



XV МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**"МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
В ТЕХНИКЕ И ТЕХНОЛОГИЯХ"**

СБОРНИК ТРУДОВ

Т О М 5



Тамбов
2002

Министерство образования Российской Федерации
Министерство промышленности, науки и технологий Российской Федерации
Администрация Тамбовской области
Тамбовский государственный технический университет
Тамбовский научно-исследовательский химический институт
Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева
Московский государственный университет инженерной экологии
Институт проблем химической физики РАН
Санкт-Петербургский государственный технологический институт
Institute of Hydrodynamics Academy of Sciences of the Czech Republic
Ангарская государственная техническая академия
Ростовская-на-Дону государственная академия
сельскохозяйственного машиностроения
Федеральная целевая программа "Интеграция"

XV МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**"МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
В ТЕХНИКЕ И ТЕХНОЛОГИЯХ"
ММТТ-15**

СБОРНИК ТРУДОВ

Т О М 5

СЕКЦИИ 5, 6

Тамбов
• Издательство ТГТУ •
2002

УДК 077:159.955:658:61+51.001.891.573:009:33
ББК $\text{з}813+У.В6$
М336

Печатается по решению Редакционно-издательского совета ТГТУ

Редакционная коллегия:

Доктор технических наук, профессор В. С. Балакирев (*общая редакция*)
Доктор технических наук, профессор С. В. Мищенко
Доктор технических наук, профессор С. И. Дворецкий
Доктор технических наук, профессор А. А. Большаков

М33 Математические методы в технике и технологиях:
6 Сб. трудов XV Международ. науч. конф. В 10-и т. Т.
5. Секции 5, 6 / Под общ. ред. В. С. Балакирева. Там-
бов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2002. 296 с.
ISBN 5-230-06-9640-3

В сборнике публикуются труды участников XV Международной научной конференции "Математические методы в технике и технологиях", состоявшейся 4 – 6 июня 2002 г. в Тамбовском государственном техническом университете.

Представленные материалы отражают современные направления развития и применения методов искусственного интеллекта в технике, технологиях и медицине. Рассмотрено применение математических методов и информационных технологий в экономических и гуманитарных науках.

Сборник предназначен для специалистов, занимающихся информатизацией и интеллектуализацией технологических, экономических и гуманитарных процессов.

Доклады рецензированы Программным комитетом конференции ММТТ-15.

УДК 077:159.955:658:61+51.001.891.573:009:33
ББК $\text{з}813+У.В6$

ISBN 5-230-06-9640-3

© Тамбовский государственный
технический университет, 2002



СЕКЦИЯ 5

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ
В ТЕХНИКЕ, ТЕХНОЛОГИЯХ И
МЕДИЦИНЕ**





СЕКЦИЯ 6

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И
ЗАДАЧИ В ЭКОНОМИЧЕСКИХ И
ГУМАНИТАРНЫХ НАУКАХ**



Научное издание

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В
ТЕХНИКЕ И ТЕХНОЛОГИЯХ**

Сборник трудов XV Международной научной конференции

Том 5

Технический редактор Т. М. Глинка
Компьютерная верстка А. В. Майстренко
Компьютерное макетирование М. Н. Рыжковой
Корректоры: С. В. Карпушкин, Д. С. Дворецкий, Т. М. Глинка

Подписано к печати 24.05.2002
Формат 60 × 84/16. Бумага офсетная. Печать офсетная
Объем: 17,20 усл. печ. л.; 16,9 уч. изд. л.
Тираж 165 экз. С. 383^М

Издательско-полиграфический центр ТГТУ
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ
КУЛЬТИВИРОВАНИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ
В УСЛОВИЯХ ИНФИЦИРОВАНИЯ

Суханова Н. В., Дободейч И. А.,
Воронежская государственная технологическая академия

ЗАДАЧА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ В УСЛОВИЯХ ИНФИЦИРОВАНИЯ ЯВЛЯЕТСЯ ВЕСЬМА АКТУАЛЬНОЙ. ИНФИЦИРОВАНИЕ – ЭТО ОБСЕМЕНЕННОСТЬ ПОЛЕЗНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ (НАПРИМЕР, ДРОЖЖЕЙ) "ДИКИМИ". НАЛИЧИЕ В ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ, КРОМЕ ПОЛЕЗНОЙ КУЛЬТУРЫ, ДРУГИХ МИКРООРГАНИЗМОВ, В ЧАСТНОСТИ "ДИКИХ" СУЩЕСТВЕННО УХУДШАЕТ КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КОНЕЧНОГО ПРОДУКТА. ПОЭТОМУ БОРЬБА С ИНФЕКЦИЕЙ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ АНТИБИОТИКОВ ТРЕБУЕТ ЭФФЕКТИВНЫХ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ИХ ПОДАЧЕЙ.

В качестве математической модели, описывающей ситуацию конкурентного взаимодействия микроорганизмов из-за потребления одного ресурса, может использоваться система Лотки-Вольтерра [1]. Эта система адаптированная для процесса культивирования микроорганизмов, с учетом функции управления $u(t)$ имеет следующий вид [2]:

$$\begin{cases} dx_1/dt = x_1(b_1 - a_1x_1 - a_2x_2) \\ dx_2/dt = -x_2(a_3x_1 + a_4x_2) + b_2(x_2 - u(t)) \end{cases} \quad (1)$$

где x_1 и x_2 – концентрации полезной популяции и "диких" микроорганизмов; $b_1, a_1, a_2, b_2, a_3, a_4$ – коэффициенты; концентрация $x = x_1 + x_2$ и $x_2 \ll x_1$.

Ставится задача найти оптимальный закон управления $u(t)$ подачей антимикробных препаратов, подавляющих "дикую" микрофлору с целью снижения инфицирования целевого продукта и сокращения расхода сырьевых ресурсов.

Решение системы уравнений (1) можно искать в виде $x_2(t) = f(t)x_1(t) + c_0$, где $f(t)$ – некоторая функция, c_0 – постоянная. Причем, если количество "диких" микроорганизмов значительно меньше полезной популяции $x_2 \ll x_1$, то можно довольствоваться линейным приближением, т.е. $f = c$.

Можно показать, что функция управления в этом случае имеет вид:

$$b_2 u(t) = c_0(b_2 - c_0 a_4) - x_1 \left[c_0 a_3 + (2c_0 a_4 - b_2 + b_1 - c_0 a_2) f + \frac{df}{dt} \right] - x_1^2 f [a_3 - a_1 + (a_4 - a_2) f]. \quad (2)$$

Функция $f(t)$ может выбираться либо эвристически, либо по критерию оптимизации.

Если использовать допущение [2]

$$dx_2/dt = b_2 x_2 - r \psi_2(t), \quad \text{при} \quad \frac{d\psi_2}{dt} = -b_2 \psi_2(t) \quad \text{и} \quad r = \frac{b_2^2 T}{2q}, \quad (3)$$

то согласно (1)

$$b_2 u(t) = C_2 r e^{-\int b_2 dt} - x_2 (a_3 x_1 + a_4 x_2), \quad x_2(t) = e^{\int b_2 dt} \left[c_3 - c_2 \int r e^{-2 \int b_2 dt} dt \right]. \quad (4), (5)$$

А из первого уравнения системы (1) (после деления слагаемых на x_1^2), следует уравнение $-dx_1/dt x_1^2 + (b_1 - a_2 x_2) / x_1 - a_1 = 0$, которому при использовании (5) соответствует

$$\frac{1}{x_1} = e^{-\int b_1 dt} e^{\int a_2 x_2 dt} \left[c_4 + \int a_1 e^{\int b_1 dt} e^{-\int a_2 x_2 dt} dt \right]. \quad (6)$$

Таким образом, из (4) с учетом выражений (5) и (6) видно существенное отличие закона управления, соответствующего допущениям (3) от управлений $b_2 u(t) = C_2 r e^{-\int b_2 dt}$ и $u(t) = 2x_2(t)$, заявленных в [2], как оптимальные для (1) при (3); отсутствие произвольной функции в выражении (4), варьируя которой можно удовлетворить какому-либо критерию оптимизации, в отличие от выражения (2).

1. ВОЛЬТЕРРА В. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ БОРЬБЫ ЗА СУЩЕСТВОВАНИЕ / ПОД РЕД. Ю. М. СВИРЕЖЕВА. М.: НАУКА, 1976.

2. Россихина Л. В. Синтез алгоритмов и систем управления процессом культивирования. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Воронеж, ВГТА, 2001.

Алгоритм многокритериальной оптимизации ЮСУПОВ Т. А., ЕМЕЛЬЯНОВ В. М., ДУЕВ С. И. КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Пусть в области $S = \Phi \cap \Pi$, где Φ задана множеством функциональных ограничений, а Π – параллелепипед $[a, b] \in R^n$, определены критерии $K_i, i = \overline{1, m}$.

От всех функционалов и критериев требуются тривиальные и легко выполнимые условия действительности, однозначной определенности и кусочной непрерывности. Каждый критерий имеет оптимум (max или min), порядок расположения которых роли не играет, для наглядности назовем их орт. Удовлетворение критериев физическому смыслу обеспечивается допустимыми пределами K^+ и K^- .

Требуется найти множество эффективных точек (множество Парето), наиболее полно удовлетворяющее условиям $K_i^- \leq K_i \leq K_i^+, i = \overline{1, m}$.

Эффективной (неулучшаемой) точкой понимается такая допустимая точка, которая в сравнении с любой другой допустимой лучше нее хотя бы по одному критерию K_i .

Предлагаемое решение состоит из двух частей: начальное определение точек Парето по методу [1]; улучшение полученного множества с помощью программы, использующей субградиентный метод и линейное программирование (ЛП), и на этой основе сужение области Парето.

Рассмотрим подробнее алгоритмы предложенных методов.

1. Составляется таблица испытаний ТИС, которая в отличие от [1] имеет число точек, не обязательно кратное 2^n , а значительно меньшее.

Здесь приходится констатировать то, что использование рекомендаций только [1] требует очень большого количества испытаний, при этом необходимо выполнение условия высокой степени равномерного распределения точек последовательности. В предлагаемом вниманию алгоритме все это не является обязательным, так как в дальнейшем на шаге 2 нам удастся подправить эти издержки. И даже сама таблица целочисленных коэффициентов из [1] заменена на простенькую схему

$$C_1 = 0,0, \quad C_i = /1 - 1,95C_{i-1}/, \quad i = 2, 3, \dots$$

Такая последовательность в достаточной степени равномерно распределена на параллелепипеде Π , и чем больше n , тем больше это проявится.

Затем путем попарного сравнения точек и их сортировки подобно [1] находится первоначальное эффективное множество. Очевидно, что из-за малого числа испытаний полученный объем информации будет неполным, поэтому применяем шаг 2, суть которого состоит в следующем.

2. По каждому критерию берется наилучшая в отсортированной ПС точка и проводится попытка еще раз улучшить ее. Эту задачу рассмотрим в следующей постановке.

Обозначим все критерии и функционалы через множество $F = \Phi \cup K$, причем $F^* < F < F^{**}$.

Определим еще вектор ОРТ:

$ОРТ_i = 0$, если F_i – функционал; $ОРТ_i = +1$, если критерий на max; $ОРТ_i = -1$ если критерий на min.

Имеется точка $x_0 \in \Pi$, и необходимо найти направление, улучшающее ее при указанной постановке. Очевидно, может оказаться, что не все $F_i(x_0)$ удовлетворяют условию $F^* < F < F^{**}$, поэтому определим функцию штрафа α .

$$\alpha_i = \begin{cases} F_i(x_0) - K_i^+, & \text{если } F_i \text{ является критерием } K_i \\ F_i(x_0) - F_i^*, & \text{если } F_i \text{ функционал и } F(x_0) \leq F_i^* \\ F_i(x_0) - F_i^{**}, & \text{если } F_i \text{ функционал и } F(x_0) \geq F_i^{**} \\ 0, & \text{если функционал } F_i \text{ удовлетворяет условию } F^* < F < F^{**} \end{cases}$$

В дальнейшем в рассмотрении будут участвовать лишь те критерии и функционалы, для которых $\alpha_i(x_0) \neq 0$. Функция штрафа играет роль центрирующей силы.

Построим линейную форму, используя тот факт, что любое направление, составляющее с градиентом данной функции острый (тупой) угол, будет характеризовать ее рост (убывание).

$$J_F(x_0) * Y + \alpha(x_0) * \bar{Y} = 0, \quad A - x_0 \leq Y \leq B - x_0, \quad \bar{Y} \geq 0,$$

$J_F(x_0)$ – якобиан вектора-функции F в точке x_0 , когда F – дифференцируема или какой-нибудь аналог его в противном случае. Если удастся найти Y и \bar{Y} , не равные тождественно нулю и удовлетворяющие данному уравнению, то Y и будет определять искомое направление. Он находится с помощью задачи линейного программирования (ЗЛП), которая имеет вид: найти $\max [\alpha(x_0) \bar{Y} / |F(x_0) - F_{\text{предыд.}}|]$ при условиях

$$J_F(x_0) Y + \bar{Y} = 0, \quad A - x_0 \leq Y \leq B - x_0,$$

\bar{Y}_i имеют тот же знак, что и $\alpha_i(x)$.

После нахождения Y определяется точка $x_1 = x_0 + TY$, где $0 \leq T \leq 1$, соответствующая оптимуму обобщенной функции

$$\max_x \sum_{i=1}^{m+p} \frac{\{ОРТ_i + \text{sign}[F_{\max i} - F_i(x)] + \text{sign}[F_{\min i} - F_i(x)]\} * [F_i(x) - F_{isr}]}{F_{\max i} - F_{\min i}},$$

где p – число функционалов, рассматриваемых в данной итерации.

1. Соболев И. М., Статников Р. Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. М.: Наука, 1981.

Обычно при оптимизации кристаллизаторов приходится решать две задачи [1]. Первая задача сводится к определению оптимальных значений технологических параметров процесса для различных типов конструкций кристаллизатора. Ко второй задаче относится определение оптимального вида кристаллизатора из совокупности заданных. В первой задаче в качестве целевой функции используют такие показатели как прибыль, себестоимость, производительность. Во второй задаче в качестве целевой функции выбирают затраты на оборудование, расходы энергии на работу кристаллизатора и т.п. Кроме этого, как для первого, так и второго случаев, необходимо учитывать наличие ограничений на оптимизируемые параметры.

Нами разработана методика оптимального расчета цепочки кристаллизаторов полного перемешивания, позволяющая при заданных по результатам решения первой задачи начальных и конечных концентраций и температур и при произвольных зависимостях роста и зародышеобразования кристаллов определить переохлаждение в каждом аппарате, при которых время пребывания продукта в каскаде $R = \sum_{i=1}^N \tau_i$ будет минимальным. В качестве ограничений приняты условия обеспечения стабильной работы каждого аппарата и желаемого гранулометрического состава продукта.

При разработке математической модели i -го кристаллизатора, анализа ее стационарных решений на устойчивость и расчете характеристик гранулометрического состава продукта использовался унифицированный момент функции распределения кристаллов по размерам [2]:

$$\mu_\ell = \int_0^\infty H(x)^{3-\ell} x^\ell f(x,t) dx, \quad \text{при } \ell = 0, 1, 2, 3,$$

где $f(x,t)$ – дифференциальная функция распределения кристаллов по размерам x в момент времени t ; $\beta = H(x)\lambda$ – линейная скорость роста кристаллов, зависящая от размера кристаллов и некой функции λ от переохлаждения или перенасыщения раствора.

Составлена расчетная схема для определения функции распределения в i -ом аппарате и ее моментов в стационарных режимах с учетом возможности образования новых кристаллов в каждом из аппаратов. Разработанный пакет программ использован для поиска оптимального числа аппаратов смешения и режимов их работы, обеспечивающих минимальное время пребывания получаемого продукта в случае непрерывной перекристаллизации некоторых фармацевтических продуктов из водно-этанольных растворов.

1. КАФАРОВ В. В., ДОРОХОВ И. Н. И ДР. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ. ПРОЦЕССЫ МАССОВОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ... М.: НАУКА, 1983.

2. Супрунов Н. А., Лабутин А. Н. Изв. ВУЗов. Химия и хим. технология. 1989. Т. 32, В. 1.

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА РЕГЕНЕРАЦИИ КАТИОНИТА ПРИ ОБЕССОЛИВАНИИ ВОДЫ

Чохонелидзе А. Н., Луцик В. И., Григорьев В. И., Бобров И. В.

Тверской государственный технический университет, maci@tstu.tver.ru

Обессоленную воду потребляют многие сотни производств. Крупнейшие потребители такой воды – ТЭС и ТЭЦ испытывают все больший дефицит свежей природной воды для получения пара высоких параметров. Значительный расход воды связан не только с переводом ее в пар, но и с обеспечением технологии ионообменного обессоливания цехов водоподготовки энергетических предприятий. В результате ионного обмена катионы улавливаются катионитовыми фильтрами, которые периодически по мере насыщения подвергаются регенерации с использованием разбавленной серной кислоты [1]. В результате получают содержащие сульфаты кальция и магния растворы. Утилизация которых представляет собой серьезную экологическую проблему.

Нами осуществлена оптимизация процесса регенерации катионита КУ-2-8 сильной минеральной кислотой. С этой целью проведен анализ априорной информации [2] и выбраны наиболее интенсивные факторы, влияющие на протекание ионообменного процесса. Построена полиномиальная модель, описывающая зависимость времени достижения заданного уровня регенерации от концентрации кислоты, скорости фильтрования раствора через слой катионита, высоты слоя катионита и среднего радиуса его зерен. Проведен физико-химический анализ модели и определена область оптимальных условий осуществления процесса регенерации.

Разработаны технологические рекомендации по замене серной кислоты на другую сильную минеральную кислоту и осуществлению регенерации в оптимальных условиях. Это позволит в ~1,5 раза повысить скорость процесса, уменьшить расход кислоты и промывной воды, использовать раствор после регенерации в качестве ценного вторичного продукта.

1. Гребенюк В. Д., Мазо А. А. Обессоливание воды ионитами. М.: Химия, 1980.
2. Зеликман А. Н. Вольман Г. М., Белявская Л. В. Теория гидрометаллургич. процессов. М.: Metallurgia, 1983.

Интенсификация процесса очистки воды

Чохонелидзе А. Н., Луцик В. И., Бобров И. В.
Тверской государственной технической университет, maci@tstu.tver.ru

Проблема очистки сточных вод от загрязнения с каждым годом приобретает все большую актуальность. Накопление токсичных отходов от промышленных предприятий, а также загрязнение источников и общая экологическая обстановка, требуют повышения степени очистки и мощностей водоочистных сооружений, многие из которых не отвечают предъявляемым к ним требованиям. При выборе метода очистки и его аппаратного оформления в наиболее ответственных случаях используется опыт работающих в аналогичных условиях сооружений. Математическое моделирование и экспериментальное исследование процесса очистки воды применяют редко, хотя именно моделирование позволяет выбрать оптимальный режим очистки воды. Радикальным решением, с точки зрения экологии, является создание и внедрение безотходных технологических процессов.

Анализ существующих методов очистки показал (рис. 1), что наиболее широкое распространение получили следующие основные способы очистки воды: механический, физико-химический, химический и биохимический. Основным фактором при выборе метода, которым будет обрабатываться вода, является фазовое состояние вещества, а свойства воды зависят от степени дисперсности внутренней фазы.

Обычно на практике для интенсификации процесса применяются комплексные методы очистки. Примером такой очистки является использование флотации (рис. 2) для фракционирования микроорганизмов активного ила и последующего добавления в сточные воды только физиологически активных микроорганизмов [1], [2].

Проведенные ранее исследования в основном затрагивали элементарный акт флотации, не уделяя внимания процессам происходящим в пенном слое, хотя было установлено что устойчивость пен зависит не только от поверхностных сил, но и от гидродинамики пленки. Нами предлагается описать флотационный процесс системой из трех уравнений, характеризующих переход частиц из состояния A в состояние B и далее в состояние C , причем на каждой стадии возможны и обратные переходы:

$$dC_A/d\tau = -K_1C_A + K_2C_B - K_5C_A + K_6C_C; \quad dC_B/d\tau = K_1C_A - K_2C_B - K_3C_B + K_4C_C; \quad dC_C/d\tau = K_3C_B - K_4C_C - K_5C_C + K_6C_A,$$

где A – исходное состояние частиц; B – состояние прилипания и закрепления частиц на пузырьках; C – состояние частиц в пенном слое; C_A, C_B, C_C – концентрация частиц в состоянии A, B, C ; $K_i, i = \overline{1, 6}$ – константы скоростей переходов из каждого состояния в последующие состояния и обратно.



