межгрупповых вариаций – канонические дискриминантные функции, классифицирующие функции. Сокращена размерность исходного пространства признаков методом многовыходовых частных ТСП.

Поставлена и решена задача определения корреляционной матрицы (матрицы связи) для нечисловых данных с применением коэффициентов Юла и коллигации. Построенная с помощью этого метода матрица корреляции внутри и между группами позволила применить классические методы дискриминантного анализа для классификации данных. Результаты решения задачи предъявлены экспертам для оценки внутренней и внешней валидности. Полученные результаты применены для принятия экстренного решения оперативного вмешательства онкологических больных с непроходимостью толстой и прямой кишки.

Разработанный алгоритм реализован программно на языке высокого уровня C#, что обеспечивает совместимость и межплатформенность (переносимость) приложения, а также его надежность. Работоспособность приложения демонстрируется решением задачи дифференциальной диагностики больных раком толстой кишки с локализацией опухоли в различных ее отделах.

Результаты исследований могут быть применены для решения широкого класса задач дискриминации в любых областях, где данные измерены в количественных и качественных шкалах.

Дипломная работа по специальности "Информационные системы и технологии" выполнена под руководством канд. техн. наук, профессора Р.Н. Каримова на кафедре "Прикладные информационные технологии" СГТУ и защищена в 2008 г.

Структура дипломной работы: введение, три раздела, заключение, список литературы из 29 наименований, четыре приложения; 115 страниц, 41 рисунок, 21 таблица.

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ПРОГРАММ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОПУСКОВ В МНОГОМЕРНЫХ ДАННЫХ МЕТОДОМ СИНГУЛЯРНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ

А.В. Антонов

Саратовский государственный технический университет, antonov_eng@mail.ru

Объектом исследования являются методы восстановления пропусков в многомерных числовых данных.

Задачей работы является создание комплекса программ для восстановления пропусков в многомерных данных методом сингулярного разложения.

Проведен обзор методов обработки многомерных числовых данных с пропусками, механизмов порождения пропусков, структуры пропусков и существующих способов восстановления пропусков. Подробно рассмотрен алгоритм восстановления пропусков в матрицах "объект-признак", основанный на сингулярном разложении исходной матрицы экспериментальных данных. Показано, что метод сингулярного разложения дает хорошие оценки пропущенных значений, особенно при восстановлении пропусков в сильно коррелированных данных, обладает рядом преимуществ перед другими методами восстановления пропусков. Рассматриваемый в работе алгоритм восстановления в настоящее время не имеет аналогов.

На объектно-ориентированном языке Java версии 1.6 разработан комплекс программ для восстановления пропусков в многомерных данных методом сингулярного разложения. Программный комплекс поддерживает работу с файлами данных форматов CSV и XML, что позволяет взаимодействовать со многими популярными статистическими пакетами прикладных программ.

Разработанный комплекс программ применен для восстановления пропусков в данных анализа крови у больных дифтерией. В дальнейшем полученные результаты использованы кафедрой факультетской терапии СМГУ для прогнозирования осложнений у пациентов.

Результаты работы могут быть использованы при анализе многомерных числовых данных, содержащих пропущенные значения, в различных областях деятельности: финансы, социология, маркетинговые исследования, медицинская диагностика и др.

Дипломная работа по специальности "Информационные системы и технологии" выполнена под руководством канд. техн. наук, профессора Р.Н. Каримова на кафедре "Прикладные информационные технологии" СГТУ и защищена в 2008 г.

Структура дипломной работы: введение, четыре раздела, заключение, список литературы из 27 наименований, четыре приложения;

110 страниц, 46 рисунков, три таблицы.

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ "МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ"

И.Е. Ремизов

Саратовский государственный технический университет, iliya_remezov@mail.ru

Спроектирован и изготовлен комплекс лабораторных работ по дисциплине "Метрология, стандартизация и сертификация" на базе универсального оборудования. Приведены описание устройств, методики и техники проведения лабораторных занятий и описание работ, схемы лабораторных установок, помогающие быстро собрать оборудование любой из ниже описанных работ. При подборе комплекта приборов, принадлежностей и материалов для занятий было уделено внимание тому, чтобы комплект был минимальным и универсальным, позволяющим выполнить методически правильно и технически грамотно все намеченные лабораторные работы.