Рис. 1. Классификация методов очистки воды

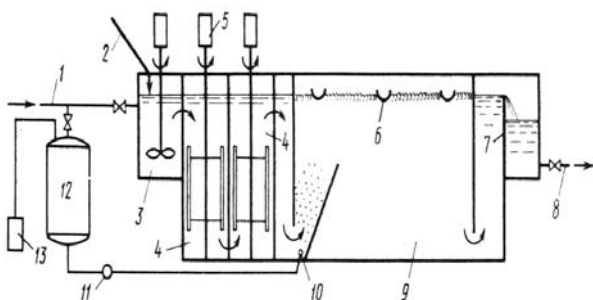


Рис. 2. Схема установки напорной флотации:

- 1 – подача исходной воды; 2 – подача реагентов; 3 – смеситель; 4 – флокуляторы; 5 – электроприводы; 6 – желоба для сбора пены; 7 – водослив; 8 – отвод осветленной воды; 9 – камера флотации; 10 – насадки распределения водовоздушной эмульсии; 11 – редуктор; 12 – напорный бак; 13 – компрессор

Предложенные уравнения раскрывают кинетические параметры одной из стадий процесса флотации, но не раскрывают его физико-химические основы, поэтому предлагается поэтапное рассмотрение процесса флотации: образование комплекса частица-пузырек (состояние *A*) и его сохранение; транспортировка комплекса частица-пузырек и его переход из жидкости в пену (состояние *B*); состояние пенного слоя и возможности существования в нем комплексов частица-пузырек (состояние *C*).

1. ПОГОРЕЛОВ А. Г. ОБРАТНЫЕ ЗАДАЧИ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ХИМИЧЕСКОЙ КИНЕТИКИ. М.: НАУКА, 1988.

2. Дерягин Б. В., Духин С. С., Рунев Н. Н. Микрофлотация. М.: Химия, 1986.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛОВЫХ СХЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЗИФИКАЦИИ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА В ЭНЕРГОУСТАНОВКАХ

Ефимов Н. Н.

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ)

Дальнейшее развитие энергетики во многом зависит от возможности использования высокочольных твердых топлив на тепловых электростанциях. Основными требованиями к энергоустановкам в буду-

щем становятся – их эффективность, маневренность и экологическая чистота производства. Эффективность циклов энергопроизводства связывается с применением газовых турбин как надстройки к паросиловым тепловым схемам. Это создает условия для широкого внедрения в энергетике газификации твердого топлива, которая удовлетворяет и другим требованиям – создание экологически чистых и маневренных установок. Газификация может быть низкотемпературной (при 800 ... 1100 °С) и высокотемпературной в расплаве шлака (при 1450 °С и выше). Газификация топлива выгодна тем, что можно использовать низкокалорийное топливо. В газификаторах удобно использовать добавки, уменьшающие количество вредных выбросов и, таким образом, повышающие экологическую чистоту производства электроэнергии.

Нами проанализированы пути повышения эффективности и оптимизации тепловых схем использования низкорекреационных твердых топлив в энергоустановках, работающих при переменных режимах с применением газификации углей.

Считается [1], что генераторный газ после газификации обладает небольшой теплотой сгорания (всего 4 ... 5 МДж/м³). Однако на выходе из газификатора газ имеет высокую температуру, а сумма физического и химического теплосодержания в пересчете на 1 кг равна теплоте сгорания исходного топлива. Важно только грамотно использовать эти две различные формы теплосодержания. Поэтому на ТЭС газификацию рационально проводить непосредственно перед котлом или газовой турбиной, чтобы не потерять физическое тепло генераторного газа.

Эффективность использования твердых топлив при газификации зависит от многих переменных. Теплосодержание генераторного газа можно представить функцией $Q_{г.г} = f(Q_{ф.г}, Q_{х.г}, I/A^p)$, где $Q_{ф.г}, Q_{х.г}$ – физическое и химическое теплосодержание генераторного газа.

Тепловой эффект, получаемый в энергоустановке, определяется формуле

$$Q_3 = k_1(Q_{х.г} k_2 + Q_{ф.г} k_3 / k_2^{-1}) \eta,$$

где k_1 – коэффициент, учитывающий технологические особенности процесса газификации, которые влияют на физическое и химическое теплосодержание газа (например, дополнительный подвод природного газа; потери тепла, связанные с отводом генераторного газа на другие цели); k_2 – коэффициент, учитывающий изменение теплосодержания газа при подаче в зону газификации водяного пара с целью регулирования температуры; коэффициент k_3 учитывает потери физического тепла газа при охлаждении его на пути от газификатора до энергоустановки; η – к.п.д. использования генераторного газа в энергоустановке.

Установка в непосредственной близости перед энергоагрегатом газификаторов твердого топлива позволяет практически полностью использовать теплоту сгорания исходного твердого топлива. Образующийся генераторный газ может направляться как на газовую турбину после предварительной очистки, так и на котел. Поскольку теплота сгорания твердых низкорекреационных топлив всегда ниже, чем природного газа, то расход генераторного газа на турбину должен быть выше. При установке предвключенных газификаторов перед котлом на номинальную работу последнего никак не повлияет, так как общее теоретически необходимое количество воздуха (V^0) не изменится, если не меняется исходное топливо.

Для повышения маневренности энергоагрегатов необходимо устанавливать несколько аппаратов газификации (например, по числу горелок на котле), что дает возможность изменять нагрузку последовательным отключением газификаторов. Общая тепловая нагрузка котельного агрегата с предвключенными газификаторами определяется формулой

$$Q_{ка} = \eta_{ка} [Q_{н.г}^p (B_{очн} + 0,5B_{газ}) + 0,5Q_{н.г}^c \alpha V^0 B_{газ}],$$

где $\eta_{ка}$ – кпд котельного агрегата; $Q_{н.г}^p, Q_{н.г}^c$ – теплотворная способность исходного, твердого топлива и искусственного газа после газификатора; $B_{очн}, B_{газ}$ – расходы твердого топлива в основные горелки и на предвключенные газификаторы котла; α – коэффициент избытка воздуха.

Пуск, останов и изменение нагрузки котельного агрегата можно разбивать условно на три последовательных этапа в зависимости от изменения количества топлива, подаваемого в горелки топki и в газификаторы.

На первом этапе снижение нагрузки котельного агрегата можно осуществлять изменением расхода пылевидного топлива в основные горелки

$$dQ'_{ка} = \eta_{ка} Q_{н.т}^p dB_{осн} + [Q_{н.т}^p (B_{осн} + 0,5B_{газ}) + 0,5Q_{н.г}^c \alpha V^0 B_{газ}] d\eta_{ка} .$$

На втором этапе (после того, как $B_{осн} = 0$) уменьшения тепловой нагрузки котла происходит за счет изменения подачи топлива в газификатор при постоянном расходе воздуха. При этом процесс газификации смещается в сторону сжигания топлива.

$$dQ''_{ка} = 0,5\eta_{ка} [(Q_{н.т}^p + \alpha V^0 Q_{н.г}^c) dB_{газ} + \alpha V^0 B_{газ} dQ_{н.г}^c] + 0,5B_{газ} (Q_{н.т}^p + \alpha V^0 Q_{н.г}^c) d\eta_{ка} .$$

На третьем этапе при $Q_{н.г}^c = 0$ и $B_{осн} = 0$ изменение нагрузки происходит последовательным отключением газификаторов:

$$dQ'''_{ка} = 0,5 Q_{н.т}^p (\eta_{ка} dB_{газ} + B_{газ} d\eta_{ка}) .$$

Зольность (A^p) уменьшает теплосодержание, как исходного твердого топлива, так и генераторного газа. В настоящее время зольность углей, сжигаемых на тепловых электростанциях, доходит до 50 % и более, что снижает их энергетическую эффективность и экологическую чистоту производства электроэнергии. Таким образом, использование высокзолых топлив в энергетике должно учитывать возможность полезной утилизации золошлаковых отходов электростанций. Низкотемпературная и, тем более, высокотемпературная газификация твердых топлив позволяют устанавливать линии по производству различной продукции из отходов тепловых электростанций (например, шлакоситалов, шлакощепня и др.) с использованием термической обработки основной технологии. Более полное использование физического и химического тепла шлаковых отходов, с одной стороны, повышает конкурентоспособность сопутствующего производства продукции из отходов по сравнению с традиционными технологиями и, с другой стороны, снижает себестоимость электроэнергии.

1. АЛЕХНОВИЧ А. Н. ТОПЛИВО. ТОПЛИВОПРИГОТОВЛЕНИЕ. ТОПКИ И ТОПОЧНЫЕ ПРОЦЕССЫ / ПОД ОБЩ. РЕД. М. И. НЕУЙМИНА. М., 1993.

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ЭЛЕКТРОЛИТА ПО РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА НИКЕЛИРОВАНИЯ

Балакай В. И.

Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт),

E-mail: tep@srstu.novoch.ru

В последнее время большое значение имеет снижение экологической вредности гальванических производств. Одним из перспективных путей решения указанной проблемы является создание малотоксичных, низкоконцентрированных электролитов для нанесения гальванических покрытий. При этом технологически важно, чтобы снижение экологической вредности электролита не сопровождалось значительным снижением производительности и ухудшением качества покрытий [1].

Учитывая наличие большого числа факторов, способных влиять на изучаемый процесс, решено применить для исследования метод математического планирования экстремальных экспериментов Бокса-Уилсона. В качестве параметра оптимизации принята предельно допустимая катодная плотность тока (Y), а ограничением при оценке результатов опыта выбран внешний вид покрытий [2].

В процессе эксперимента считались постоянными: соотношения площадей анода и катода (2 : 1); объем электролита (250 мл); площадь катода (0,05 дм²). В качестве закрепленного фактора принята концентрация хлорамина Б 1 (г/л). В качестве варьируемых факторов выбраны: X_1 – концентрация хлорида никеля шестиводный (г/л), X_2 – рН электролита, X_3 – температура (°C), X_4 , X_5 , X_6 , X_7 – концентрация (г/л) борной кислоты, хлорида аммония, сульфата никеля семиводного и кубовых остатков 1,4-бутиндиола. Для проведения эксперимента использовали дробную реплику полного факторного эксперимента типа 2⁷⁻³.

В результате статистической обработки результатов эксперимента получено уравнение регрессии, адекватно отражающее реальный процесс с доверительной вероятностью 0,95:

$$Y = 1,9 + 0,9X_1 - 1,2X_2 + 0,3X_3 + 0,3X_5 + 0,6X_7.$$

Анализ этого уравнения показал, что предельная плотность тока возрастает с увеличением концентраций хлорида никеля (X_1), хлорида аммония (X_5), кубовых остатков 1,4-бутиндиона (X_7), температуры электролита (X_3) и снижением pH (X_2).

Результаты проведенных исследований позволили разработать низкоконцентрированный электролит оптимального состава, г/л: хлорид никеля шестиводный 100; борная кислота 40; хлорид аммония 25; сульфат никеля семиводный 2,5; хлорамин-Б 1; кубовые остатки 1,4-бутиндиона 5 мл/л. Этот состав электролита позволяет получать качественные покрытия при катодной плотности тока 0,5 – 6 А/дм², pH 1,0 и температуре раствора 60 °С.

Таким образом, используя метод математического планирования экстремальных экспериментов, при минимальных затратах получен новый низкоконцентрированный состав электролита никелирования с пониженным содержанием солей никеля без ухудшения качества наносимых покрытий. При этом предельно допустимые плотности тока не отличаются от тех, которые широко используются в промышленности для высококонцентрированных сульфатных и сульфатно-хлоридных электролитов.

1. Балакай В. И. Низкоконцентрированный хлоридный электролит // Прогрессивная технология и вопросы экологии: Мат. Всерос. конф. Пенза: ПДЗ, 2000.
2. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБЪЕМА ПОСТАВОК ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА В РЕГИОНЫ

Богатырева Л. О., Грицук А. В., Рязанов И. Д.

Московский государственный университет инженерной экологии,
СП Петроком

Целью данной работы является сравнительный анализ методов краткосрочного прогнозирования временных рядов применительно к спросу на дизельное топливо в регионах РФ. (В последние годы спрос на топливо эквивалентен объему его поставок). Одними из наиболее эффективных методов прогноза являются методы Холта и Бокса-Дженкинса [1].

При использовании метода Холта прогноз осуществляется по формулам:

$$X_{t+\tau} = u_t + b_t\tau, \quad u_t = Ad_t + (1 - A)(u_{t-1} + b_{t-1}), \quad b_t = B(u_t - u_{t-1}) + (1 - B)b_{t-1},$$

где A и B – параметры сглаживания, d_t – фактическое значение показателя, u_t – текущее экспоненциально взвешенное среднее значение процесса, b_t – показатель роста, τ – период прогнозирования, $X_{t+\tau}$ – прогнозное значение показателя.

ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ИСПОЛЬЗОВАНЫ ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ $A = 0,3$ И $B = 0,2$, НАЙДЕННЫЕ ПРИ ОБУЧЕНИИ АЛГОРИТМА ХОЛТА НА ВЫБОРКЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ, ПО СПРОСУ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА В РЕГИОНЫ.

При использовании метода Бокса-Дженкинса задается число членов ряда скользящего среднего и ряда авторегрессии, а само прогнозирование осуществляется по формуле

$$X_t = \Phi(B)_1 X_{t-1} + \dots + \Phi(B)_n X_{t-n} + a_t - \Theta(B)_1 a_{t-1} - \dots - \Theta(B)_m a_{t-m},$$

где $\Phi(B)$ – оператор авторегрессии, $\Theta(B)$ – оператор скользящего среднего, B – оператор сдвига на один шаг назад ($Ba_t = a_{t-1}$; $B^2 a_t = a_{t-2}$ и т.д.)

В КАЧЕСТВЕ ВРЕМЕННОГО РЯДА ИСПОЛЬЗОВАЛИСЬ ДАННЫЕ ОБ ОБЪЕМАХ ПОСТАВОК ДЛЯ 21 РЕГИОНА РФ ЗА ПЕРИОД С 1990 ПО 2000 ГОДЫ. ПРОГНОЗ ОСУЩЕСТВЛЯЛСЯ НА ОДИН ГОД. ИССЛЕДОВАЛОСЬ ВЛИЯНИЕ БАЗЫ (КОЛИЧЕСТВА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ) НА ОШИБКУ ПРОГНОЗА, КОТОРАЯ ОЦЕНИВАЛАСЬ ПО ФОРМУЛЕ

$$\Delta_I = \left(\sum_{t=6}^{11} \Delta_t^2 / N \right)^{0,5},$$

ГДЕ Δ_I – ОШИБКА ПРОГНОЗА ДЛЯ I -ГО РЕГИОНА (В ДОЛЯХ ЕДИНИЦЫ), $\Delta_T = (A_T - X_T) / A_T$, Δ_T – ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ОШИБКА ПРОГНОЗА ПО ОТНОШЕНИЮ К ФАКТИЧЕСКОМУ ЗНАЧЕНИЮ (БЕЗРАЗМЕРНАЯ ВЕЛИЧИНА), A_T – ФАКТИЧЕСКИЙ ОБЪЕМ ПОСТАВОК ЗА T -Й ПЕРИОД, X_T – ПРОГНОЗНЫЙ ОБЪЕМ ПОСТАВОК, N – ЧИСЛО ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ПРИ РАСЧЕТЕ ТОЧЕК, $N = 6$.

График, отражающий влияние размера базы прогноза M (число точек, по которым рассчитывается прогнозное значение) на усредненную по всем регионам ошибку δ_{cp} по методу Холта, приведен на рис. 1. Ошибка δ_{cp} (в долях единицы) определяется как среднее арифметическое по всем регионам: $\delta_{cp} = \sum_{i=1}^m \delta_i / m$, где $m = 21$ – число регионов. Для большинства рассмотренных регионов (16 регионов) наилучшей базой является база 5 лет, только для двух регионов – 6 лет и для трех регионов – 8 лет.

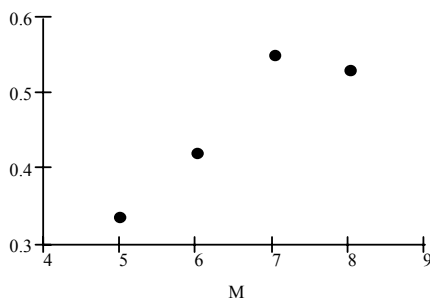


Рис. 1

Рис.1

График, позволяющий сопоставить фактические и прогнозные значения для Архангельской области, представлен на рис. 2.

При использовании метода Бокса-Дженкинса только для 8 регионов ошибка прогноза не превышает 15 %. Кривая, отражающая результаты прогнозирования методом Бокса-Дженкинса, приведена на рис. 2 (для прогнозирования каждого следующего значения показателя используются пять предыдущих точек, т.е. база прогноза сдвигается на один год).

Анализ полученных результатов показывает, что для 76 % регионов ошибка прогноза при использовании метода Бокса-Дженкинса меньше, чем при использовании метода Холта.



Рис. 2.

1. Боровиков В. П., Ивченко Г. И. Прогнозирование в системе STATISTICA. М.: Финансы и статистика, 2000.

ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ОБЪЕМОВ ПРОИЗВОДИМОЙ ПРОДУКЦИИ НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ЗАВОДАХ (НПЗ) НЕОБХОДИМО УМЕТЬ ПРОГНОЗИРОВАТЬ СПРОС НА НЕФТЕПРОДУКТЫ В РЕГИОНАХ РФ. В СВЯЗИ С ЭТИМ, НАМИ РЕШАЕТСЯ ЗАДАЧА СОСТАВЛЕНИЯ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ, ОПИСЫВАЮЩИХ ИЗВЕСТНЫЕ СТАТИСТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ, И ИССЛЕДУЕТСЯ ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЭТИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗА.

В качестве исходных данных используются статистические значения объемов поставок в двадцать регионов РФ. Составляются модели зависимости объема поставки V_i от времени t , от валового внутреннего продукта (ВВП) X , а также от времени и от ВВП. При этом предполагается, что объем поставки зависит от рассматриваемых переменных линейно. Если линейные модели оказываются неадекватными, то строятся нелинейные модели от этих же переменных. Результаты расчета показывают, что для большинства регионов статистические данные адекватно описываются линейными зависимостями объема поставки как от времени, так и ВВП. Например, для Пермской области математические модели поставки дизельного топлива имеют следующий вид

$$V = 854,2693 - 45,1268 t, \quad V = -31,422 + 1,396482 X.$$

Полученные модели адекватны по критерию Фишера. На рис. 1 показаны графики изменения объема поставки.

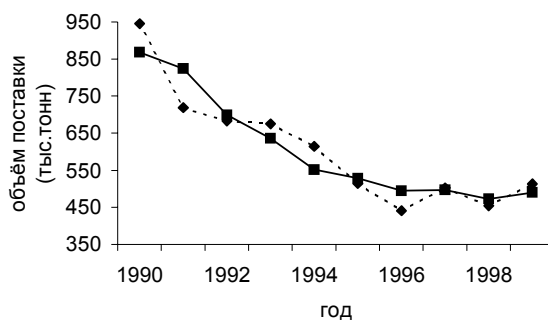


Рис. 1

- ◆ – фактические объемы поставки;
- – объемы поставки, рассчитанные по модели

Для зависимости объема поставки от ВВП исследуется также влияние величины периода прогноза на точность прогноза. Точность прогноза оценивается с использованием модуля относительной ошибки прогноза $|E| = \sum |e_t| / d_t N$, $t = 1, 2, \dots, N$, где e_t – разница между фактическим d_t и прогнозным значением, N – количество точек. Зависимость точности прогноза от периода для Пермской области при базе прогноза, равной 5 и 7 точкам, показано на рис. 2.

Под базой прогноза здесь понимается количество точек M , с использованием которых строится регрессионное уравнение. Также исследуется влияние базы прогноза на точность прогноза (рис. 3) на один и три года. Как видно из рис. 3, для Пермской области увеличение базы M с 5 до 7 приводит к уменьшению ошибки прогноза на 6 % при прогнозировании на три года.

|E|

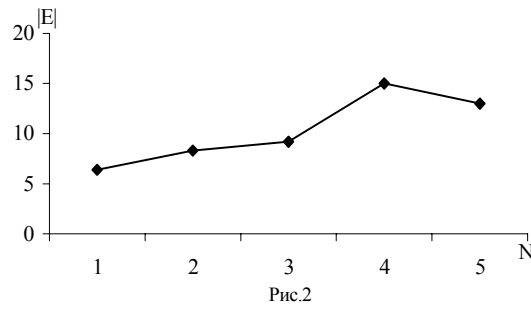


Рис. 2

|E|

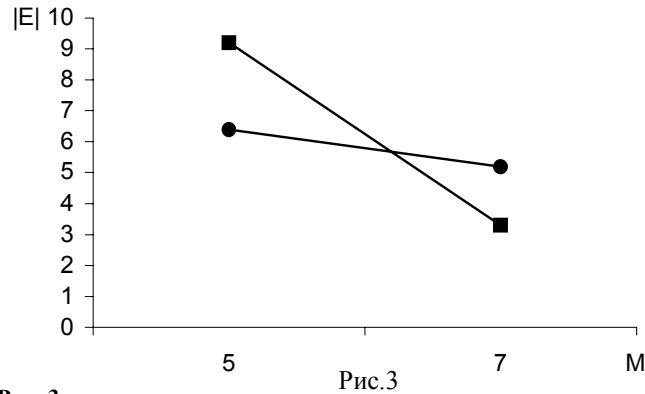


Рис. 3

■ – прогноз на 3 года; ● – прогноз на 1 год

Аналогичные выводы справедливы для 40 – 45 % рассматриваемых регионов, при этом ошибка прогноза не превышает 20 %. Для ряда регионов, таких как Ленинградская область, республика Башкортостан, Тюменская область и некоторых других, точность прогноза может быть повышена при переходе к нелинейным зависимостям.