Лабораторное оборудование содержит два лабораторных стенда и персональные компьютеры (ПК). Стенд для автоматического измерения веса и координат центра тяжести модели самолета представляет собой площадку с весоизмерительной

платформой, оснащенную блоком тензометрических датчиков и устройством сбора и передачи данных (УСПД) на ПК, на котором установлена специальная программа для обработки данных на основе метода наименьших квадратов. Передача данных осуществляется через интерфейс RS232. Установка позволяет проводить лабораторные работы по измерению веса и координат центра тяжести тел сложной формы.

Стенд для автоматического определения ускорения и уравнения движения скатывающегося шарика по наклонной плоскости представляет собой желоб, оборудованный системой оптоэлектронных датчиков и УСПД, подключенным к компьютеру через LPT-порт. На основе лабораторного стенда проводятся различные лабораторные работы по метрологии, связанные с точным определением моментов времени, а также по физике из раздела "Механика", связанные с движением тел по плоскости. Система датчиков и УСПД позволяет автоматически, без использования секундомера или метронома определить время скатывания шарика по желобу, данные передаются на ПК, где обрабатываются по МНК с помощью специальной программы, написанной на языке C++, результаты представляются в виде таблиц и графиков.

Созданное лабораторное оборудование портативно, эргономично и просто в использовании, не требует большого количества времени для его подключения и настройки.

Дипломная работа по специальности "Управление и информатика в технических системах" выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора А.А. Львова на кафедре "Техническая кибернетика и информатика" Саратовского ГТУ и защищена в 2008 г.

Структура дипломной работы: введение, три раздела, заключение, список литературы из 11 наименований, одно приложение; 86 страниц, 36 рисунков, семь таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ

Четырин С.Н., Киселев А.В. Моделирование течения потока жидкости в каналах роторно-импульсного аппарата	3
Локтюшев А.В. Макрокинетическое моделирование процесса углеродообразования	5
Уколов Ал-др А., Иванов О.О., Шарый Ю.В., Долгунин В.Н. Моделирование процессов переработки зернистых материалов с управляемыми сегрегированными потоками	9
Леонов Д.В., Муратова Е.И., Толстых С.Г. Математическое моделирование реологических свойств конфетных масс	11
Филатова Е.Ю. Математическая модель температурного поля рабочей области аппарата синтеза монометиланилина	13
Альбицкая Е.Н., Арзамасцев А.А. Моделирование аутостабилизации температуры в биореакторе с двумя биологическими объектами	15
Морозов С.А., Жаворонков В.А. Разработка интенсивной технологии биосинтеза бактериородопсина	18
Важинский Р.А., Романюк Е.В., Чугунова И.В. Математические модели процесса фильтрования пылегазового потока для вращающегося зернистого слоя	20
Романюк Е.В., Важинский Р.А., Чугунова И.В. Разработка математических моделей и программное обеспечение процесса фильтрования	21
Селезнев А.В., Гольцева Л.В. Интеллектуальная информационная система для изучения методов моделирования теплообменных аппаратов	23
Горбенко О.О. Математическая модель процесса разделения трехкомпонентных водно-спиртовых смесей испарением через мембрану	24
Ляшенко А.В. Построение математической модели с учетом динамики протекающих процессов	28
Киссельман И.Ф. Математическое моделирование абсорбции аммиака в колонне с вращающейся псевдоожиженной насадкой	30
Киссельман И.Ф. Оптимизация конструкционных параметров абсорбера с вращающейся псевдоожиженной насадкой	31
Романенко М.А., Смолихина П.М., Муратова Е.И. Проектирование рецептур сбивных конфет	33
Денисов С.Ю., Литовка Ю.В. Моделирование процесса нанесения гальванопокрытий на детали большой протяженности	35
Пещерова О.В. Разработка процесса и аппарата утилизации послеспиртовой барды	36
Кудинов Н.В. Технология имитационного моделирования сложных динамических систем с иерархической структурой	39
Дворецкий Д.С., Пешкова Е.В., Пешкова И.В. Исследование работоспособности проектируемых ХТС в условиях интервальной неопределенности данных	42
Плотникова Ю.В., Арзамасцев А.А. Оптимальное проектирование биотехнологических процессов с использованием методов математического моделирования	45
Новикова И.А. Оптимальная организация многопоточного теплообмена с гидродинамикой "смешение – смешение"	46
Синяков Н.С., Литовка Ю.В. Оптимальное размещение деталей в гальванической ванне с точки зрения критерия равномерности	49
Тормасин С.И., Литовка Ю.В. Оптимизация процесса получения наномодифицированных композиционных гальванопокрытий	51