ТАКИМ ОБРАЗОМ, РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ПОКАЗЫВАЮТ, ЧТО ДЛЯ БОЛЬШИНСТВА РЕГИОНОВ ПРОГНОЗ С ДОПУСТИМОЙ ПОГРЕШНОСТЬЮ ДО 10 – 20 % НА ПЕРИОД В ПЯТЬ ЛЕТ МОЖНО ОСУЩЕСТВЛЯТЬ ПО РЕГРЕССИОННЫМ УРАВНЕНИЯМ МОДЕЛЕЙ. ПРИ ЭТОМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ПРОГНОЗА В РЯДЕ РЕГИОНОВ СЛЕДУЕТ ИСПОЛЬЗОВАТЬ НЕЛИНЕЙНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВВП.

1. Костылев А. А., Миляев П. В., Дорский Ю. Д. и др. Статистическая обработка результатов экспериментов. Л.: Энергоатомиздат, 1991.

Сравнительный анализ расчетных зависимостей для оценки качества нефтепродуктов
Ращаникова Н. В.

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ

Для оптимального планирования производства жидких нефтепродуктов и, в основном, топлив всех видов, необходим оперативный контроль качества технологических потоков. Наиболее актуальна эта задача для процесса смешения нефтепродуктов, являющегося последней стадией производства топлив. Для многих товарных нефтепродуктов основными показателями качества, на основе которых производится контроль соответствия стандартам, являются величины, которые на российских производствах автоматически не измеряются; большинство показателей определяется по лабораторным анализам отобранных проб (вязкость, октановое число и др.), а некоторые из них (такие, как цетановое число или дизельный индекс для дизельных топлив) являются расчетными величинами. Актуальной является также задача расчета показателей качества смеси нефтепродуктов

ми. Актуальной является также задача расчета показателей качества смеси нефтепродуктов по характеристикам компонентов смешения.

Известны [1], [2] эмпирические и полуэмпирические зависимости основных показателей качества нефтепродуктов от автоматически измеряемых физико-химических характеристик, которые можно измерить автоматически, и для смесей от показателей качества компонентов. Оперативное определение показателей качества нефтепродуктов должно вестись на основе этих эмпирических зависимостей с использованием разрабатываемой автоматизированной системы расчета качества (АСРК). Эта система будет рассчитывать показатели качества нефтепродуктов и индексов смешения (плотности от температуры, кинематической вязкости, значения октанового и цетанового чисел и др.) и расчет нелинейного процесса компаундирования по таким показателям качества, как: октановое число, вязкость, температура вспышки, застывания и др.

Предметом данной работы является проведение сравнительного анализа и выбор наиболее достоверной зависимости для расчета цетанового числа и вязкости нефтепродуктов.

Известно до 20 эмпирических соотношений для оценки цетанового числа на основе физико-химических свойств дизельных топлив [1]. Каждая из формул в некоторой степени пригодна для вычислений в определенной группе топлив. Однако, исследование адекватности, проводимое методами статистического анализа по данным о физико-химических свойствах нескольких дизельных топлив и измеренным значениям цетанового числа для этих же топлив, взятых из справочных данных, показало, что с достаточной степенью точности цетановое число (CI) можно рассчитать по нескольким зависимостям от следующих свойств: анилиновая точка (A), плотность (D), фракционный состав (а именно – температуры, при которых выкипает 10, 50, 90 % дистиллята – T_{10} , T_{50} , T_{90}), вязкость при 40 °С (V). Одна из зависимостей, обладающая высокой прогнозирующей способностью для большинства исследуемых топлив, имеет вид

$$CI = 77,7628 + (0,1765A) + (0,003867A^2) - (11,615K) + (0,5844K^2) - (0,635V), \quad (1)$$

где $K = (T_{10} + T_{50} + T_{90} + 820) / 200D^2$.

Установлено, что оценка средней квадратической погрешности прогноза составляет 1,46 %.

Аналогичная задача стоит и для расчета вязкости смесей нефтепродуктов. Анализ адекватности эмпирических уравнений для вязкости, важнейшего свойства большинства нефтепродуктов, строго регламентированного стандартами, проводится нами также с использованием статистических методов по экспериментальным данным о вязкости компонентов и продукта. В результате, с наименьшей средней квадратической погрешностью 1,62 % описывает экспериментальные данные следующее уравнение:

$$\lg \lg(v_{см} + C) = x_A \lg \lg(v_A + C) + (1 - x_A) \lg \lg(v_B + C),$$

где C – константа, определяемая графически по экспериментальным данным из условия минимума квадрата функции невязки (разность расчетных и экспериментальных значений вязкости смеси), $v_{см}$, v_A , v_B – вязкость соответственно смеси, маловязкого и более вязкого компонентов, мм²/с; x_A – содержание маловязкого компонента, об. доля.

В результате проведенного нами анализа, приведенные выше зависимости для расчета цетанового числа дизельных топлив и вязкости для смеси нефтепродуктов включены в программное обеспечение АСРК.

1. Ladommatos N., Goacher J. Equations for predicting the cetane number of diesel fuel. Fuel. № 7. 1995.
2. Долматов Л. В. Адекватность математических моделей для расчета вязкости смесей жидких нефтепродуктов. Химия и технология топлив и масел. № 3. 2001.

СУБОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫМ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИМ ПРОИЗВОДСТВОМ

Ращаникова И. В.

Московский государственный университет инженерной экологии

Существующая методология оптимального планирования нефтеперерабатывающего производства (НПП) основана на создании модели объекта планирования, отражающей все происходящие на производстве процессы, и решения задачи линейного программирования. При этом задача оптимального планирования НПП формулируется следующим образом: определить производственную программу комплекса (потребление, выпуск) таким образом, чтобы получаемая прибыль была максимальна при условии выполнения всех обязательств (связей и ограничений).

Формализованная постановка задачи оптимального планирования имеет вид:

$$\max_x \Phi(x, u, d) \quad (1)$$

$$f_1(x, u, d) = 0, \quad f_2(x, u, d) = 0 \quad (2), (3)$$

$$\Psi(x, u, d) > 0, \quad (4)$$

где x – измеряемые и вычисляемые переменные (величины выходных потоков технологических установок, значения качественных показателей этих потоков, расходы вспомогательных материалов и т.д.); u – управления (потоки, режимы установок и т.д.); d – возмущения или входные переменные (потребности в той или иной продукции в регионах, временной ресурс технологических установок, цены на сырье и продукцию, качество сырья и т.д.).

Связи и ограничения (2) – (4) учитывают: емкость рынков сырья и продукции (качество, объемы, цены); технологические возможности производственных мощностей; текущие запасы сырья, полуфабрикатов и готовой продукции; качество промежуточных технологических потоков.

Обычно горизонт планирования НПП составляет квартал, год. В связи с этим, модель оптимального планирования (управления) НПП составляется на определенный вектор возмущения \bar{d} , включающий в себя не только текущие, но и прогнозные значения (качество исходного сырья, состояние оборудования, цены на товарную продукцию). Однако в процессе реализации оптимального плана производственной деятельности непосредственно на НПП могут произойти изменения в производстве (измениться качество и состав сырья, активность катализатора на установках каталитического риформинга, конъюнктура рынков нефтепродуктов и т.д.), что приводит к неадекватности модели (2) – (3) и, как следствие, к ухудшению технико-экономических показателей (ТЭП) всего НПП.

В связи с этим актуальной является задача учета указанных изменений уже в процессе реализации оптимального плана. В качестве одного из возможных вариантов решения этой задачи предлагается переход к краткосрочному планированию деятельности. В этом случае весь заданный горизонт планирования разбивается на несколько подинтервалов заранее неизвестной продолжительности.

Расчет нового оптимального плана (значения вектора вычисляемых переменных $\bar{x}_{пл}(d_i)$ (i – номер интервала планирования)) на следующий плановый период рассчитывается при каждом изменении исходных данных (вектора возмущений \bar{d}) и на основе полученных фактических значений этих данных. При этом задача оптимального планирования переходит в задачу оперативного управления деятельностью нефтеперерабатывающих производств. Рассмотрим более подробно эту схему (рис. 1).

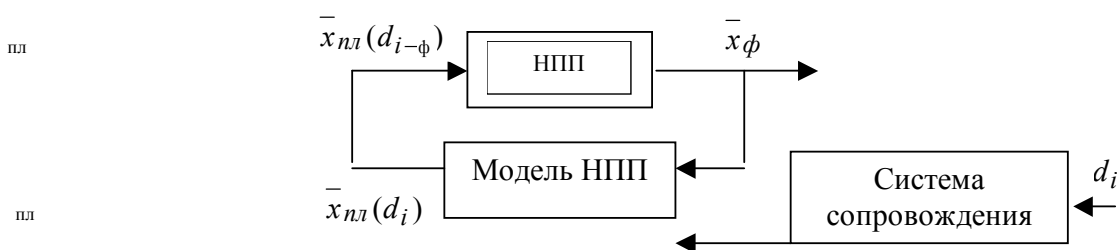


Рис. 1. Схема оперативного управления НПП

Пусть произведен расчет оптимального плана и найдено значение вектора вычисляемых переменных $\bar{x}_{\text{пл}}(d_0)$ (d_0 – начальное значение вектора исходных данных в момент t_0). В процессе реализации оптимального плана на первом подынтервале в момент t_1 произошло отклонение $\bar{x}_{\text{пл}}(d_0)$ от \bar{x}_ϕ вследствие изменения вектора \bar{d} , что фиксирует система сопровождения. Если отклонение $\Delta d = \|d_0 - d_1\| > \delta$ (где δ - заданное число), то в момент времени t_1 производится пересчет и находится новое значение оптимального плана $\bar{x}_{\text{пл}}(d_1)$ с учетом фактических значений исходных данных (вектор возмущений d_1). Далее процедура повторяется.

В данной задаче особый интерес представляет выбор параметра δ . Если δ мало, увеличивается трудоемкость задачи вследствие пересчета плана и частой перестройкой режимов работы НПП, но при этом улучшается сходимость плановых и фактических значений, вследствие чего улучшаются ТЭП (в частности прибыль НПП). Если δ велико, задача расчета упрощается, НПП работает в мягком режиме (без частых смен режимов работы), но увеличивается расхождение плановых и фактических значений, что отрицательно сказывается на ТЭП.

УСТОЙЧИВАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СХЕМА РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ СОВМЕЩЕННЫХ РЕАКЦИОННО-РЕКТИФИКАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

Юсупбеков Н. Р., Маннанов У. В., Бибик Р. В., Турапина Н. Н.

Ташкентский государственный технический университет, Roman.Bibik@siemens.com.uz

Для контроля сходимости итерационного процесса решения системы уравнений совмещенного реакционно-ректификационного процесса нами использованы два критерия. Первым является выполнение условия $\left| \sum_{j=1}^k x_j^{(i)} - 1 \right| < \xi$, $i = 0, 1, \dots, N+1$ для всех ступеней разделения после каждого i -го этапа расчета составов, где ξ – заданная точность расчета, x – концентрация.

Вторым критерием выступает требование выполнения условия $C_R = 1$, которое означает отклонение форсирующей процедуры, ограничивающей скорость химической реакции по ступеням разделения.

При выполнении обоих условий сходимость итерационного процесса считается обеспеченной с заданной точностью и расчет заканчивается. В противном случае реализуется этап коррекции составов. Нами применен метод модифицированной θ -коррекции.

При использовании скорректированных по методу θ -коррекции значений концентраций для расчета констант равновесия на следующей итерации часто (в особенности при расчете колонн, разделяющих компоненты с резко различными относительными летучестями) возникает неустойчивость решения, которая проявляется в колебательном характере изменения концентраций от итерации к итерации. Для устранения этого в алгоритм расчета введен специальный демпфирующий параметр G , с помощью которого определяются значения концентраций для следующей итерации:

$$X^{(k+1)} = \left(\hat{X}^{(k+1)} + GX^{(k)} \right) / (1 + G).$$

При этом увеличение G приводит к тому, что концентрация, определяемая для следующей итерации, изменяется меньше по отношению к значению, которое имело место на предыдущей итерации. При $G = 0$ для следующей итерации используются значения концентраций, полученные после θ -коррекции.

Алгоритм изменения значения демпфирующего параметра G построен на основе оценки угла поворота вектора невязок, определяемого на каждой итерации соотношением $\delta_i^{(k)} \equiv \sum_{j=1}^k X_j^{(i)} - 1$; $i = 0, 1, \dots, (N+1)$ и число элементов которого равно числу ступеней разделения, по отношению к вектору невязок, рассчитанному на предыдущей итерации:

$$\varphi_S F = \arccos \left[\frac{(\delta^{(k-1)}, (\delta^{(k-1)} - \delta^{(k)}))}{|\delta^{(k-1)}| |\delta^{(k-1)} - \delta^{(k)}|} \right].$$

При этом стратегия выбора параметра G принята такой, что при изменении угла поворота вектора невязок до определенного значения G изменяются по кривой $F(\varphi_S)$, имеющей вид:

$$G = F(\varphi_S) = n (\varphi_S / \alpha)^m,$$

где n – предельное значение G ; m – показатель степени изменения; φ_S – угол поворота вектора невязок на данной итерации; α – предельный угол, до которого G изменяется по кривой $F(\varphi_S)$.

Значения α , подобранные экспериментально и обеспечивающие вполне удовлетворительную сходимость в широком диапазоне изменения свойств разделяемых компонентов и режимов колонны, соответствуют значениям $50^\circ - 90^\circ$.

При значениях угла $\varphi_S \geq \alpha$ величина G остается постоянной, равной n . Данные стратегии изменения демпфирующего параметра, принятые в разработанном алгоритме, оказались вполне удовлетворительными при решении различных задач моделирования реакционно-ректификационных установок.

Использование угла поворота вектора невязок на очередных итерациях в качестве критерия изменения демпфирующего параметра G позволило разработать специальный прием ускорения сходимости решения, основанный на прогнозе минимального значения вектора невязок на каждой итерации.

Предположим, что на предшествующей итерации вектор невязок был равен $\delta^{(k-1)}$. Если на текущей итерации вектор невязок стал равен $\delta^{(k)}$, то можно определить новый вектор $\delta^{(k)}$, который можно назвать вектором прогнозируемой невязки

$$\delta^{(k)} = \delta^{(k)} + D_{<}(\delta^{(k)} - \delta^{(k-1)}).$$

Значение $D_{<}$ может быть выбрано так, чтобы абсолютная величина $|\delta^{(k)}|$ была минимальной. Искомое значение $D_{<}$ определяется из уравнения, которое представляет собой условие минимума абсолютного значения

$$D_{<} = \frac{(\delta^{(k)}, (\delta^{(k)} - \delta^{(k-1)}))}{((\delta^{(k)} - \delta^{(k-1)}), (\delta^{(k)} - \delta^{(k-1)}))}.$$

Найденное значение $D_{<}$ используется для расчета очередного приближения распределения концентраций по ступеням разделения

$${}^{(k)}x_j^{(i)} = {}^{(k)}x_j^{(i)} + D_{<} \cdot ({}^{(k)}x_j^{(i)} - {}^{(k-1)}x_j^{(i)}).$$

Коэффициент $D_{<}$ назван коэффициентом прогноза минимума невязок.

Предложенная процедура отыскания очередного приближения в итерационном процессе решения системы уравнений совмещенных реакционно-ректификационных процессов является весьма результативной и примерно на 30 % сокращает общее число итераций.

АЛГОРИТМ КОРРЕКЦИИ СОСТАВОВ И ПОТОКОВ ПАРА И ЖИДКОСТИ РЕАКЦИОННО-РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Юсупбеков Н. Р., Маннанов У. В., Гулямов Ш. М., Турапина Н. Н.

Ташкентский государственный технический университет, Roman.Bibik@siemens.com.uz

При расчете паро-жидкостного равновесия на ступенях разделения реакционно-разделительных установок при нарушении условий сходимости стехиометрическое соотношение $\sum_{j=1}^k X_j^{(i)} = 1$ оказывается невыполнимым. Поэтому значения концентраций, найденные на очередной итерации расчета, сразу нельзя использовать в качестве нового приближения. Поэтому для продолжения решения задачи необходимо после каждой итерации производить корректировку полученных значений концентраций так, чтобы выполнялось стехиометрическое соотношение.

Простейшим приемом, который может быть использован для коррекции, является нормирование составов

$$\tilde{X}_j^{(i)} = X_j^{(i)} / \sum_{j=1}^k X_j^{(i)}.$$

Такой прием используется во многих опубликованных алгоритмах расчета колонн ректификации, однако обладает тем существенным недостатком, что при его применении нарушаются общие покомпонентные балансы, обеспечивающиеся на этапе расчета составов по ступеням разделения.

Метод Q -коррекции свободен от этого недостатка. Однако его применение при наличии в процессе ректификации химической реакции на ступенях разделения показано для частного случая и до настоящего времени не обосновано.

В основу предлагаемого метода положено корректирующее соотношение

$$W_{pj} = \theta_p C_j \overline{W}_{pj}, \quad (1)$$

где θ_p – коэффициент коррекции для p -го потока; C_j коэффициент коррекции для j -го компонента, \overline{W}_{pj} , W_{pj} скорректированное и расчетное количества j -го компонента в p -ом потоке;

уравнение общих покомпонентных балансов колонны:

$$\sum_{j=1}^k F_j X_j^{(F)} + R_{\Sigma j} = \sum_{p=1}^p W_p X_{pi} = \sum_{p=1}^p \overline{W}_{pj}, \quad (2)$$

условия:
$$\sum_{j=1}^k \overline{W}_{pj} = W_p, \quad p = 1, 2, \dots, \quad (3)$$

а также соотношение:
$$W_p = \tau_p \left(\sum_{j=1}^k F_j X_j^{(F)} + R_{\Sigma j} \right), \quad (4)$$

определяющее величины потоков, выходящих из колонны, в котором весовые коэффициенты τ_p подчиняются условию $\sum_{p=1}^p \tau_p = 1$

От всех предложенных ранее модификаций θ -коррекции, использованную в нашей работе отличает специфическая особенность, которая заключается в том, что на различных итерациях величины отбираемых потоков могут изменяться, поскольку суммарная скорость образования компонентов при неэквимолярных химических реакциях, протекающих на ступенях разделения, изменяется от итерации к итерации.

Суммируя правые и левые части выражения (2) по индексу p , т.е. по номеру потока, из (1) можем записать формулу:

$$C_j = \left(\sum_{j=1}^k F_j X_j^{(F)} + R_{Ej} \right) / \sum_{p=1}^p \theta_p W_{pj} \quad (5)$$

Подставляя найденные выражения для C_j в соотношение (3), получаем систему уравнений относительно неизвестных параметров θ_p :

$$\theta_p \sum_{j=1}^k \frac{W_{pj} \left(\sum_{j=1}^k F_j X_j^{(F)} + R_{Ej} \right)}{\sum_{p=1}^p \theta_p W_{pj}} = W_p \quad (6)$$

Таким образом, задача коррекции составов сведена к задаче решения системы уравнения (5). Отличительной особенностью этой системы является то, что уравнения, входящие в нее, линейно зависимы, т.е. система уравнений оказывается вырожденной в точке решения, (якобиан системы равен нулю). Это делает невозможным применение эффективных итерационных методов типа метода Ньютона-Рафсона.

Для решения этой системы уравнений нами использован итерационный метод, примененный ранее для исследования чисто ректификационного процесса, а не для моделирования совмещенного процесса ректификации с широким кругом экви- и неэквимолярных, обратимых и необратимых химических реакций. При этом итерационная формула будет выглядеть следующим образом

$$\theta_p^{(k+1)} = \theta_p^{(k)} W_p / \sum_{j=1}^k W_{pj}^{(k)},$$

где θ , $\theta_p^{(k)}$ – значения θ_p на $(k+1)$ -й и k -й итерациях; $W_{pj}^{(k)}$ – скорректированное количество j -го компонента, определяемое на k -й итерации через значение $\theta_p^{(k)}$.

Полученные результаты решения системы уравнений (6) θ_p используются далее для определения коэффициентов C_j , с помощью которых скорректированные значения концентраций компонентов по ступеням разделения (включая концентрации выходных потоков) рассчитываются по формулам

$$\overline{x}_j^{(i)} = \frac{C_j X_j^{(i)}}{\sum_{l=1}^k C_l X_l^j}, \quad \overline{y}_j^{(i)} = \frac{C_j Y_j^{(i)}}{\sum_{i=1}^k C_l Y_l^j}.$$

После проведения коррекции составов в потоках производится расчет величин потоков пара и жидкости по ступеням разделения. Найденные в результате предыдущих операций значения концентраций компонентов по ступеням разделения используются для расчета энтальпий паровых и жидкостных потоков.

Количество потоков по ступеням разделения при этом определяется из уравнений материального и теплового балансов

$$L_{i+1} = (L_i h_i + V_i H_i - V_{i-1} H_{i-1} - F h_{Fi} + W_i h_{wi} - Q_{ER}) / h_{i+1}$$
$$V = L_{i+1} + V_{i+1} - L_i + F_i - W_i + R_{E(i)} .$$

С целью ограничения возможных колебаний величин отбираемых из колонны потоков допустимыми пределами при расчете потоков паровой и жидких фаз используют форсирующие процедуры. Вариации потоков обуславливаются колебаниями суммарных скоростей образования компонентов от итерации к итерации. При этом суммарная величина отбираемых потоков определяется из максимально возможного превращения компонентов согласно стехиометрии реакции, протекающей на ступенях разделения. Для условий необратимой химической реакции это означает либо полное отсутствие превращения, либо полное превращение. Для обратимой же химической реакции это равнозначно полному превращению в прямом и полному превращению в обратном направлениях.

Определенные таким образом максимальное и минимальное суммарные количества выходящих из колонны потоков представляют собой форсирующие ограничения при расчете выходящих потоков.

ПРИКЛАДНЫЕ ПРОГРАММЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ДИСТИЛЛЯЦИИ ХЛОПКОВОЙ МИСЦЕЛЛЫ

Равилов Ш. М.

Ташкентский государственный технический университет,
inform@tgtu.sarkor.uz

Для решения задач математического моделирования и расчета процесса предварительной дисциляции хлопковой мисцеллы нами разработан пакет прикладных программ, состоящий из четырех блоков (уровней) программ, подпрограмм, модулей различного назначения.

Программы и модули первого блока предназначены для расчета парожидкостного равновесия и выполняют при этом следующие функции: подготовка исходных данных, создание вводно-выводного файла; формирование системы нормальных уравнений на основании метода максимального правдоподобия для задач аппроксимации; вычисление нормы матрицы системы нормальных уравнений и определение стандартных и естественных чисел обусловленности; расчет параметров моделей по уравнениям Риделя, Клайперона, Планка-Миллера, полиномиальной регрессии с автоматическим подбором степени; расчет равновесных значений давления в задаваемых точках и оценка адекватности получаемых аппроксимаций; расчет оценка сил корреляционных зависимостей исходных и рассчитанных векторов равновесных температур и давлений; определение априорной и апостериорной дисперсии параметров модели; расчет параметров модели для определения коэффициента активности компонентов смеси; исследование зависимости коэффициентов активности от температуры; определение температур кипения смеси хлопковой мисцеллы.

Программы и модули второго блока позволяют рассчитывать процесс пленочной дисциляции и реализуют при этом следующие функции: определение концентрации компонент смеси по высоте колонны в паровой и жидкой фазах; расчет температуры мисцеллы по высоте колонны; определение коэффициентов теплопередачи отдельных зон аппаратов; составление и расчет материального и теплового балансов веществ и энергии для каждого типа пленочных аппаратов.

Функциональное назначение программ и модулей третьего блока уровня совпадает с назначением программ второго блока с той лишь разницей, что все расчеты выполняются для ректификационной колонны. Дополнительно здесь производится: расчет равновесной температуры паровой и жидкой фаз; расчет составов потоков паровой и жидкой фаз; коррекция составов в потоках и на ступенях разделения.

В четвертый блок включены обеспечивающие программы и модули, которые реализуют численные методы расчета и сервисные функции. Среди них программы реализации метода Гаусса, стохастических алгоритмов, метода Ньютона, золотого сечения, масштабирования и нормировки данных, кубических сплайков и др.

Разработанный пакет прикладных программ нашел применение при проектировании новых и оптимизации существующих процессов дистилляции хлопковой мисцеллы.

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ МЕТОДОМ Ψ -ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Урусов А. М., Гордеев Л. С., Макаров В. В.

Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева

Метод минимизации капитальных и эксплуатационных затрат на химико-технологические производства с фиксированной аппаратурной структурой путем параметрической оптимизации, представляет собой оптимизацию определяющих размеров \bar{V} и количества \bar{N} технологических аппаратов периодического действия, производительности \bar{P} аппаратов непрерывного действия, объемов \bar{U} промежуточных емкостей, согласующих временные режимы работы технологического оборудования [1]. Оптимизация производится по критерию приведенных затрат $R(\bar{x})$ содержащему аппроксимирующие зависимости полиномиального вида.

Задача параметрической оптимизации представляет собой задачу частично-дискретного нелинейного программирования (в общем случае – невыпуклую) большой размерности. Для ее решения разработан двухуровневый декомпозиционный алгоритм, на нижнем уровне которого решается задача поиска глобального экстремума невыпуклой функции $R(\bar{x})$ (где $\bar{x} = \{\bar{V}, \bar{N}, \bar{P}, \bar{U}\}$) при нелинейных ограничениях $g_i(\bar{x}) \leq b_i$ методом Ψ -преобразования [2].

Метод Ψ -преобразования позволяет находить глобальный экстремум нелинейных недифференцируемых функций. Поиск экстремума в разработанном алгоритме осуществляется методом штрафных функций, использующим критерий

$$\Phi(\bar{x}) = R(\bar{x}) + \sum_{i=1}^m \lambda_i g_i(\bar{x}); \lambda_i = \begin{cases} 0 & \text{при } g_i(\bar{x}) \leq b_i \\ c & \text{при } g_i(\bar{x}) > b_i \end{cases}$$

c – большое число.

На верхнем уровне алгоритма осуществляется процедура округления полученных на нижнем уровне нецелых значений числа технологических аппаратов \bar{N} путем генерации и проверки комбинаций вариантов округления всех элементов вектора. Исходной точкой поиска является вариант округления всех элементов вектора до "ближайших" целых значений. Направление поиска определяется из анализа критерия "цены" ошибки округления, рассчитываемого для каждого параметра в векторе \bar{N} и представляющего собой произведение минимальной ошибки округления параметра на оптимальную стоимость соответствующей аппаратурной единицы. Для ускорения поиска решения разработаны условия исключения из обработки отдельных элементов вектора N , эффект участия которых в перечислении мал для заданной точности расчетов.

Процедура разработана на основе анализа моделей данного типа химико-технологических систем. Скорость работы алгоритма зависит от требуемой точности расчетов. Алгоритм эффективно применен при решении задач оптимизации на различной вычислительной технике средней мощности.

1. Кафаров В. В., Макаров В. В. Гибкие автоматизированные производственные системы в химической промышленности. М.: Химия, 1990.
2. Чичинадзе В. К. Решение невыпуклых нелинейных задач оптимизации (Метод Ψ -преобразования). М.: Наука, 1983.

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ПО МОДЕЛИРОВАНИЮ И

ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА КАЛАНДРОВАНИЯ

Гималеев М. К., Харитонов Е. А., Сафиуллина А. К., Анаников С. В.
Казанский государственный технологический университет

Процесс каландрования, как правило, используется для получения полимерной ленты определенной ширины и толщины. При этом предварительно подготовленная композиция последовательно проходит через зазоры между горизонтальными валками. На каландрах производят также обкладку и промазку армирующих основ (технологических тканей, корда) резиновыми смесями и выпускают профильные заготовки.

Процесс каландрования с точки зрения моделирования и оптимизации – сложный, многофакторный процесс, характеризующийся взаимосвязанностью основных технологических параметров. Так, производительность каландров определяется типоразмером оборудования, составом полимерных смесей и технологическими режимами переработки.

Конструктивно каландры изготавливают с числом валков от двух до пяти. С целью получения равномерного по толщине листа каландры снабжены механизмами компенсации прогиба валков и, в частности, механизмами пространственного перегиба валков.

На персональном компьютере нами реализован программный комплекс по моделированию и оптимизации процесса каландрования. В качестве критерия оптимизации выбран максимальный прогиб вала каландра. Исходными данными служат реологические параметры полимерной композиции, скорость вращения и геометрические размеры валков, плотность перерабатываемой смеси.

Результатами компьютерного расчета являются основные силовые и энергетические параметры (производительность, максимальное удельное давление, распорное усилие между валками, сила трения, момент сопротивления, полезная мощность, распределение мощности по валкам).

Для реализации программного комплекса использованы методы наименьших квадратов, дихотомии, золотого сечения, Фибоначчи.

Разработанный программный комплекс применяется в учебном процессе и может быть использован для оптимизации процессов каландрования на промышленных предприятиях химических производств.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ В БАРАБАННЫХ СМЕСИТЕЛЯХ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ СЕЛИВАНОВ Ю. Т., ОРЛОВ А. В. ТАМБОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ, SOPRM@SOPRM.NNN.TSTU.RU

Использование барабанных смесителей для получения смесей сыпучих материалов ограничено в связи с нестабильным качеством готового продукта, вызванным эффектом сегрегации компонентов с разными размерами частиц.

Для устранения отрицательного влияния сегрегации предлагается использование эффективного метода, сущность которого достаточно проста: ключевой и определенная часть основных компонентов должны иметь минимальные отличия в свойствах частиц и загружаться в смеситель в соответствии с определенным регламентом. При этом один из вариантов сближения их свойств – измельчение части основного компонента в случае, если размеры его частиц больше размеров частиц ключевого компонента. В дальнейшем будем называть этот материал вспомогательным. Объем вспомогательного компонента в идеальном варианте должен равняться объему внутренних подслоев с повышенной концентрацией ключевого компонента. Размеры же частиц измельченного материала должны равняться размеру частиц ключевого компонента.

В этом случае, при одинаковых плотностях частиц основного и ключевого компонентов, склонность к сегрегации ключевого и измельченной части основных компонентов будет одинаковой, что обусловит их равномерное присутствие в зоне центра циркуляции.

Следует отметить, что не всегда удастся полностью выровнять свойства ключевого и вспомогательного компонента, но и их сближение приведет к затруднению продвижения ключевого компонента в область центра циркуляции. Если имеется возможность заранее сделать количество вспомогательного компонента больше чем ключевого, то это может оказать позитивное влияние на качество смеси.

Нами проведена оценка влияния эффекта измельчения по результатам численных экспериментов с использованием математических моделей [1] процесса смешивания и натуральных экспериментов.

Анализ результатов сравнения численных и натуральных экспериментов на различных компонентах показал их удовлетворительное совпадение, что позволяет проводить оптимизацию режимных и геометрических параметров по результатам численных экспериментов, а натурные использовать для определения коэффициента вероятности перехода [2].

1. Селиванов Ю. Т., Першин В. Ф. Моделирование процесса смешивания. ТОХТ. Т. 35, № 1. 2001.
2. Селиванов Ю. Т., Першин В. Ф. Экспериментальное исследование процесса смешивания. ТОХТ. Т. 35., № 2. 2001.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ СИНТЕЗА МОНОМЕТИЛАНИЛИНА

Третьяков А. А.

Тамбовский государственный технический университет,
frolow@ahp-gw.tstu.ru

Монометиланилин (ММА) используется в качестве основного компонента при производстве добавок к топливу, улучшающих детонационные свойства бензинов, а также в качестве сырья для синтеза органических красителей и промежуточных продуктов.

Для предприятий, производящих ММА и добавки к топливу, актуален вопрос снижения себестоимости выпускаемой продукции при обеспечении заданных качественных показателей и объема производства. Для достижения данной цели ставится задача оптимального управления.

Задача оптимального управления формулируется следующим образом: необходимо при заданных значениях вектора возмущений и начальных условий определить время окончания процесса τ_k^* и вектор управлений $u^*(\tau)$, при которых целевая функция $\Phi(u, \tau_k)$ достигает минимума, и при этом выполняется уравнение математической модели и ограничения.

$$\Phi(u^*, \tau_k^*) = \min_{\substack{\tau_k \geq \tau_k \\ u \in U}} \Phi(u, \tau_k)$$

$$y = M(x, u(\cdot)), \quad \underline{t}_{cm}^{BX} \leq t_{cm}^{BX} \leq \overline{t}_{cm}^{BX}, \quad 0 \leq G_{об} \leq \overline{G_{об}}, \quad t_{cm}(\tau, l) \leq t_{cm}^{max}$$
$$C_2(\tau, L) + C_5(\tau, L) \leq 0.1, \quad \underline{G_{cm}} \leq G_{cm} \leq \overline{G_{cm}}, \quad u = \{u_i\} = \{G_{cm}, G_{об}, t_{cm}^{BX}\} y = \{y_i\} = \{C_i, t_T, t_{cm}, t_{об}, \Psi\},$$

где t_{cm}^{BX} , t_{cm} – температуры реакционной смеси на входе в аппарат и в аппарате; $G_{об}$, G_{cm} – расходы паров теплоносителя на подогрев и реакционной смеси; $C_2(\tau, L)$, $C_5(\tau, L)$ – концентрации анилина и диметиланилина на выходе из аппарата; t_T , $t_{об}$ – температуры жидкого теплоносителя в бане аппарата и паров теплоносителя на подогрев; Ψ – функция изменения активности катализатора; L – длина аппарата.

Одним из возможных методов решения данной задачи оптимального управления является метод минимизирующих последовательностей, который позволяет свести задачу оптимального управления к последовательности задач статической оптимизации. Искомая функция управления представляется зависимой от времени и настроечных параметров и принадлежит к последовательно усложняющимся классам функций.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ЦВЕТНОГО ОКСИДИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЯ

Литовка Ю. В., Голованов В. Ф.

Тамбовский государственный технический университет, glvvnv@rambler.ru

Алюминий и алюминиевые конструкции находят все более широкое применение в строительстве, в промышленности и во многих других отраслях народного хозяйства. Тем острее встает проблема защиты алюминиевых частей и конструкций от коррозии. При этом важно не только эффективно защитить изделия от коррозии, но и придать им эстетичный внешний вид.

Последнее достигается путем гальванической обработки алюминиевых изделий с целью получения на них цветной оксидной пленки. Процесс проводят в электролитах на основе кислот с добавлением солей металлов воздействием тока переменной полярности. Результатом такой обработки являются оксидные пленки, окрашенные в различные цвета. Полученные оксидные пленки надежно защищают металл от коррозии, повышают твердость и износостойкость поверхности, создают электро- и теплоизоляционный слой.

Несмотря на большое количество работ по данной тематике, процесс электрохимического оксидирования алюминия до сих пор не имеет надежной теоретической базы. Большинство авторов дают лишь словесное описание процесса, иллюстрируя его графиками и таблицами, где приведены результаты экспериментов. Аналитическое описание процесса не приводится.

Целью данной работы является выявление математических закономерностей и нахождение оптимальных режимов процесса цветного электрохимического оксидирования алюминия. При варьировании параметров процесса (температуры, концентраций компонентов электролита, параметров тока, продолжительности процесса) толщина и пористость оксидной пленки будут различными. От толщины, пористости (количества пор на единицу поверхности, средний диаметр пор) и твердости оксидной пленки зависит ее коррозионная стойкость, определяющаяся по ГОСТ 9.031-74. Известно, что коррозионная стойкость оксидной пленки δ зависит от температуры электролита T , напряжения на электродах U , времени обработки t и концентраций компонентов электролита: кислоты C_K и солей металлов C_i , $i = 1, \dots, n$, где n – количество солей [1]. $\delta = F(T, t, U, C_K, C_i)$, $i = 1, \dots, n$.

Задача оптимизации данного процесса ставится следующим образом. Найти такие значения варьируемых координат T, t, U, C_K, C_i , $i = 1, \dots, n$, при которых критерий δ принимает максимальное значение. На варьируемые координаты накладываются следующие ограничения: $T_{\min} \leq T \leq T_{\max}$, где T_{\min} и T_{\max} – соответственно, минимально и максимально возможные температуры для данного технологического процесса; $0 < U \leq U_{\max}$, где U_{\max} – максимально возможное напряжение, $0 < C_K \leq C_{K \max}$, $C_{K \max}$ – максимальная концентрация кислоты, $0 < C_i \leq C_{i \max}$, $C_{i \max}$ – максимально возможная концентрация соли.

Кроме критерия δ в ряде практических случаев требуется использовать некоторые другие качественные критерии, зависящие от тех же координат, а именно: пористость, характеристики цвета пленки (яркость, цветовой тон, чистота). Задачи оптимизации процесса по данным критериям ставятся аналогично.

Коррозионная стойкость оксидной пленки и в особенности полученная окраска зависят не только от вышеперечисленных параметров, но и от марки алюминия [2]. Поэтому в некоторых случаях важно получить указанную выше математическую закономерность для различных марок алюминия. Прежде всего, как показывает практика, целесообразно исследовать марки высокочистого алюминия (АД-0, АД-1, АД-1М), поскольку оксидирование их позволяет получать большее количество цветов и оттенков оксидной пленки. В то же время для дюралюминия такие исследования не требуются.

Кроме того, недостаточно изученными остаются процессы получения оксидных пленок на алюминии с применением реверсного, асимметричного и импульсного токов. Между тем, применение таких токов для электрохимической обработки алюминия может не только способствовать изменению толщины и пористости оксидной пленки, но и качественно изменить ее окраску. В этом случае в математической модели требуется учесть параметры такого рода токов.

1. Бундже В. Г. и др. Воздействие на свойства анодного оксида при окислении алюминия в растворах кислот // Защита металлов. № 5. 1984.
2. S. Hsieh. Coloring Anodized Aluminum – A Review. Metal Finishing, October 1981.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ЭКСТРАГИРОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ

Юсупбеков Н. Р., Гулямов Ш. М., Зайнутдинова М. Б., Умарова Г. М.

Ташкентский государственный технический университет

В промышленном производстве растительного масла возникает задача оптимального управления процессом с целью максимизации его производительности. Основным управляющим воздействием является скорость вращения шнекового вала экстрактора. Выход масла в единицу времени довольно сложным образом связан как с оборотами шнекового вала, так и с целым рядом параметров, характеризующих конструктивные особенности экстрактора, с одной стороны, и рядом внешних случайных факторов с другой (в частности, составом поступающего сырья и т.п.). Таким образом, максимизируемый критерий также является случайной величиной при одном и том же значении управляющего воздействия.

Эмпирическую зависимость, описывающую исследуемый процесс в упрощенном виде можно представить следующим образом.

Пусть M_0 - % содержание масла в исходном продукте (мезге), а M - % содержание масла в жмыхе после переработки, τ – время обработки эмпирическую зависимость $M(\tau)$ тогда можно представить в виде

$$M(\tau) = M_0, \quad \tau < \tau_0; \quad M(\tau) = M_0 \tau / \tau_0, \quad \tau \geq \tau_0, \quad (1)$$

где $\tau = a/x$, x – скорость вращения шнека (об/мин).

Выход масла в единицу времени пропорционален величине

$$Q = [M_0 - M(\tau)] = \begin{cases} \frac{M_0 \tau_0}{a_0} \frac{a}{\tau} - x, & x < a / \tau_0. \end{cases} \quad (2)$$

Здесь M_0, τ_0, a – случайные параметры с некоторыми заданными вероятностными распределениями.

Задача максимизации $Q(x) \rightarrow \max_{x>0} \Rightarrow x^*$ имеет единственное случайное решение $x^* = \frac{a}{2} \tau_0$ и $Q(x^*) = M_0 a / 4 \tau_0$.

Современная система имитационного моделирования должна быть снабжена средствами для оптимизации моделей как параметрических, так и структурных. При этом успех применения средств оптимизации целиком зависит от эффективности мер по сокращению числа программ моделей, необходимых для оптимизации. Достичь этого можно путем снижения дисперсии оценки эффективности имитируемой системы за счет введения накопления или зависимых испытаний. Другой мерой является выбор эффективных средств оптимизации – таких, например, как методы случайного поиска. Умелая комбинация этих мер может повысить эффективность системы оптимизации.

Проблема зависимых испытаний возникает всякий раз, когда стохастическая оценка характеристик имитационной модели требует слишком много времени. Таковой является поисковая оптимизация имитационных моделей. Рассмотрим применение положительной и отрицательной корреляции порознь.