Кузнецов А.С., Бородин А.В. Компьютерная система "Развозка готовой продукции по торговым точкам"	52
Федотова Н.В., Бирюков В.В., Поляков А.Н. Оптимизация процесса ферментализации глютена для получения ростового субстрата в процессах ферментации	54
Плехов П.В. Выбор критерия оптимальности технического обслуживания и ремонта технологического оборудования	55
Беккер М.В. Принятие решения о ремонте технологического оборудования	58
Никитин А.И., Никоноров С.Н., Старшов Г.И., Сопляченко В.Н. Оптимизация и управление процессом сушки макаронных изделий в жалюзийных сушилках	60
Наумова Н.А., Данович Л.М., Савин В.Н., Гавриленко А.С. Оптимизация задержек автомобилей на регулируемом перекрестке	63
Мибуро Закари. Факторы выбора оптимального состава кормовой смеси для рыб осетровых пород	64
Хамидуллина Д.А., Кондрашева С.Г., Лашков В.А., Голубев Л.Г. Расчет эксергетических показателей работы камерной сушилки пиломатериалов	66
Хамидуллина Д.А., Кондрашева С.Г., Лашков В.А. Анализ возможности повышения эффективности сушки пиломатериалов в установках камерного типа	67
Кириянов В.В. Универсальное устройство для электрообработки жидких сред	69
Стельмах Л.С., Шепелев В.В., Столин А.М., Дворецкий Д.С. Неизотермический метод прочностного расчета пресс-формы на основе математического моделирования	71
Генералов М.Б., Клевлеев В.М., Кузнецова И.А., Пилягина А.О. Исследование динамического процесса волочения порошкообразного материала через коническую фильеру	74
Егоров Д.А. Моделирование болтовых соединений деталей при расчетах методом МКЭ в программе APM WINMACHINE	76
Складчикова Ю.В. Исследование фрикционных свойств белых корней пастернака	79
Петровичев С.В. Физическое и математическое моделирование объектов регулирования	81
Нейдорф Р.А., Панков-Козочкин П.А. Математическая модель связи прямых и косвенных показателей качества замкнутых автоматических систем	84
Бочаров М.Г., Панько М.А. Анализ влияния фильтра при дифференциальной составляющей регулятора на качество переходных процессов	87
Шуколюкова К.А. Динамика системы позиционного регулирования с переменной структурой	90
Затолюкина А.А., Балакирев В.С. Комбинированное диагностирование автоматических систем регулирования	92
Ерышлова М.Н. Управление нагреванием нестационарного объекта	95
Гудков С.В., Хромов А.Ю., Дворецкий С.И. Управление подачей диоксида углерода и азота в динамической установке "Искусственные легкие"	98
Гавриленков Ю.А., Бородин А.В. Система управления запасами сырья перерабатывающего предприятия в условиях неопределенности поставок	100
Заев А.А., Заева М.А., Софиев А.Э. Построение беспроводной автоматизированной системы управления технологическим процессом	102
Гребенников Р.В., Муромцева И.Я. Гибридизация экспертной системы для проектирования алгоритмов управляющих устройств	104
Муромцев Д.Ю., Чернышов Н.Г., Аксенов В.В. Применение когнитивной графики в информационно-управляющих энергосберегающих системах	107
Данилкин С.В., Коток Ю.И. Информационно-управляющая система водонагревательного котла	108
Мокляченко А.В. К вопросу управления качеством и экологической безопасностью в стекольном производстве	111
Луцкова Л.В., Лопандина С.К. Автоматизация процесса проектирования головных уборов	113
Полушенко И.Г., Куликова Т.В. Программное обеспечение технологических процессов швейного производства	115
Козьмина И.М., Рылов В.А. Повышение точности оптико-акустических газоанализаторов	117
Попков С.А., Рылов В.А. Контроль чистоты газов, растворенных в жидкости	119
Ерышов А.Е. Способ виртуального определения влажности пастообразных материалов на основе нейронной сети	122
Чернова Г.А., Карабанова Е.П. Калибровка портативных гамма-спектрометров по профилю глубинного распределения ¹³⁷ Cs в почве	123