Для изучения влияния, которое оказывает корреляционная зависимость изменения параметров M_0, a , целесообразно ограничиться простейшей моделью зависимых испытаний с равномерным распределением, а в качестве алгоритма оптимизации выбрать метод случайного блуждания по решетке с постоянным шагом. При неудачном шаге направление движения изменяется на противоположное. Кроме того, поскольку величина τ входит как параметр сдвига a/τ , так и в параметр масштаба $M_0 \tau_0 / a$, то без потери общности нельзя варьировать лишь случайные величины M, a зафиксировав τ_0 . Обозначив M_0, τ_0 через b , определим случайные последовательности a_i, b_i , следующим образом

$a_i = \bar{a} + \xi_i, \quad b_i = \bar{b} + \psi_i, \quad i = 1$, где ξ_i, ψ_i - независимые равномерно распределенные в промежутке $[0,1]$ случайные величины, \bar{a}, \bar{b} – константы. Далее $\xi_{i+1} = \xi_i + \gamma U_i, \quad \psi_{i+1} = \psi_i + \Delta \vartheta_i$, где U_i, ϑ_i – независимые, равномерно распределенные в интервале $[-1,1]$ случайные величины, а $0 \leq \gamma, \Delta \leq 1$. При этом в последовательности чисел U_i, ϑ_i берутся только те значения, которые не выводят процесс за пределы интервала $[0,1]$.

Можно показать, что порожденная таким образом случайная последовательность обладает следующими свойствами: случайные величины ξ_i не зависят от ψ_i ; случайные величины ξ_i, ψ_i равномерно распределены в промежутке $[0,1]$ для каждого i ; корреляция, $\rho(\xi_i, \xi_{i+1}), \rho(\psi_i, \psi_{i+1})$ монотонно возрастает от 0 до 1, если γ, Δ монотонно изменяется от 1 до 0.

Таким образом, параметрами γ, Δ монотонно регулируется величина положительного коэффициента корреляции. С другой стороны, если видоизменить процесс, положив:

$$\xi_{i+1} = 1 - \xi_i + \gamma U_i, \quad \psi_{i+1} = 1 - \psi_i + \Delta \vartheta_i,$$

то будет аналогично схвачен случай отрицательных корреляций.

В процессе моделирования нами реализованы описанные выше схемы зависимых испытаний, а также различные их модификации, связанные с вариацией пределов изменения случайных величин и соотношения параметров ξ_i, ψ_i путем введения коэффициента отражения от границ; случайного тренда и направленного сноса к центру притяжения и т.д. Использовался также прием сглаживания путем осреднения значений функционала по симметричным точкам блуждания и пропорционального уменьшения величины шага.

Для оценки скорости сходимости при некоторых фиксированных значениях корреляции оценивалось математическое ожидание $E(t)$ и дисперсия $D(t)$ продолжительности поиска. В целом по результатам эксперимента не выявлено однозначной зависимости между величиной корреляции и скоростью сходимости. Хотя в отдельных случаях имеется слабо выраженный оптимум в пределах $0,3 < E(t), \gamma(t) > 0,7$ (табл. 1). Этот оптимум, однако не является статистически достоверным из-за сравнительно большой дисперсии наблюдений.

Интересно заметить, что наличие оптимума отличается только в области отрицательных корреляций между зависимыми испытаниями.

Таким образом, прямое применение положительной и отрицательной корреляций в зависимых испытаниях не приводит к значительному эффекту при оптимизации имитационных моделей.

Отсюда можно сделать вывод: при оптимизации имитационных моделей следует использовать оба знака корреляции.

1 Скорость сходимости алгоритма оптимизации при отрицательной и положительной корреляции.

T	$E(t)_1$	$D(t)_1$	$E(t)_2$	$D(t)_2$
Отрицательная корреляция				
0,1	45,0	55,8	85,4	43,7
0,2	26,6	12,1	33,0	14,0
0,3	21,0	5,2	29,8	9,6
0,4	31,0	19,7	19,0	14,6
0,5	22,2	7,5	17,0	7,7
0,6	13,4	7,0	25,0	18,2
0,7	13,0	6,1	19,4	16,3
0,8	13,0	6,1	37,8	20,3
Положительная корреляция				
0,1	41,4	28,4	12,0	1,7
0,2	11,8	4,6	13,6	3,4
0,3	27,8	16,1	17,6	5,4
0,4	18,6	12,9	22,4	7,0
0,5	13,8	5,3	24,4	9,5
0,6	27,8	13,5	21,2	8,1
0,7	31,4	9,5	32,4	7,7
0,8	26,2	11,9	34,4	12,9

В табл. 1 для иллюстрации приведены результаты оптимизации с применением корреляции обоих знаков, когда приращение Q оценивалось по формулам:

$$\Delta Q = Q(x_2) - Q(x_1), \quad Q(x_i) = 0,5 [Q(x_i, \xi_i^j, \psi_i^j) + Q(x_i, \xi_i^j, \psi_i^j)], \quad j = 1, 2.$$

При этом, ξ_1 и ξ_2 (ψ_1, ψ_2) коррелировали отрицательно: $\xi_2^j = 1 - \xi_1^j + \gamma U_i$, $\psi_2^j = 1 - \psi_1^j + \Delta \theta$, а ξ_i^1, ξ_i^2 и (ψ_i^1, ψ_i^2) ($i = 1, 2$) — положительно, ξ и ψ с $\gamma = \Delta$.

ИЗ ТАБЛ. 1 ВИДНО, ЧТО ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОПТИМИЗАЦИИ СВЯЗАНА С КВАДРАТИЧНОСТЬЮ ЗАВИСИМОСТИ $Q(x)$ И ОПТИМАЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ СОСТАВЛЯЮТ $\xi = \psi = 0$. ИНЫМИ СЛОВАМИ, ОПТИМАЛЬНОЙ ЯВЛЯЕТСЯ ЕДИНИЧНАЯ КОРРЕЛЯЦИЯ.

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Леонов А. В.

С каждым годом остается все меньше и меньше таких областей техники, где не применялся бы электропривод, и в частности электропривод на основе двигателей постоянного тока (ДПТ), как наиболее простых в управлении по сравнению с другими типами электрических машин (синхронных, асинхронных и пр.). Но несмотря на то, что этот тип двигателей изучается и исследуется уже давно, его свойства достаточно хорошо известны, в доступной литературе отсутствует адекватная математическая модель ДПТ. Основные трудности построения такой модели заключаются в наличии характеристики намагничивания петли гистерезиса, присущей материалу статора. Математическое описание такой функции намагничивания является чрезвычайно трудной задачей. Однако при этом следует учитывать еще и то, что эта функция входит в дифференциальные уравнения, описывающие электродвигатель.

Возьмем, например, одну из распространенных и доступных упрощенных математических моделей ДПТ, записанную в виде следующей системы дифференциальных уравнений:

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_d - M_c = C\Phi i_{\text{я}} - M_c, L_{\text{я}} \frac{di_{\text{я}}}{dt} = U_{\text{я}} - i_{\text{я}} R_{\text{я}} - E = U_{\text{я}} - i_{\text{я}} R_{\text{я}} - C\Phi\omega;$$

$$L_{\text{в}} \dot{M} = f_2(U_{\text{я}}, U_{\text{в}}).$$

Здесь Φ – величина магнитного потока, являющаяся функцией тока (а через третье уравнение – напряжения) возбуждения: $\Phi = f(i_{\text{в}})$. В общем случае это нелинейная функция, имеющая гистерезис. Для построения оптимального управления необходимо знать зависимость различных параметров от напряжения на якоре и на обмотке возбуждения $U_{\text{в}}$, например, частоты вращения якоря $\omega = f_1(U_{\text{я}}, U_{\text{в}})$ или развиваемого двигателем вращающего момента: $M = f_2(U_{\text{я}}, U_{\text{в}})$, а для реализации управления с учетом ограничений (например, с ограничением тока якоря или максимально допустимой частоты вращения), и зависимости ограничиваемых параметров от указанных напряжений. Очевидно, что получить их в общем виде из приведенных уравнений – это нетривиальная задача, без решения которой, однако, невозможно построение оптимального управления приводом одновременно по каналам якоря и возбуждения. Для случая якорного управления (при постоянном возбуждении) система значительно упрощается, и тем не менее, поведение такой модели в динамике не соответствует поведению реальных ДПТ, что указывает на ее неадекватность. Получается, что математически синтезировать законы оптимального управления электродвигателем постоянного тока в динамике имеющимися на данный момент крайне затруднительно. Возможно построение лишь квазиоптимального управления, достаточно далекого по качеству от оптимального.

Для построения оптимального управления можно предложить другой подход, основанный не на нахождении математического решения, а на построении адаптивной системы управления таким образом, чтобы она могла настраиваться на параметры конкретного типа двигателей, применяемых для решения определенной задачи. Таким свойством обладают системы управления на основе искусственных нейронных сетей (НС) (рис. 1).

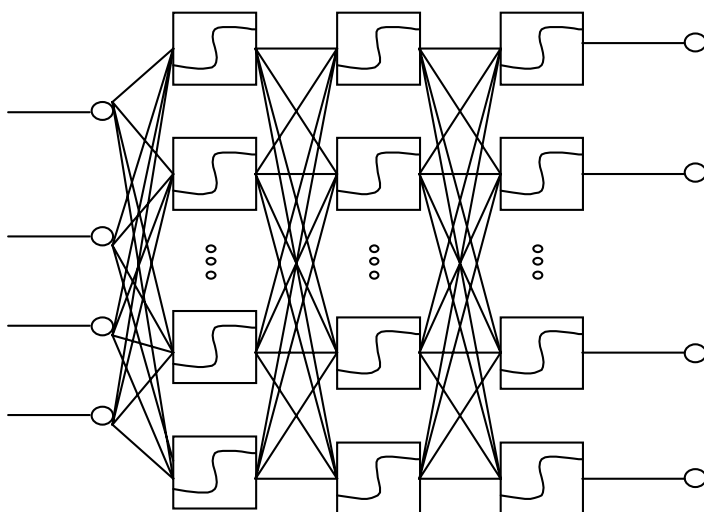


Рис. 1. Полносвязная НС без обратных связей

Обучение этой системы заключается в настройке параметров отдельных нейронов и параметров связей между ними. В силу большого числа связанных между собой нейронов с нелинейными передаточными характеристиками такая система имеет широкие возможности по аппроксимации сложных нелинейных функций многих переменных.

Достоинством такой системы является то, что для ее обучения совершенно необязательно знать закон управления в явном виде – необходимо правильно выбрать критерии оптимальности и в соответствии с их оценкой работы привода обучить НС, что дает возможность осуществлять близкое к оптимальному управление в тех случаях, когда математически сложно или невозможно получить аналитическое выражение закона управления, но возможно обучение системы на примере. Однако недостатки такой системы являются, как всегда, продолжением ее достоинств. Количество данных, необходимых НС для обучения, будет напрямую зависеть от предполагаемого режима эксплуатации привода и может быть очень велико, что потребует значительных временных затрат на обучение нейроконтроллера.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПРОИЗВОДСТВА АКРИЛИЛА Б

Елизаров И. А., Матвеев Ю. А.

Тамбовский государственный технический университет

Акрилил Б (линейный сополимер бутилакрилата и винилацетата в растворе этилацетата) широко используется в текстильной промышленности для придания тканям водоотталкивающих свойств и повышения устойчивости к воздействию света и агрессивных сред. В последнее время на предприятиях химической промышленности особенно остро стоит вопрос снижения затрат на производство продукции при обеспечении требуемого объема и качественных показателей продукции. Данную задачу невозможно решить без глубоких исследований процесса на основе его адекватной математической модели (ММ), постановки и решения задачи оптимального управления. Нами формулируется следующая задача оптимального управления.

Необходимо найти расходы горячей и холодной воды $g_r(\tau)$, $g_x(\tau)$ в рубашку реактора и время окончания процесса τ_k , обеспечивающие получение продукта заданной концентрации ($x_{ак}^- \leq x_{ак}(\tau) \leq x_{ак}^+$) и вязкости ($\mu^- \leq \mu(\tau_k) \leq \mu^+$), которые минимизируют целевую функцию, представляющую собой варьируемую часть себестоимости, и при этом выполняются уравнения связи в виде ММ и технологические условия и ограничения:

$$F(g_r, g_x, \tau_k) \rightarrow \min_{g_r, g_x, \tau_k},$$

$$\bar{y} = M(g_r, g_x, \tau),$$

$$t \leq t^+, \quad \tau_k^- \leq \tau_k \leq \tau_k^+, \quad g_x^- \leq g_x \leq g_x^+, \quad g_r^- \leq g_r \leq g_r^+,$$

где $\bar{y} = \{t, \mu, x_{ак}\}$ – вектор выходных координат процесса, необходимых для расчета целевой функции и технологических условий и ограничений; t, μ – температура и вязкость смеси, $g_r^-, g_r^+, g_x^-, g_x^+$ – нижние и верхние пределы изменения расходов горячей и холодной воды; $M(\cdot)$ – вектор-функция правых частей уравнений ММ.

Использование классических методов, таких как вариационное исчисление, принцип максимума, динамическое программирование затруднительно вследствие наличия ограничений на управление, фазовые координаты и большой размерностью вектора управляющих воздействий. Одним из возможных методов решения данной задачи оптимального управления является построение минимизирующих последовательностей в пространстве управлений, который позволяет свести задачу оптимального управления к последовательности задач математического программирования. Искомая функция управления представляется зависимой от времени и настроечных параметров \bar{A} и принадлежит к последовательно усложняющимся классам функций.

$$g_r = f(\bar{A}_r, \tau), \quad g_x = f(\bar{A}_x, \tau)$$

Исходная задача оптимального управления сводится к последовательности задач условной многомерной статической оптимизации:

$$F(\bar{A}_r, \bar{A}_x, \tau_k) \rightarrow \min_{\bar{A}_r, \bar{A}_x, \tau_k}$$

$$\bar{y} = M(\bar{A}_r, \bar{A}_x, \tau),$$

$$t \leq t^+, \quad \tau_k^- \leq \tau_k \leq \tau_k^+, \quad g_r^- \leq g_r \leq g_r^+, \quad g_x^- \leq g_x \leq g_x^+,$$

которая решается проще исходной.

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ разложения
пентокарбонила железа
Сажин С. Г., Прокопчук В. Л.
**ДЗЕРЖИНСКИЙ ФИЛИАЛ НИЖЕГОРОДСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

Рассматривается постановка задачи создания адаптивной системы управления процессом разложения пентокарбонила железа в производстве карбонильного железа на Дзержинском ОАО "Синтез".

Процесс разложения пентокарбонила железа проводится в вертикальных цилиндрических разлагателях, обогреваемых дымовыми газами. Разлагатель разделен по вертикали на 3 зоны, в каждой из которых поддерживается заданная температура. Пентокарбонил железа подается в разлагатели из испарителей, обогреваемых паром. Дымовые газы для обогрева разлагателей получают при сжигании природного газа в специальных печах.

Существующая система управления, основанная на пневматических средствах автоматизации, не обеспечивает заданной точности и стабильности поддержания температурного режима и не может исключить взаимного влияния регулирующих клапанов на линиях подачи дымовых газов для обогрева разлагателей.

Для повышения качества управления процессом разложения пентокарбонила железа нами предложена адаптивная система автоматического управления. Данная система управления обеспечит не только поддержание заданной температуры в каждой зоне разлагателя, но и в значительной мере позволит снизить взаимное влияние регулирующих клапанов на линиях подачи дымовых газов, колебания расхода газообразного пентокарбонила железа, вызываемые изменением параметров греющего пара, а также оптимизирует работу печей сжигания природного газа в зависимости от режима функционирования разлагателей.

Для создания алгоритмов системы управления разрабатываются математические модели испарителя, разлагателя, печи сжигания природного газа и реакции разложения пентокарбонила железа. Математические модели создаются с использованием данных о работе двух разлагателей совместно с одной печью сжигания природного газа.

**АЛГОРИТМ СТАБИЛИЗАЦИИ МОЩНОСТИ
РУДНОТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕЧИ**

Сотников В. В., Педро А. А., Меньшиков Д. В.
Санкт-Петербургский государственный технологический институт

Известно, что в процессе получения фосфора в руднотермической печи закрытого типа значение мощности потребляемой печью электрической энергии непостоянно во времени. Это приводит к нарушению стационарного режима работы печи и, как следствие, к ухудшению качества получаемого фосфора. Периодические понижения мощности вызваны необходимостью поддерживать в фильтрах отходящих газов температуру не более 500 °С, так как более высокие значения приводят к нарушению работы фильтров.

Температура отходящих газов возрастает, если печь находится в режиме электрической дуги, или же при спекании шихты в верхних слоях реакционной зоны печи. Существующие системы управления руднотермической печью включают в себя контур управления электрическим режимом [1], который осуществляет контроль за уровнем развития электрической дуги и предотвращает повышение температуры отходящих газов. Если же дуга отсутствует, и печь находится в нормальном режиме работы, то единственный способ поддерживать температуру на выходе из печи в допустимых пределах – это понижение мощности печи. В связи с этим, представляется целесообразным добавить в структуру системы управления руднотермической печью контур, стабилизирующий мощность печи с учетом температуры газов в электрофильтрах. Для того чтобы своевременно вносить управляющие воздействия и не допускать понижения мощности печи, в контуре необходимо прогнозирование последующих значений температуры отходящих газов, а управляющие решения должны приниматься с учетом этих данных.

Блок-схема алгоритма работы контура представлена на рис. 1. Исходными данными для алгоритма служат: значение температуры газа с датчика в электрофильтре и его прогноз для следующего шага;

данные об уровне развития электрической дуги (величина 3-й гармонической составляющей в токе электрода); максимально допустимое значение температуры газа в фильтре; заданный уровень развития электрической дуги; параметры перемещения электрода.

Если печь находится в режиме электрической дуги (значение третьей гармоники в токе электрода не соответствует заданному), то дальше работа идет в соответствии с алгоритмом управления электрическим режимом [1]. Принимаются решения о необходимости переключения ступени напряжения и величине перемещения электродов. На исполнительные механизмы выдаются соответствующие сигналы. Если же печь находится в нормальном режиме, то проверяется текущее значение температуры газа в фильтре и прогноз ее последующего значения. Если одно из этих значений больше максимально допустимого, то, скорее всего, это вызвано тем, что шихта спеклась и в верхней части печи образовался свод. В такой ситуации на исполнительные механизмы надо отдать команды перемещения электродов вверх-вниз несколько раз подряд. Это должно привести к обрушению свода, и таким образом способствовать нормальному охлаждению отходящих газов.



Рис. 1

Вышеприведенный алгоритм позволит не понижать мощность печи для уменьшения температуры газов в фильтре, и как следствие, повысить качество получаемого фосфора.

1. Боярун В. З. Оптимизация производства фосфора в руднотермической печи закрытого типа: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПбГТИ. СПб., 2000.

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПРОИЗВОДСТВА НОРМАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОКОРУНДА

Никитина Л. Н., Сотников В. В., Педро А. А.

Санкт-Петербургский государственный технологический институт

Для получения нормального электрокорунда агломерированный боксит подвергают плавке с углеродистым восстановителем, в процессе которой происходит восстановление окислов железа, кремния и титана. Образующийся ферросплав отделяется от обогащенного глиноземом расплава и осаждается на дне печи. Плавка ведется периодическим способом с отдельным выпуском ферросплава и высокоглиноземистого расплава. Получение нормального электрокорунда осуществляется в открытой руднотермической

печи (РТП). Процесс плавки можно разделить на две стадии: расплавления шихты и доводки расплава. На первой стадии идет плавление шихты и одновременно восстановление оксидов. До начала второй стадии слой непроплавленной шихты поддерживают толщиной до 1,3 м. Это снижает потери энергии и сырья, уменьшает загрязненность отходящих газов. На второй стадии, когда вся шихта загружена, происходит только рафинирование и перегрев расплава. При этом РТП работает в дуговом режиме.

В качестве управляющих воздействий для решения задачи управления приняты: корректировка состава шихты, перемещение электрододержателя, переключение ступеней трансформатора, команды на выпуск корундового расплава и ферросплава, команды на перепуск электродов. Реализация управляющих воздействий осуществляется соответствующими контурами управления.

Начальная загрузка шихты m_0 осуществляется при достижении электродами крайнего нижнего положения h^{\min} .

В отличие от существующего способа управления РТП нами предлагается дозировать общий объем шихты порциями, каждая из которых рассчитывается по математической модели. Момент корректировочной загрузки определяется по величине отклонения измеренного значения постоянной составляющей фазного напряжения $U_{\text{пс}}$ от эталонного значения.

Определение момента переключения трансформатора на меньшее напряжение осуществляется по величине содержания 3-й гармонической составляющей фазного тока электродов (I_3/I_1). Всего ступеней напряжения пять, но обычно используют только три.

Управление перемещением электродов производится с целью поддержания постоянной величины объемной мощности в подэлектродном пространстве за счет стабилизации тока I на каждой ступени трансформатора. Перепуск электродов осуществляется каждую плавку после начальной загрузки.