Толчёнов А.А., Парамонов Е.А. Определение параметров математической модели тонкослойной хроматографии	125
Рухов А.В., Карлук В.А. Проточный датчик концентрации водорода для установки синтеза углеродных волокнистых наноструктур	128
Обухов Ю.М., Макаров Р.И. Контроль технологического процесса нагрева в производстве закаленного стекла	129
Мазанова В.И. Ключевые характеристики технологического процесса производства безопасного закаленного стекла	131
Крюков А.К., Погонин В.А. Задача выбора структуры информационной системы контроля и учета энергоресурсов	133
Любимов А.Ю., Колбасин Д.И., Селиванова З.М. Модель интеллектуальной информационно-измерительной системы контроля теплофизических свойств материалов	135
Колбасин Д.И., Любимов А.Ю. Модель интеллектуального интерфейса информационно-измерительной системы	137
Князев В.А., Селиванова З.М. Математическое моделирование информационно-измерительных систем контроля	139
Неретин Е.С., Чубаров О.Ю. Экспериментальная учебная лаборатория "Электрические измерения неэлектрических величин"	141
Чувилкин А.В., Гордеев А.С. Прогнозирование потребления электроэнергии сельскохозяйственными предприятиями с использованием нейронных сетей	144
Сапожников А.М., Лукашенок А.В. Использование нейронных сетей для краткосрочного прогнозирования нагрузки в энергетике	148
Дёмин Е.Л., Гиляров В.Н. Прогноз продаж на основе мониторинга материальных и финансовых потоков	149
Дроздов Д.В. Прогнозирование качества плодов на базе нейронных сетей	151
Дроздов Д.В. Оптимизация структуры нейронных сетей при прогнозировании качества плодов	154
Фокин А.А. Математическая модель энергосбережения при электродосвечивании растений светодиодами	156
Поздникина Е.Г., Арзамасцев А.А. Математическое моделирование задачи о сохранении вкладов	159
Муромцев Д.Ю., Белоусов О.А. Задачи устойчивого развития социально-экономических систем	161
Степанова А.С., Муромцев Ю.Л. Проектирование радиоэлектронных систем в постиндустриальном обществе	163
Гаврилова Т.С. Геоинформационные системы в задачах социально-гигиенического мониторинга	165
Иванова Е.В. Многоагентная система внеучебной работы вуза	168
Назойкин Е.А. Агентно-ориентированная имитационная модель процесса подготовки студентов	170
Белякова Е.А. Информационная технология для поддержки мониторинга качества образования в университете	173
Полунина О.В. Определение потребности высшего учебного заведения в технических средствах обучения	175
Панкова Е.А. Методика выбора уровня зрелости организации	177
Слюнкова О.А., Хорошева Е.Р. Оценка организационной структуры системы экологического мониторинга стекольного завода	179
Ляпин Н.Р. Прогнозирование прохождения последовательности действий в бизнес-процессе	181
Воробьева М.С., Багров Р.В. Разработка модулей для расчета и отображения технических параметров оборудования	183
Бабилов А.Ю., Бородин А.В. Статистическая обработка данных полиграфных психофизиологических обследований	184
Солодухин Д.А. Программная система "Репозиторий программного обеспечения"	187
Заболотько Н.А. Смешанные веб-приложения	190
Егорова И.В. Расчет и моделирование нагрузки на веб-сервер	192
Бобкова В.А., Комиссаров С.А. Электронный учебник по использованию флэш-технологий при создании веб-сайтов	194
Ильина А.Ю. Проектирование пользовательского интерфейса системы управления распределенным предприятием	195
Ластовкин М.А. Математическая модель изменения эффективности защиты компьютера с течением времени	198
Санитаров А.В., Гиляров В.Н. Тренажерный программный комплекс для производства газобетона	201
Васильев А.С., Хворов А.А. Моделирование устройств для передачи информации в системах с направленными виртуальными сетями	203