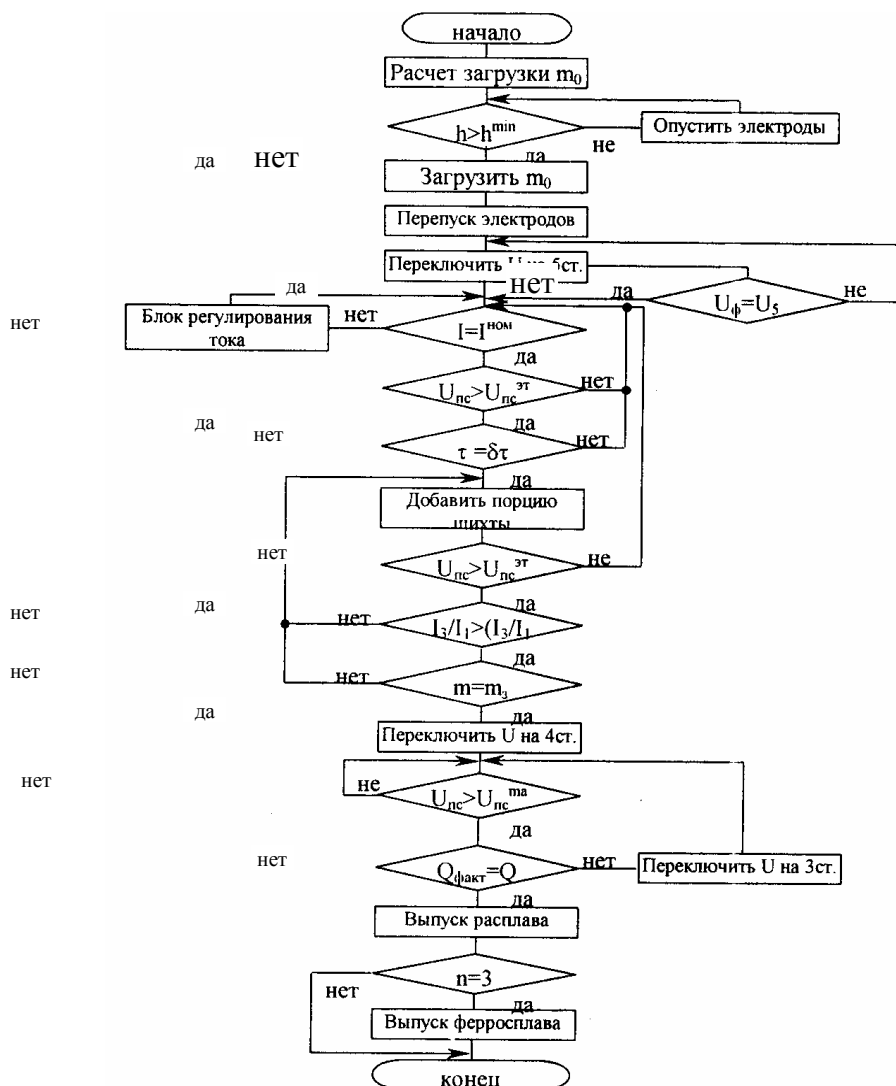


Рис. 1. Блок-схема алгоритма управления процессом получения нормального электрокорунда

Момент выпуска расплава предлагается определять по достижению постоянной составляющей фазного напряжения величины, соответствующей содержанию 94 ... 95 % Al_2O_3 , определенной на эталонных плавках с учетом затраченной энергии $Q_{\text{факт}}$. Выпуск ферросплава производится после каждого третьего выпуска расплава электрокорунда ($n = 3$).

Блок-схема обобщенного алгоритма управления процессом производства нормального электрокорунда представлена на рис. 1.

ВЫБОР КРИТЕРИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Вент Д. П., Маслова Н. В., Пророков А. Е.

Новомосковский институт РХТУ им. Д. И. Менделеева

Качество функционирования управляемых химико-технологических процессов (ХТП) обычно оцениваются с помощью некоторого критерия эффективности. Структура и свойства используемых систем автоматического управления напрямую влияют на величину этой эффективности $I = \Phi(y, u)$, зависящего от управлений u и выходных координат y . Задачи оптимизации режима функционирования ХТП заключается в подборе такого вектора управлений u^* , который минимизирует (или максимизирует) критерий эффективности при соблюдении связей и технологических ограничений.

В общем случае выходная координата y нелинейно зависит от потоков энергии Q и H , подводимых и отводимых от объекта управления. Однако для ХТП основу которых составляют энергетические превращения, в установившихся режимах можно с достаточной степенью точности представить эту зависимость в линеаризованной форме

$$y = \sum_{i=1}^n k_i Q_i + \sum_{j=1}^m c_j H_j. \quad (1)$$

Критерий эффективности (1) для такого объекта ХТП, отражающий условия энергетических превращений, называют критерием энергосбережения и представляют в виде аддитивной функции

$$I_s = \sum_{i=1}^n a_i Q_i + \sum_{j=1}^m b_j H_j. \quad (2)$$

Спецификой таких объектов является то, что в ХТП обычно существует несколько управлений, воздействующих на одну и ту же координату y . Отсюда возникает возможность выбора того или иного управления u для построения САУ. При этом в качестве управления используется обычно координата u , обеспечивающая лучшие динамические характеристики по каналу u - y . Такое управление назовем динамически эффективным. Однако динамически эффективное u может быть далеко не лучшим с точки зрения критерия эффективности (2), т.е. с точки зрения энергосбережения. Используя не одно, а несколько управлений, отличающихся по степени влияния на критерий энергосбережения (2), можно создать энергосберегающую САУ за счет соответствующего выбора вектора управления. Входные координаты, существенно влияющие на критерий энергосбережения, можно назвать энергоэффективными. Анализ особенностей организации типовых ХТП приводит к выводу, что оптимизировать установившиеся режимы их работы по критерию энергосбережения возможно с помощью энергосберегающей САУ (ЭСАУ), обладающих структурной избыточностью в управлении. Как следствие этого такие ЭСАУ должны обладать специфической многоконтурностью с числом управлений, превышающим число управляемых переменных.

Анализ некоторых технологических процессов химических производств (синтез аммиака и метанола, каталитическая очистка хвостовых газов и плазмохимическая фиксация атмосферного азота агрегата неконцентрированной азотной кислоты) позволил сделать вывод о том, что в каждом из них существу-

ет, по крайней мере, два конкурирующих между собой управления, одновременное использование которых позволяет экономить энергоресурсы с помощью создания ЭСАУ.

Например, для регулирования температуры очищенных газов на выходе реактора каталитической очистки могут быть использованы два управляющих воздействия: подача топливной смеси в реактор через камеру сгорания и подача добавочного воздуха на абсорбцию природного газа в реактор в заданном соотношении необходимом для обеспечения качества очистки. В этом случае критерий энергосбережения включает в себя такие составляющие как сумма эксергетических затрат в реакторе и камере сгорания и количество механической энергии, выделяемой на валу турбины в результате расширения очищенных газов. Аналитически этот критерий будет выглядеть следующим образом

$$I_1 = (r_1 \sum E_x + r_2 G_{NO_x}) / \Delta N, \quad (3)$$

где $\sum E_x$ - суммарные эксергетические затраты в реакторе и камере сгорания реактора; G_{NO_x} - количество оксидов азота в выхлопных газах; ΔN - полезная мощность на валу газотурбинной установки; r_1, r_2 - весовые коэффициенты.

Суммарные эксергетические затраты, входящие в критерий (3), зависят от количества подаваемого природного газа в реактор и камеру сгорания реактора и точности поддержания температуры газового потока на выходе реактора. Проектируемая система регулирования будет стабилизировать данную температуру достаточно точно. В этом случае суммарные эксергетические затраты по обоим каналам управления будут зависеть только от количества подаваемого природного газа. Так как физическая и химическая эксергия природного газа пропорциональна количеству природного газа, то для простоты расчета целесообразно в критерии (3) использовать суммарные затраты природного газа. С учетом вышеизложенного критерий (3) окончательно запишется в виде

$$I_1 = (r_1 \sum G_{\text{ПГ}} + r_2 G_{NO_x}) / \Delta N. \quad (4)$$

В критерий (4) входит суммарный расход природного газа по двум управляющим каналам $\sum G_{\text{ПГ}}$, количество оксидов азота в выхлопных газах G_{NO_x} и приращение полезной мощности ΔN на валу газотурбинной установки.

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИНФОРМАЦИОННОГО КРИТЕРИЯ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ РЕКТИФИКАЦИИ

Гладыш И. П.

Высшая школа управления и предпринимательства, Варшава

ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НЕЛЬЗЯ НЕ СЧИТАТЬСЯ С НАЛИЧИЕМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ. ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИНФОРМАЦИОННОГО ПОДХОДА ИСКОМЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ ВЫБИРАЮТСЯ ИЗ УСЛОВИЯ МАКСИМУМА ФУНКЦИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЭНТРОПИИ. ИНФОРМАЦИОННАЯ ЭНТРОПИЯ ВЫСТУПАЕТ В КАЧЕСТВЕ КРИТЕРИЯ МАКСИМАЛЬНОГО ПРАВДОПОДОБИЯ – МАКСИМУМУ ЭНТРОПИИ ОТВЕЧАЕТ НАИБОЛЕЕ ДОСТОВЕРНЫЙ ОТВЕТ НА ПОСТАВЛЕННУЮ ЗАДАЧУ. РЕЗУЛЬТАТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ПОДХОДА НЕ ПРЕТЕНДУЮТ НА АБСОЛЮТНУЮ ТОЧНОСТЬ, ОНИ РАССМАТРИВАЮТСЯ КАК НАИБОЛЕЕ БЕСПРИСТРАСТНЫЕ ВЫВОДЫ НА ОСНОВЕ ИМЕЮЩЕЙСЯ ДОСТОВЕРНОЙ, НО НЕ ВСЕГДА ПОЛНОЙ ИНФОРМАЦИИ.

В качестве меры энергетического совершенства разделительной системы служит критерий качества разделения, основанный на информационном подходе. При использовании этого подхода рассматривается информационная энтропия входного и выходных потоков. Энтропийный критерий качества разделения смеси в процессе ректификации для ректификационной системы имеет следующий вид

$$\eta = \left(H_0 - \sum_{p=1}^n H_p \right) / H_0,$$

где H_0, H_p – информационная энтропия входного и выходного потоков разделительной системы, n – количество выходных потоков из системы.

ЗНАЧЕНИЕ ЭНТРОПИЙНОГО КРИТЕРИЯ ЛЕЖИТ В ПРЕДЕЛАХ ОТ $\eta = 0$ ДО $\eta = 1$, ЧТО ОЗНАЧАЕТ СООТВЕТСТВЕННО ОТСУТСТВИЕ И ПОЛНОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ. КРИТЕРИЙ КАЧЕСТВА РАЗДЕЛЕНИЯ СМЕСИ НА ПРОДУКТЫ ЗАДАННОГО СОСТАВА МОЖНО РАС-

СМАТРИВАТЬ КАК ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ, ПОСКОЛЬКУ ВЫРАЖЕНИЕ В ЧИСЛИТЕЛЕ ПРОПОРЦИОНАЛЬНО ИДЕАЛЬНОЙ РАБОТЕ РАЗДЕЛЕНИЯ СМЕСИ НА ПРОДУКТЫ ЗАДАННОГО СОСТАВА, А В ЗНАМЕНАТЕЛЕ – ТО ЖЕ ВЫРАЖЕНИЕ, ОТНЕСЕННОЕ К РАЗДЕЛЕНИЮ НА ЧИСТЫЕ ПРОДУКТЫ. ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ В КАЧЕСТВЕ УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ВЫСТУПАЮТ РАСХОД ФЛЕГМЫ ИЛИ ПАРА, ОТБОР ДИСТИЛЛЯТА ИЛИ КУБОВОГО ПРОДУКТА, МЕСТО ВВОДА ПИТАНИЯ И ДР. К ВОЗМУЩЕНИЯМ ОТНОСЯТСЯ РАСХОД И СОСТАВ ПИТАНИЯ. ОТМЕЧЕНА ВЫСОКАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ КРИТЕРИЯ ПРИ ВАРЬИРОВАНИИ УПРАВЛЯЮЩИХ И ВОЗМУЩАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ. ПРИ ВАРЬИРОВАНИИ ИНТЕНСИВНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ (ОТБОР ДИСТИЛЛЯТА ИЛИ КУБОВОГО ПРОДУКТА И ДР.) МОЖНО ПОВЫСИТЬ ОРГАНИЗОВАННОСТЬ СИСТЕМЫ (КАЧЕСТВО РАЗДЕЛЕНИЯ) ПРИ НЕИЗМЕННЫХ ЗАТРАТАХ РАБОТОСПОСОБНОЙ ЭНЕРГИИ. ПРИ ВАРЬИРОВАНИИ ЭКСТЕНСИВНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ (РАСХОД ФЛЕГМЫ ИЛИ ПАРА, ЧИСЛО СТУПЕНЕЙ РАЗДЕЛЕНИЯ И ДР.) КАЧЕСТВО РАЗДЕЛЕНИЯ ПОВЫШАЕТСЯ ЛИШЬ ЗА СЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ. ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ РЕКТИФИКАЦИИ В ПЕРЕХОДНОМ РЕЖИМЕ СФОРМУЛИРОВАНА, КАК ПРОГРАММА ИЗМЕНЕНИЯ ОТБОРА ДИСТИЛЛЯТА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩАЯ ВЫХОД ПРОДУКТОВ ЗАДАННОГО СОСТАВА И МАКСИМАЛЬНУЮ РАЗДЕЛИТЕЛЬНУЮ СПОСОБНОСТЬ КОЛОННЫ.

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ПОСОЛА РЫБЫ

Сердобинцев С. П., Графова Е. Н.

Калининградский государственный технический университет

В процессе производства соленой продукции можно выделить два основных периода: просаливание, в течение которого происходит основное перераспределение соли и воды в системе рыба-тузлук; созревание рыбы, в основе которого лежит процесс расщепления белков.

Качество соленой продукции характеризуется совокупностью показателей, оценивающих безопасность с микробиологической точки зрения, сохраняемость и созреваемость, органолептические, эстетические и массовые свойства продукта.

Отсутствие термической обработки повышает требования к соблюдению санитарно-гигиенического, температурного режима и других требований технологического регламента на всех стадиях производственного цикла. В особой степени требование безопасности относится к производству малосоленой продукции (пресервов) без предварительного посола сырья.

Обобщенно зависимость показателя безопасности (G) от основных влияющих факторов можно представить следующим образом

$$G = f_{\delta}(C, G_0, T, P, t), \quad (1)$$

где G_0 – начальная обсемененность компонент (рыба, вода, соль); C_{Π} – концентрация соли в тузлуке у поверхности продукта; T – температура продукта; P – рН продукта и среды; t – время просаливания (созревания, хранения).

На время просаливания t_{Π} определяющее влияние оказывают: L – размер кусков продукта; D – значение коэффициента диффузии; B – вид посола, определяющий, в частности, температуру и наличие перемешивания рассола, т.е.

$$t_{\Pi} = f_{\Pi}(L, D, B). \quad (2)$$

Время просаливания t_{Π} обычно определяют из решения уравнения диффузии при существенных допущениях: продукт имеет "правильную" геометрическую форму, концентрация тузлука $C = C_{\Pi}$ постоянна в течение всего времени просаливания, коэффициент диффузии не зависит от температуры и других влияющих факторов. При более точных вычислениях принимают, что коэффициент диффузии зависит от температуры $D \approx D_0(1 + \beta \Delta T)$, где $\beta \approx 0,05$, ΔT – отклонение температуры от базового значения.

Зависимость времени охлаждения $t_{\text{ох}}$ от влияющих факторов можно выразить зависимостью, аналогичной (2)

$$t_{\text{ок}} = f_{\text{ок}}(L, a, B), \quad (3)$$

где a – коэффициент температуропроводности.

В процессе созревания рыбы происходит гидролиз белковых веществ, формируются аромат, вкус и консистенция продукта. Обобщенно зависимость скорости расщепления белков – протеолиза (z) от влияющих факторов можно представить следующим образом $z = f_c(A, C, T, P, t)$, где A – комплексный показатель, характеризующий свойства сырья, включая вид, размерный ряд, концентрацию ферментов, вид разделки, предварительное и последующее замораживание. Скорость гидролиза регулируют добавлением ферментов, кислот (щелочей), изменением температуры и pH продукта.

Понижение температуры, увеличение концентрации соли и степени созревания продукта подавляют рост микрофлоры. Кинетика роста популяции микроорганизмов в условиях избытка питательных веществ и незначительного влияния продуктов их жизнедеятельности включает в себя индукционный период (стадия лаг-фазы) t_0 и фазу экспоненциального роста. Рост концентрации микрофлоры удовлетворительно описывается простейшей моделью Мальтуса:

$$x = x_0 \exp [\mu(T, C, P)\Delta t], \quad \text{где } \Delta t = t - t_0.$$

Начальная обсемененность сырья x_0 колеблется в широких пределах от 10 до $2 \cdot 10^4$ клеток/г. Существенный рост обсемененности может быть вызван нерациональным проведением размораживания рыбы. Обсемененность продукции по условиям микробиологической безопасности не должна превышать $10^5 \dots 10^6$ кл/г. Рост обсемененности прекращается при температуре продукта ≤ 5 °C и массовой дозе соли $C \geq 5$ %.

Для выбора стратегии управления важно, что время просаливания $t_{\text{п}}$ превышает время охлаждения $t_{\text{ок}}$ при граничных условиях первого рода примерно в a/D раза, поэтому важнейшим фактором предотвращения интенсивного роста микробиологической обсемененности на начальной стадии посола является управление температурой процесса. Время созревания обычно превышает 1 месяц и не оказывает заметного влияния на микробиологическую обсемененность продукта на начальных стадиях технологического процесса.

Измерения и расчеты показывают, что при размораживании, мойке, набивке и движении по конвейеру в режиме номинальной производительности температура поверхности продукта может повышаться на $5 \dots 7$ °C, а среднемассовая температура на $1 - 3$ °C. Отопление рыбы в этих пределах удается компенсировать предварительным охлаждением заливки на $2 - 3$ °C.

Созревание пресервов происходит в основном после их складирования. Охлаждение пресервов в складских условиях соответствует регулярному тепловому режиму. При этом температура продукта T в каждой точке продукта изменяется по экспоненциальному закону $(T - T_{\text{ср}})/(T_0 - T_{\text{ср}}) = \exp(-t/m)$, где m – темп охлаждения; $T_0, T_{\text{ср}}$ – начальная температура и температура окружающей среды.

Обработка экспериментальных данных по охлаждению пресервов в жестяной банке в воздухе при температуре -4 ± 1 °C и непрерывно работающих вентиляторах показала, что темп охлаждения существенно зависит от места расположения банки и способа складирования коробок с банками и находится в пределах $(7 \dots 87) \cdot 10^{-5}$, с.

Экспериментально определено, что получению качественной продукции способствует скорость охлаждения в пределах $0,3 \dots 0,4$ °C/ч и скорость просаливания $0,4 \dots 0,5$ % NaCl [1]. Для указанной скорости охлаждения верхняя граница рекомендуемого температурного режима просаливания и созревания пресервов $-3,5 \pm 1,5$ °C достигается за $30 - 40$ ч, если температура продукта, поступающего на склад не превышает $+10$ °C. Чрезмерная интенсификация охлаждения может привести к замораживанию пресервов.

По известным значениям температуры среды $T_{\text{ср}}$, конечной температуры продукта $T_{\text{ПК}}$, времени охлаждения t_0 и экспериментально определенному темпу охлаждения m , используя теорию регулярного режима определяется максимально допустимая среднемассовая температура $T_{\text{ср. max}}$ поступающих на склад пресервов

$$T_{\text{ср. max}} = (T_{\text{ПК}} - T_{\text{ср}}) e^{m\tau} + T_{\text{ср}}.$$

При температуре сырья выше допустимого значения $T_{\text{ск. max}}$ пресервы перед складированием необходимо охлаждать потоком воздуха температурой $t_{\text{cp}} = -3,5 \pm 1,5$ °С. Необходимая продолжительность охлаждения определяется выражением

$$T = \frac{mc}{F} \frac{1}{6,16 + 4,14u} \ln \frac{T_{\text{от. max}} - T_{\text{cp.}}}{T_{\text{ск. max}} - T_{\text{cp.}}},$$

где m , c , F – масса, удельная теплоемкость и внешняя поверхность банки с продуктом; u – скорость воздушного потока.

Задача о просаливании сведена к приближенному решению уравнения диффузии методом, основанном на представлении о "фронте возмущения". При этом предполагается, что в исходном состоянии вся соль сосредоточена в "зоне накопления".

Совместный анализ процессов охлаждения и просаливания подтверждает возможность порчи продукта вследствие роста микробиологической обсемененности при медленном охлаждении или замораживании незрелого сырья при быстром охлаждении.

Система управления линией по производству пресервов построена по иерархическому принципу. Разработанные модели тепловых и диффузионных процессов позволяют организовать взаимодействие уровней управления линией по принципу прогнозирования.

Информационной основой управления производством малосоленых пресервов служат результаты измерений температуры сырья, добавок, воздуха, воды на основных технологических участках, продолжительности операций, температуры и скорости воздуха в устройстве охлаждения банок на складе.

Верхний уровень управления координирует работу локальных подсистем управления размораживанием сырья, охлаждением заливки, банок с продуктом, дозированием соли и консервантов, температурным режимом на складе, обеспечивая микробиологическую безопасность продукта.

1. Шендерюк В. И. и др. Технология малосоленых деликатесных пресервов... / Технология малосол. деликатесных пресервов. Сб. науч. трудов. Калининград, 1991.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

Беднаржевский В. С.

Алтайский государственный университет, bednar@s42.dcn-asu.ru

При автоматизированном проектировании парового котла последовательно прорабатываются определенные этапы: расчет конструкции, изготовление чертежей, расчет динамики котла. Каждому этапу соответствует своя математическая модель: статическая, параметрическая, динамическая.

СТАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРЕДСТАВЛЯЮТ СОБОЙ АЛГОРИТМЫ РАСЧЕТОВ: КОНСТРУКТИВНОГО ТЕПЛООВОГО, ПОВЕРОЧНОГО ТЕПЛООВОГО, АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО, ГИДРАВЛИЧЕСКОГО, ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ ПО ПАРОВОМУ ТРАКТУ, ЭЛЕМЕНТОВ КОТЛА НА ПРОЧНОСТЬ, ЦЕЛЬНОСВАРНЫХ ЭКРАНОВ НА ПРОЧНОСТЬ, СИСТЕМЫ ПЫЛЕПРИГОТОВЛЕНИЯ, ТРУБОПРОВОДОВ НА САМОКОМПЕНСАЦИЮ, ЦЕЛЬНОСВАРНЫХ ГАЗОПЛОТНЫХ ПОТОЛКОВ НА ПРОЧНОСТЬ, КАРКАСА КОТЛА, НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА. КАЖДЫЙ РАСЧЕТ УКРУПНЕННО ПРЕДСТАВЛЕН КАК ФУНКЦИЯ ОПРЕДЕЛЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ.

Параметрические модели необходимы для изготовления в автоматическом режиме рабочих чертежей котла и его узлов: коллекторов, труб, цельносварных панелей, горелочных устройств и др. Параметрические модели также представляют собой алгоритмы программ вместе с аппаратом параметризации. Алгоритмы реализуются на специализированном языке AutoLISP в среде AutoCAD. Аппарат параметризации включает в себя собственно параметрическую модель с предварительной классификацией объекта параметризации. Под параметризацией понимается такое представление некоторого класса

геометрических объектов, которое позволяет автоматически получать конкретный объект (экземпляр класса) путем задания значений параметров.

Динамическая модель котла необходима для настройки автоматических систем регулирования (АСР) и выявления опасных отклонений параметров на стадии проектирования. Нестационарные процессы в котле описываются системой обыкновенных дифференциальных уравнений материального и теплового балансов, уравнений расхода рабочей среды, теплового баланса газозоудного тракта, теплопередачи и теплообмена.

ПЕРЕЧИСЛЕННЫЕ МОДЕЛИ ПРИМЕНЯЮТСЯ НАМИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПАРОВЫХ КОТЛОВ ПРОИЗВОДСТВА ОАО "СИБЭНЕРГОМАШ".

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РАБОТЫ

ПАРОВЫХ КОТЛОВ В ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМАХ

Беднаржевский В. С.

Алтайский государственный университет, bednar@s42.dcn-asu.ru

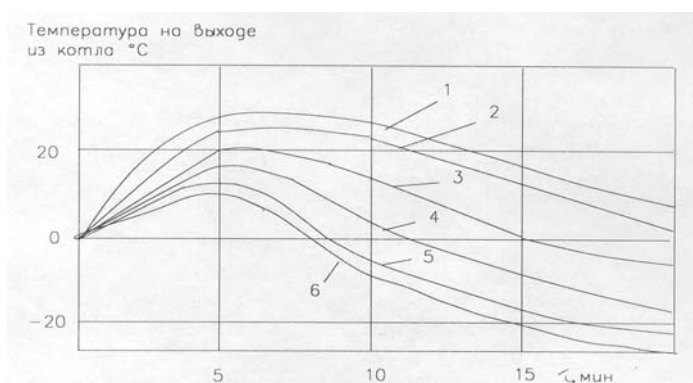
Безопасность эксплуатации теплоэнергетического оборудования относится к первоочередным задачам. В последнее время наблюдается тенденция к повышению аварий на электростанциях в результате отказа автоматических систем регулирования.

Нами построена динамическая математическая модель котлоагрегата с естественной циркуляцией на примере головного котла БКЗ 420-140-9 (производство ОАО "Сибэнергомаш"). Математическая модель включает систему линейных дифференциальных и алгебраических уравнений с постоянными коэффициентами и записана в предположении, что котельный агрегат является линейной детерминированной системой с сосредоточенными координатами в условиях малых возмущений. Одним из условий безаварийной работы котельного агрегата является устойчивость его к работе в переменных режимах. Проектируется такой котел, который при отказе автоматических систем регулирования может обеспечивать проектную температуру пара на выходе из пароперегревателя через определенное время после внесения возмущающего воздействия по топливу.

Варьирование производится площадью тепловоспринимающей поверхности пароперегревателя в активной зоне горения. Характеристикой таких пароперегревателей является степень радиационности – отношение радиационного тепловосприятия пароперегревателя к его полному тепловосприятию. Пароперегреватель изменяли так, чтобы степень радиационности была равна 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6 (рис. 1). В результате получили отклонение температуры пара от номинального значения в выходной ступени пароперегревателя.

Таким образом, с помощью математического моделирования показана принципиальная возможность создания саморегулирующегося котлоагрегата с естественной циркуляцией, когда с изменением состава топливной смеси обеспечиваются проектные параметры пара, что возможно при степени радиационности пароперегревателя равной 0,5.

Отклонения температуры на выходе из котла, °С



**Рис. 1. Температура на выходе из котлоагрегата
при возмущении 10 % расходом топлива:**

I – степень радиационности (СР) = 0,6; 2 – СР = 0,5; 3 – СР = 0,4;
4 – СР = 0,3; 5 – СР = 0,2; 6 – СР = 0,1

**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ
ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ НА БАЗЕ
МОДЕЛИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ PIMS**

Чистякова Т. Б., Петухов А. А., Лисицын Н. В.

Санкт-Петербургский государственный технологический институт

В условиях рыночных отношений важнейшую роль в обеспечении эффективной работы предприятий играет оперативное планирование и управление производствами и технологическими процессами. Для решения задач оперативного планирования производств наиболее часто применяют пакеты прикладных программ RPMS и PIMS. Эффективность использования этих программных систем существенно зависит от полноты и адекватности математических моделей производств и технологических процессов.

В данной работе показана возможность применения программной системы PIMS для автоматизированного оперативного планирования производства глубокой переработки нефти на ПО "Киришинефтеоргсинтез". Для решения этой задачи нами построена математическая модель производства, учитывающая: качественные показатели нефти до ее поступления на первичную переработку, структуру и состав резервуарного парка, и наличие переходящих остатков компонентов и другие факторы. Модель основана на единой информационной системе, базирующейся на платформе СУБД "Informix", позволяет осуществлять долгосрочное планирование и обеспечивает передачу данных из оптимального плана PIMS в задачу "Планирование производства".

Включение математической модели нового производства глубокой переработки нефти в модель системы PIMS позволяет производить расчет сроков окупаемости, схем и режимов работы технологического оборудования. Модель системы PIMS привязана к единой информационной базе данных качества сырья, полуфабрикатов, промежуточных и товарных продуктов. Для вновь созданной модели реализованы информационные связи между подразделениями предприятия (ЦЗЛ, отдел сбыта, технологический отдел и т.д.) Система решает не только задачу расчета оптимального оперативного плана производства, но и задачу распределения сырья, полуфабрикатов и товарной продукции.

Программная система PIMS, базирующаяся на нашей математической модели, позволяет в дискретные моменты времени: составлять оптимальный календарный план производства; сравнивать контракты на поставку сырья, полуфабрикатов, энергоресурсов и выбирать из них оптимальные, с точки зрения максимальной прибыли, сочетания; выбирать оптимальные давальческие контракты, как с точки зрения процентного соотношения отбираемых в качестве оплаты за переработку нефтепродуктов, так и с точки зрения качества поставляемого сырья; составлять оптимальное расписание переработки, транспортировки и хранения сырья, полуфабрикатов, нефтепродуктов.

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОБУЧАЮЩАЯ СИСТЕМА
ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ
ЭНЕРГОРЕСУРСАМИ ЭЛЕКТРОСЕТИ**

Чистякова Т. Б., Кашмет В. В., Суворов М. В.

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Управление энергоресурсами промышленной электрической сети требует от обслуживающего персонала как точности выполнения режима потребления электроэнергии, так и соблюдения последовательностей оперативных переключений. С развитием вычислительной техники от диспетчеров также

требуются навыки работы с программным обеспечением, позволяющим получать оперативную информацию о состоянии электрической сети, а также производить управление.

Диспетчерский график является основным документом, регламентирующим суточные режимы работы энергетического оборудования ЕЭС России, энергосистем, электростанции, а также документом для осуществления коммерческих расчетов. Несоблюдение диспетчерского графика может привести к перерасходу электроэнергии, что влечет за собой экономические потери предприятия. В задачу диспетчера входит обеспечить сбалансированность потребления и нагрузки электростанций с учетом внешних потоков электроэнергии и мощности.

Оперативные переключения это определенные наборы действий диспетчера, сформированные по известным правилам и направленные на решение различных задач электрической сети. Незнание правил или последовательности переключений может привести к самым тяжелым последствиям, начиная от остановки цехов и заканчивая смертельными исходами.

В связи с этим, к обслуживающему персоналу объектов энергетики предъявляются достаточно жесткие требования. Для подготовки диспетчеров, сейчас достаточно эффективно используются компьютерные тренажеры.

В мире насчитывается большое количество тренажеров для энергетики. Существуют большие тренажерные комплексы, такие как тренажеры фирм "Thomson Training & Simulation", "TWR12". Это дорогие тренажерные комплексы, включающие в себя как аппаратное обеспечение, так и программное. Не каждая российская энергосистема может позволить себе приобретение подобного комплекса.

Существуют сравнительно дешевые средства для тренажа персонала энергетики – это тренажеры оперативных переключений ("Сотус-К"), представляющие собой набор программных средств для тестирования диспетчеров на знание правил последовательности оперативных переключений и тренировки в создаваемых нестандартных ситуациях. Основной недостаток таких тренажеров это оторванность от реального объекта энергетики и несовпадение интерфейса и способов переключений программы – тренажера и реального оперативно-информационного управляющего комплекса. После подготовки на подобном тренажере диспетчера приходится переучивать на реальном объекте.

Использование известных систем создания человеко-машинного интерфейса позволяет пользователям сравнительно быстро и просто создавать собственные оперативно-информационные управленческие комплексы и наделять их различными функциями, в том числе и функциями тренажера. Это упрощает развитие системы и дает возможность приобретать не только реальную систему, но и тренажер. Таким образом актуальна проблема разработки и реализации алгоритмов и методов обучения средствами современных SCADA систем.

С помощью SCADA системы InTouch пакета Factory Suite фирмы Wonderware нами разработан оперативно-информационный комплекс, включающий в себя ряд функций тренажера. Реализован режим тестирования обучаемого инструктором. Путем создания инструктором ситуации проверяется скорость и правильность реакции обучаемого на возникновение события в системе. Также реализована возможность обучаемого тренироваться самостоятельно, выполняя определенные задания. Результатом тренировки является распечатка ведомости с выставленной автоматически оценкой. Данная функция была реализована на основе экспертной системы, присутствующей в пакете. Экспертная система выступает так же своего рода тренажером, во время работы выдавая сообщения и предупреждения диспетчеру.

По мере работы количество упражнений и предусмотренных ситуаций может увеличиваться инструктором или опытным диспетчером, что позволяет тренажеру развиваться.

Реализация функций обучения и разработка методов и алгоритмов тестирования обучаемого персонала позволит упростить создание программных продуктов с помощью SCADA систем, включающие в себя как функции оперативно-информационных управляющих комплексов, так и функции тренажера.

К ВОПРОСУ ОБ УПРАВЛЕНИИ ПРОЦЕССОМ ПОЛУЧЕНИЯ БЕЛОГО ЭЛЕКТРОКОРУНДА

Халимон В. И., Педро А. А., Проститенко О. В.

Санкт-Петербургский государственный технологический институт

Абразивные материалы широко применяются для механической обработки во многих отраслях промышленности. Из этих абразивов наиболее предпочтительным благодаря высокой твердости является белый электрокорунд.

В ОСНОВЕ ПРОИЗВОДСТВА БЕЛОГО КОРУНДА ЛЕЖИТ ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА γ -ГЛИНОЗЕМА В α -ГЛИНОЗЕМ С ДОСТАТОЧНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИЕЙ КОРУНДА В ДУГОВЫХ РУДНО-ТЕРМИЧЕСКИХ ПЕЧАХ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ.

В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ ВОЗМОЖНЫ ОТКЛОНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ПЕЧЕЙ ОТ ЗАДАННЫХ И НЕСВОЕВРЕМЕННАЯ ИХ КОРРЕКТИРОВКА ПРИВОДИТ К УХУДШЕНИЮ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ. ПОЭТОМУ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ДОЛЖНО ОСУЩЕСТВЛЯТЬСЯ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЦЕЛЕВОГО ПРОДУКТА И СНИЖЕНИЕ СЫРЬЕВЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ.

ПРЕДЛАГАЕМАЯ НАМИ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДОЛЖНА ВКЛЮЧАТЬ В СЕБЯ НЕКОЛЬКО КОМПОНЕНТ:

• **ВО-ПЕРВЫХ, ТАК КАК ПРОЦЕСС ПЕРИОДИЧЕСКИЙ, ТО ЦЕЛЕСООБРАЗНО ИСПОЛЬЗОВАТЬ ДЛЯ ГЛОБАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АППАРАТ УПРАВЛЯЮЩИХ СЕТЕЙ ПЕТРИ, АДАПТИРОВАННЫХ К ОСОБЕННОСТЯМ ДАННОГО ПРОЦЕССА [1];**

• **ВО-ВТОРЫХ, ПОСКОЛЬКУ ОТДЕЛЬНЫЕ СТАДИИ ПРОЦЕССА, МОЖНО РАССМАТРИВАТЬ КАК НЕПРЕРЫВНЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ОБЛАДАЮЩИЙ ЦЕЛЫМ РЯДОМ ФАКТОРОВ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ, ТО НЕОБХОДИМО УЧИТЫВАТЬ ЭТИ ФАКТОРЫ ПРИ МАТЕМАТИЧЕСКОМ ОПИСАНИИ;**

• **В-ТРЕТЬИХ, ФОРМИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДОЛЖНО ОСУЩЕСТВЛЯТЬСЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГАРМОНИЧЕСКОГО СОСТАВА НАПРЯЖЕНИЯ И ТОКА ЭЛЕКТРОДОВ РУДНО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕЧИ И ИХ ОТКЛОНЕНИЙ ОТ ЭТАЛОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК.**

РЕЗУЛЬТАТ ИЗМЕРЕНИЯ ОТКЛОНЕНИЯ РЕАЛЬНОЙ ПОСТОЯННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ОТ ЭТАЛОННОЙ ЯВЛЯЕТСЯ СИГНАЛОМ ДЛЯ ПОДАЧИ ПОРЦИИ КОКСА (С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ТЕПЛОВОГО ИМПУЛЬСА), КОРРЕКТИРУЮЩЕЙ ИЗМЕНЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПО ЖЕЛАЕМОМУ ЗАКОНУ В СООТВЕТСТВИИ С ЭТАЛОННОЙ КРИВОЙ. ПЕРЕД ЗАПУСКОМ РУДНО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕЧИ ЗАГРУЖАЕТСЯ ОКОЛО ПОЛОВИНЫ ВСЕГО НЕОБХОДИМОГО ИСХОДНОГО СЫРЬЯ (ГЛИНОЗЕМА), ОСТАЛЬНОЕ КОЛИЧЕСТВО ГЛИНОЗЕМА, РАССЧИТЫВАЕМОЕ ПО МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА, ДОГРУЖАЕТСЯ ПОРЦИОННО ПО СИГНАЛУ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ.

КАК СЛЕДУЕТ ИЗ [2], ДУГОВОЙ РЕЖИМ ХАРАКТЕРИЗУЕТСЯ НЕПРЕРЫВНО ИЗМЕРЯЕМЫМИ ГАРМОНИЧЕСКИМИ СОСТАВЛЯЮЩИМИ ТОКОВ ЭЛЕКТРОДОВ. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОСТОЯННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ФАЗНОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ГАРМОНИЧЕСКИХ ТОКОВ ПОЗВОЛЯЕТ СОЗДАТЬ ЭФФЕКТИВНУЮ СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ РУДНО-ТЕРМИЧЕСКИМИ ПЕЧАМИ ПРОИЗВОДСТВА БЕЛОГО КОРУНДА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩУЮ ЗАДАННЫЙ ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ПЕЧИ ВО ВРЕМЕНИ.

1. ЛАЗАРЕВ В. Г., ПИЙЛЬ Е. И. СИНТЕЗ УПРАВЛЯЮЩИХ АВТОМАТОВ. М.: ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ, 1989.

2. Педро А. А. и др. Роль химического взаимодействия электрода с расплавом в измерении гармонического состава тока // Электротехника. 1997. № 4.

ОПТИМАЛЬНОЕ СМЕШЕНИЕ ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ

Лисицын Н. В., Поздяев В. В., Кузичкин Н. В.

ООО "Наука, технология, информатика, контроль",

ПО Киришинефтеоргсинтез

Приготовление товарной продукции (дизельного топлива) на нефтеперерабатывающих производствах производится, в основном, путем смешения в потоке ряда компонентов, что предъявляет высокие требования к точности компаундирования. Снижение коэффициентов запаса у показателей

качества продукта позволяет получить существенный экономический эффект. Нами разработан двухуровневый алгоритм для решения задачи оптимального смешения в потоке нескольких типов дизельного топлива. На верхнем уровне решается задача

$$\min_y F(u_{jk}) = (d_{jk}^{\text{ГОСТ}} - d_{jk})^2 \quad \text{или} \quad \min_y F = \sum \bar{c}_i u_{ij} y_j, \quad (1)$$

а на нижнем уровне

$$\max_{u_{1j} \dots u_{nj}} F = \sum u_{ij} c_{Si} \quad \text{или} \quad \min_{u_{1j} \dots u_{nj}} F = \sum \bar{c}_i u_{ij} y_j \quad (2)$$

при ограничениях

$$\sum_j u_{ij} y_j \leq R_i, \quad \sum_j u_{bj} y_j = R_b, \quad (3), (4)$$

$$\Phi_{jk}(u_{1j}, \dots, u_{nj}, d_{k1}, \dots, d_{kn}) \leq b_{k\max}, \quad \sum u_{ij} = 1, u_{ij} \geq 0, i = \overline{1, n} \quad j = \overline{1, m} \quad k = \overline{1, r}, \quad (5), (6)$$

где: $y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$, y_j – масса j -го товарного продукта; $u_j = \{u_{1j}, u_{2j}, \dots, u_{nj}\}$, u_{ij} – доля i -го компонента в j -ом товарном продукте; \bar{c}_i – стоимость i -го компонента; c_{Si} – содержание серы в i -ом компоненте; n – число компонентов; m – количество товарных продуктов; Φ_{jk} – функциональная зависимость, связывающая значение k -го основного параметра j -ой смеси со значениями i -го параметра для каждого компонента и количествами исходных компонентов в смеси, $b_{k\max}$ – предельное максимальное (минимальное) значение k -го основного параметра по ГОСТ, d_{ki} – k -й показатель качества i -го компонента; R_i – ресурс i -го компонента; R_b – масса базового компонента, поступающего на смешение.

Ограничения (4) обусловлены необходимостью полного использования базовых компонентов: дизельного топлива гидроочищенного и денормализата. Входящие в (5) плотность, содержание серы и фракционный состав определяли по правилу аддитивности. Кинематическую вязкость находят по формуле Вальтера

$$\log \log(v_j + 0,8) = \sum_i u_i \log \log(v_i + 0,8). \quad (7)$$

Поскольку температуры вспышки, застывания, помутнения и фильтруемости смеси не являются аддитивными функциями смешиваемых компонентов, то для их расчета используются уравнения

$$\varphi(T_{\text{см}kj}) = \sum_i u_{ij} \varphi_{ki}(T_{ki}) \quad j = \overline{1, m}; \quad k = \overline{1, r}, \quad (8)$$

На верхнем уровне задача нелинейного программирования решается методами случайного поиска. Для решения задачи оптимизации на нижнем уровне ограничения (6) и (7) приводятся к линейному виду, что позволяет использовать модифицированный симплекс метод.