Малев П.В. Надежность и риски локальных сетей	204
Бондаренко В.А., Нейдорф Р.А. Оптимизация производительности систем управления базами данных ORACLE	206
Денисенко В.И., Дьяченко А.П. Математическое моделирование производственного риска машиностроительных предприятий	208
Волков В.В. Решение задачи распознавания образов телефонных звонков в лог-файлах цифровых автоматических телефонных станций	210
Киселёв В.В., Светлов М.С. Цифровое телевидение на базе технологии универсального широкополосного беспроводного доступа	213
Проскураков Г.М., Пальков Р.С. Комплексный векторный метод решения задач навигации и ориентации	216
Проскураков Г.М., Савельев А.Ю. Геомагнитный метод пространственной навигации и ориентации	219
Наумов С.Г. К вопросу о демпфировании колебаний Шулера в инерциальной навигационной системе	222
Краснов В.Д. Использование GPS-технологий для составления плана паркового массива	225
Богданов Р.И., Богданов М.Р. Тепловые процессы в слабо-диссипативной теории Колмогорова – Арнольда – Мозера	226
Архипов В.П., Чопчиян С.А. Асимптотика решений вырождающихся дифференциальных уравнений второго порядка	229
Никоноров А.В. Решение линейных систем с переменными параметрами на основе функций Уолша	231
Никифоров И.К. Обработка сигналов на основе вейвлет-преобразований	234
Кобак В.Г., Хуляян А.Г. Исследование модели генетического алгоритма в неоднородных системах	239
РЕФЕРАТЫ МАГИСТЕРСКИХ ДИССЕРТАЦИЙ И ДИПЛОМНЫХ РАБОТ	
Батманов А.А. Разработка технологии и оборудования для получения водотопливных эмульсий	241
Нечайкина Е.В. Исследование технологии солодоращения с применением ферментных препаратов и разработка аппаратно-технологического оформления	242
Нечайкин П.М. Исследование процесса микроволновой пастеризации пива	243
Иншакова О.Ю. Разработка технологии и оборудования для производства биодизеля из растительных масел	244
Гривенев Д.А. Построение математической модели для системы регулирования скорости вращения вала генератора	244
Федина П.А. Автоматизированный контроль жирорастворимых антиоксидантов в пищевых продуктах	246
Масловская М.Ю. Оптимизация метрологических характеристик автоматического оптико-акустического газоанализатора в широком диапазоне концентраций	247
Хавалкина Н.И. Автоматизированный контроль оксидов азота	248
Мельцаева О.А. Исследование и разработка математического обеспечения информационной системы управления производством триплекса	249
Михайлов А.О. Исследование и разработка алгоритмов поддержки принятия решений оперативного управления производством	250
Красноперов И.С. Исследование математического обеспечения информационной системы экологического менеджмента на примере стекольного завода	251
Волков В.В. Биллинговая postpaid система для малых автоматических телефонных станций	252
Стадник А.С. Объектно-ориентированная система доступа к реляционной системе управления базой данных	253
Богданов Л.Ю. Разработка комплекса программ реализации экспертных предпочтений на основе логистических регрессионных моделей	254
Козлякова Л.А. Построение моделей классификации экспертных предпочтений для смешанных шкал	255
Антонов А.В. Разработка комплекса программ для восстановления пропусков в многомерных данных методом сингулярного разложения	256
Ремизов И.Е. Разработка комплекса лабораторных работ по дисциплине "Метрология, стандартизация и сертификация"	257