Информация, вводимая с действующих на производстве АРМов операторов, и результаты автоматизированных измерений АСУТП позволили нам разработать процедуру оперативного определения эмпирических коэффициентов в уравнениях (8), которая периодически обновляет их перед оптимизацией.

В результате решения задачи оптимизации при сравнительно небольшом перераспределении выработок дизельных топлив, удаётся существенно снизить запас по качеству для основного показателя (содержание серы).

ОЦЕНИВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Кацюба О. А., Пахомов Ю. Ю.

Самарский государственный технический университет,
ЗАО "Нефтехимия"

При анализе или синтезе систем управления сложными объектами (в частности, объектами нефтехимии) необходимо решать задачу прогнозирования поведения объекта на k -шагов.

Пусть имеет место линейная модель некоторого случайного процесса, описываемого линейным стохастическим разностным уравнением $y(t) = G(q)u(t) + v(t)$, где фильтр – $G(q) = B(q)/A(q)$,

$B(q) = \sum_{m=0}^r b_m^{(0)} q^m$, $A(q) = \sum_{m=0}^r a_m^{(0)} q^m$, q – оператор сдвига назад, $v(t)$ – случайный процесс типа мартингал-

разностей с нулевым математическим ожиданием и конечной дисперсией; $(v(t) = H(q)e(t))$, $e(t)$ – белый шум).

Известно, что прогноз на k -шагов определяется следующим выражением [1]:

$$\hat{y}(t+k|_t) = G(q)u(t+k) + \tilde{H}_k(q)H^{-1}(q)[y(t) - G(q)u(t)],$$

где $\tilde{H}_k(q) = \sum_{l=k}^{\infty} h(l)q^{-l+k}$, $h(l)$ – значение весовой функции фильтра $H(q)$.

Однако в большинстве случаев параметры фильтров $H(q)$ и $G(q)$ не известны. Поэтому необходимо на первом этапе произвести идентификацию параметров. Для простоты изложения рассмотрим следующую модель объекта

$$Z_i - \sum_{m=1}^r a_m^{(0)} Z_{i-m} = \sum_{m=0}^r b_m^{(0)} u_{i-m} + v_i^{(1)}, y_i = Z_i + v_i^{(2)}. \quad (1)$$

Эта задача в связи с наличием помех во входных предикторах обычным методом наименьших квадратов (МНК) не решается. Для решения задачи предлагается обобщенный метод наименьших квадратов (МНК), в котором используется следующий критерий:

$$\min_{\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix}} w^{-1}(a) U_N(b, a), \quad (2)$$

$$U_N(b, a) = \sum_{i=1}^N (y_i - y_r^T(i)a - u_r^T(i)b)^2, \quad w = 1 + \gamma + a^T a,$$

где $y_r(i) = (y_{i-1}, \dots, y_{i-r})^T$, $u_{r+1}(i) = (u_i, \dots, u_{i-r})^T$, $\gamma = \sigma_{v_1}^2 / \sigma_{v_2}^2$.

Теорема: пусть стационарная динамическая система описывается уравнениями (1), помехи $v_i^{(1)}$ и $v_i^{(2)}$ удовлетворяют следующим условиям: 1) $E(v^{(k)}(i+1)/F_i^k) = 0$, (E – оператор математического ожидания), $E((v^{(k)})^2(i+1)/F_i^k) \leq \Pi_k$, $E((v^{(k)})^4(i)) \leq \Pi'_k < \infty$, где F_i^k – σ -алгебра, индуцированная $\{v^{(k)}(t), t \in T\}$; 2) $\{u_i\}$ статистически не зависит $\{v^{(k)}(i)\}$; 3) $\{v^{(1)}(i)\}$ статистически не зависит $\{v^{(2)}(i)\}$; 4) Входной сигнал – случайный процесс, удовлетворяющий условиям постоянного возбуждения порядка $r+1$.

Тогда оценки $\hat{a}(N), \hat{b}(N)$, определенные (2) при $N \rightarrow \infty$ существуют, единственны и сильно состоятельны.

Приведены примеры прогноза и погрешности прогноза при оценках параметров объекта.

1. Ljung L. Consistency of the Least-Squares Identification method. IEEE Trans. Aut. Control, 1976. № 10.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ЛОКАЛЬНЫХ ВАРИАЦИЙ ПРИ ИНТЕРПОЛЯЦИИ СПЛАЙНАМИ ПЯТОГО ПОРЯДКА

Маринин В. И., Князев Д. Н.

Южно-Российский государственный технический университет,

E-mail: povt@srstu.novoch.ru

Поставим задачу интерполяции следующим образом. Пусть на плоскости OXY даны n опорных точек $[x_i, y_i]$, $i = 1, \dots, n$ и в первой и последней точках известны значения первой и второй производных. Требуется построить кривую класса гладкости C^2 , проходящую через опорные точки, удовлетворяющую заданным значениям производных и минимизирующую интеграл

$$L = \int_{x_1}^{x_n} (y''(x))^2 dx. \quad (1)$$

Решение будем искать в пространстве сплайнов пятого порядка. Сплайн пятого порядка и две первые его производные могут быть заданы в следующем виде [1]:

$$y(x) = \frac{1}{6}u_1x^3 + \frac{1}{24}u_2x^4 + \frac{1}{60}u_3x^5 + \frac{1}{2}y_0''x^2 + y_0'x + y_0, \quad (2)$$

$$y'(x) = \frac{1}{2}u_1x^2 + \frac{1}{6}u_2x^3 + \frac{1}{12}u_3x^4 + y_0''x + y_0',$$

$$y''(x) = u_1 x^2 + \frac{1}{2} u_2 x^2 + \frac{1}{3} u_3 x^3 + y_0'',$$

где u_1, u_2, u_3 – коэффициенты сплайна, y_0, y_0', y_0'' – значения сплайна, первой и второй производной в некоторой начальной точке. Построим первое приближение кривой способом, описанным в гл. 1

Теперь в каждой опорной точке известны значения первой и второй производных. Обозначим через L_1 значение интеграла (1), соответствующее первому приближению кривой. Далее поступим следующим образом. Разобьем кривую на участки, по три последовательно идущие точки в каждом так же, как это было сделано

$n-1 \quad n$

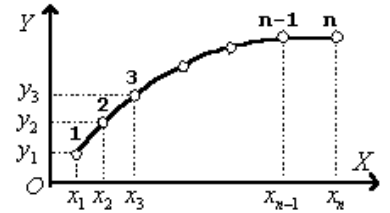


Рис. 1

Рис. 1

в [1]. Получим следующие участки: $\{1, 2, 3\}, \{2, 3, 4\}, \{3, 4, 5\}, \dots, \{n-2, n-1, n\}$ (рис. 1). Далее выполним некоторую операцию над участком $\{1, 2, 3\}$, затем ту же операцию над участком $\{2, 3, 4\}$, но с учетом преобразования участка $\{1, 2, 3\}$ и т.д., пока не дойдем до последнего участка. В результате получим новую кривую. Обозначим через L_2 значение интеграла (1), соответствующее второму приближению кривой. Оказывается, что $L_2 < L_1$. Применение операции ко всем участкам кривой от первого до последнего назовем отображением. Применяя отображение последовательно несколько раз к одному и тому же набору точек, получим искомую кривую.

Теперь опишем упомянутую операцию, которую необходимо выполнить над участком на примере участка $\{1, 2, 3\}$. В каждой точке этого участка известны значения первой и второй производных (y_1', y_1'' – значения первой и второй производных в точке 1 соответственно; y_2', y_2'' – значения первой и второй производных в точке 2 соответственно; y_3', y_3'' – значения первой и второй производных в точке 3 соответственно). Тем не менее, примем, что в точке 2 значения производных не известны и поставим следующую задачу. Найти такие значения первой и второй производной в точке 2, при которых интеграл от квадрата второй производной на отрезке $[x_1, x_3]$ принимает наименьшее значение, т.е.

$$L = \int_{x_1}^{x_3} (y''(x))^2 dx \rightarrow \min.$$

Представим рассматриваемый функционал в следующем виде

$$L = \int_{x_1}^{x_3} (y''(x))^2 dx = \int_{x_1}^{x_2} (y_I''(x))^2 dx + \int_{x_2}^{x_3} (y_{II}''(x))^2 dx, \quad (3)$$

где $y_I''(x)$ – вторая производная образующей на отрезке $[x_1, x_2]$; $y_{II}''(x)$ – вторая производная образующей на отрезке $[x_2, x_3]$.

С учетом третьего уравнения системы (2), правая часть (3) запишется следующим образом

$$L = \int_{x_1}^{x_2} \left[u_{11}x + \frac{1}{2}u_{21}x^2 + \frac{1}{3}u_{31}x^3 + y_1'' \right]^2 dx + \int_{x_2}^{x_3} \left[u_{12}x + \frac{1}{2}u_{22}x^2 + \frac{1}{3}u_{32}x^3 + y_2'' \right]^2 dx,$$

где u_{11}, u_{21}, u_{31} – коэффициенты на отрезке $[x_1, x_2]$, u_{12}, u_{22}, u_{32} – коэффициенты на отрезке $[x_2, x_3]$. Взяв интегралы, стоящие в правой части, получим

$$\begin{aligned}
L = & \frac{1}{63}u_{31}^2h_1^7 + \frac{1}{18}u_{21}u_{31}h_1^6 + \frac{1}{20}u_{21}^2h_1^5 + \frac{2}{15}u_{11}u_{31}h_1^5 + \\
& + \frac{1}{6}u_{31}y_1''h_1^4 + \frac{1}{4}u_{11}u_{21}h_1^4 + \frac{1}{3}u_{11}^2h_1^3 + \frac{1}{3}u_{21}y_1''h_1^3 + u_{11}y_1''h_1^2 + y_1''^2h_1 + \\
& + \frac{1}{63}u_{32}^2h_2^7 + \frac{1}{18}u_{22}u_{32}h_2^6 + \frac{1}{20}u_{22}^2h_2^5 + \frac{2}{15}u_{12}u_{32}h_2^5 + \\
& + \frac{1}{6}u_{32}y_2''h_2^4 + \frac{1}{4}u_{12}u_{22}h_2^4 + \frac{1}{3}u_{12}^2h_2^3 + \frac{1}{3}u_{22}y_2''h_2^3 + u_{12}y_2''h_2^2 + y_2''^2h_2,
\end{aligned} \tag{4}$$

где $h_1 = x_2 - x_1$, $h_2 = x_3 - x_2$.

Выразим коэффициенты u_{ij} ($i = 1, 2, 3; j = 1, 2$) через значения сплайна и его первых двух производных в граничных точках участков

$$\begin{cases} u_{11} = \frac{-3(20(y_1 - y_2) + 12h_1y_1' + 3h_1^2y_1'' + 8h_1y_2' - h_1^2y_2'')}{h_1^3}; \\ u_{21} = \frac{12(30(y_1 - y_2) + 16h_1y_1' + 3h_1^2y_1'' + 14h_1y_2' - 2h_1^2y_2'')}{h_1^4}; \\ u_{31} = \frac{-30(12(y_1 - y_2) + 6h_1y_1' + h_1^2y_1'' + 6h_1y_2' - h_1^2y_2'')}{h_1^5}. \end{cases} \tag{5}$$

$$\begin{cases} u_{12} = \frac{-3(20(y_2 - y_3) + 12h_2y_2' + 3h_2^2y_2'' + 8h_2y_3' - h_2^2y_3'')}{h_2^3}; \\ u_{22} = \frac{12(30(y_2 - y_3) + 16h_2y_2' + 3h_2^2y_2'' + 14h_2y_3' - 2h_2^2y_3'')}{h_2^4}; \\ u_{32} = \frac{-30(12(y_2 - y_3) + 6h_2y_2' + h_2^2y_2'' + 6h_2y_3' - h_2^2y_3'')}{h_2^5}. \end{cases} \tag{6}$$

Подставим выражения для коэффициентов u_{ij} в формуле (4). Ввиду громоздкости получающегося в результате выражения, запишем его в функциональной форме

$$L = f(y_1, y_1', y_1'', y_2, y_2', y_2'', y_3, y_3', y_3'', h_1, h_2).$$

Так как все переменные, кроме первой и второй производных в точке 2, известны, можно записать

$$L = f(y_2', y_2'').$$

Для определения y_2', y_2'' , возьмем частные производные от L по переменным y_2', y_2'' и приравняем их к нулю:

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial y_2'} = f_1(y_2', y_2'') = 0; \\ \frac{\partial L}{\partial y_2''} = f_2(y_2', y_2'') = 0. \end{cases}$$

Разрешая данную систему относительно y_2' и y_2'' , получим:

$$y_2' = -\frac{1}{48h_1h_2(h_1 + h_2)} [75h_2^2y_1 + 75h_2^2y_2 - 75h_2^2y_3 - 27h_1h_2^2y_1' + 27h_2h_1^2y_3' + h_1^2h_2^2y_1'' - h_1^2h_2^2y_3'']$$

$$y_2'' = -\frac{1}{6h_1h_2(h_1 + h_2)} [-30h_2y_1 + 30h_1y_2 + 30h_2y_2 - 30h_1y_3 - 8h_1h_2y_1' + 8h_2h_1y_3' + h_1^2h_2y_1'' - h_1h_2^2y_3'']$$

Подставляя полученные выражения в формулы для u_{ij} , $i, j = 1, 2, 3$, находим коэффициенты сплайна на отрезках $[x_1, x_2]$ и $[x_2, x_3]$, при которых интеграл от квадрата второй производной имеет минимальное значение.

Предложенное нами отображение является сжимающим, т. е. выполняется следующее равенство

$$\rho(A\xi_1, A\xi_2) = \alpha\rho(\xi_1, \xi_2),$$

где $\alpha < 1$, A – отображение, ξ_1 и ξ_2 – точки пространства сплайнов, символом ρ обозначена метрика. Об этом свидетельствуют многочисленные проведенные эксперименты. Справедливость этого утверждения доказана и теоретически. Следовательно, по теореме о сжимающем отображении существует, и притом только одна, неподвижная точка отображения A . Иными словами, описанное отображение позволяет построить единственный сплайн, удовлетворяющий необходимым требованиям.

1. Маринин В. И., Князев Д. Н. Использование сплайнов пятого порядка. Методы и алгоритмы прикладной математики. Матер. МНПК. Ч. 4. Новочеркасск: ЮРГТ, 2001.

О ПРИМЕНЕНИИ ВАРИАЦИОННОГО ИСЧИСЛЕНИЯ К ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ВИБРОГАСИТЕЛЕЙ

Гросман В. Р.

Московский военный институт

Традиционные методы расчета оптимальных параметров динамических гасителей колебаний предполагают заведомо известную их конструкцию [1]. Требуется только найти ее параметры. При этом, однако, нет гарантии, что эта конструкция оптимальна. Применение к данной проблеме методов вариационного исчисления открывает более широкие возможности для аналитического конструирования оптимальных динамических гасителей колебаний.

Пусть колебательная система описывается уравнением

$$\varphi(x(t)^{(n)}, x(t)^{(n-1)}, \dots, x(t), y(t)) = 0. \quad (1)$$

Здесь $x(t)$ – координата, $x(t)^{(n)}$ – производная порядка n координаты по времени, $y(t)$ – неизвестное пока воздействие гасителя на колебательную систему, которое назовем управлением. Требуется определить управление $y(t)$, $0 \leq t \leq \infty$, переводящее любую систему (1) из начального положения $x(0) = x_0$, $x'(0) = x''(0) = \dots = x^{(n-1)}(0) = 0$, в конечное $x(\infty) = x'(\infty) = \dots = x^{(n-1)}(\infty) = 0$ при условии, что функционал

$$J(y(t)) = \int_0^{\infty} [x^2 + \sum_{i=1}^k A_i (x^{(i)})^2 + \sum_{j=1}^{p+1} B_j (y^{(j-1)})^2] dt \quad (2)$$

достигает минимума. В формуле (2) величины A_i , B_j – известные постоянные, обеспечивающие равномерную выпуклость функционала (2); p , k – заданные натуральные числа, $k < n$, $p < n$.

Таким образом, имеем задачу Лагранжа на условный экстремум. Действительно, задан функционал $J(y)$ и уравнение связи (1). Решив эту задачу, получим оптимальное программное управление $y(t)$, $0 \leq t \leq \infty$, знание которого позволяет определить структуру гасителя колебаний и его параметры.

Нельзя, разумеется, не учитывать сложность реализации управления $y(t)$ в случае усложненных систем виброгашения. Однако, в практически приемлемых простейших системах виброгашения равномерную выпуклость функционала $J(y)$ можно считать вполне гарантированной.

Обсуждаемая методика применима, в частности, к расчету и проектированию новых систем виброгашения, как-то: систем моментных виброгасителей типа "Ромашка"; систем динамических виброгасителей с пассивной адаптацией и т.д.

1. Сергеев С. И. Демпфирование механических колебаний. М.: Физматгиз, 1959.

ОБ ЭТАЛОННЫХ СТРАТЕГИЯХ ЭФФЕКТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ В СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Дозорцев В. М., Крейдлин Е. Ю.

ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ УПРАВЛЕНИЯ ран, VICTOR@PETROCOM-JV.RU

Поиск причин неисправностей в технической системе (ТС) – центральный этап принятия операторских решений во многих практических задачах управления и инжиниринга [1]. Качество управления ТС и уровень подготовки оперативного персонала во многом определяются именно эффективностью используемых процедур диагностики, что превращает задачу формирования и закрепления соответствующих навыков в ключевую проблему тренинга операторов.

Общепризнанным продуктивным инструментом формирования операторских навыков являются компьютерные тренажерные системы, основанные на имитационном моделировании ТС и современных информационных технологиях автоматизированного инструктирования. В то же время даже при обеспечении высокой степени подобия имитационной модели и реальной ТС компьютерные тренажеры са-

ми по себе не гарантируют выработки оптимального навыка, и, более того, могут приводить к консервации существующих у оператора не вполне эффективных приемов работы. Такая ситуация чревата существенными издержками, особенно в случае диагностирования быстроразвивающихся предаварийных и аварийных ситуаций в ТС.

Выход состоит в создании компьютерных систем поддержки принятия решений (КСППР), обеспечивающих необходимую коррекцию структуры навыка за счет возможности сравнения используемых оператором приемов с эталонными стратегиями решения задачи диагностики. В [2, 3] предлагается и обосновывается КСППР на стадии диагностики неисправностей ТС-ДИАГНОСТ. Суть подхода – в предоставлении оператору богатой симптоматики отклонений параметров ТС от нормы, наступающих вследствие различных нарушений функционирования системы. При этом в ДИАГНОСТе обеспечивается высокая степень мотивированности обучаемого в решении диагностической задачи наиболее эффективным образом, что достигается подменой "физического" времени решения, так называемой "ценой игры" $\tau_{\text{игры}}$, определяемой числом используемых обучаемым информационных запросов (запросы симптомов) и проверок возможных причин нарушений (стоимость проверки причины, как правило, значительно выше стоимости запроса симптома). В результате игрок стремится делать эффективные ходы, т.е. запрашивать дополнительные симптомы в той последовательности, которая обеспечивает лучшее значение $\tau_{\text{игры}}$.

Очевидно, что ключевое звено такой КСППР состоит в оценке сделанных игроком ходов (как и всей игры в целом) по эталонным критериям эффективности диагностики. Среди известных операторских диагностических стратегий можно отметить решения, основанные на вероятностях реализации отдельных причин или на среднем времени наработки элементов ТС на отказ. Однако, их реализация оператором затруднена, поскольку соответствующие вероятностные и временные характеристики имеют достаточно субъективный характер и, более того, корректность их использования для диагностики неисправностей многих ТС не вполне очевидна. Известна также стратегия "деления неопределенности поровну", основанная на выборе такого информационного запроса, который при всех возможных исходах делит множество причин максимально поровну (с учетом "субъективных предпочтений" оператора). Данный одношаговый минимаксный метод, гарантирующий решение задачи диагностики за заранее известное количество ходов, к сожалению, также достаточно труден для оператора, поскольку требует громоздких мысленных расчетов (необходимо просчитать группы причин, на которые при разных реализациях симптоматики делится все их множество каждым из запросов). При этом не менее важно, что такая стратегия обезличивает причины, которыми мысленно манипулирует оператор, что противоречит механизму генерации и проверки гипотез, по мнению большинства исследователей используемому операторами при диагностировании. Согласно этому механизму, оператор осознанно выбирает гипотезу, содержащую одну или несколько причин, и проверяет ее истинность с помощью запросов дополнительной симптоматики нарушения.

Ниже предлагается и анализируется стратегия, основанная именно на минимизации среднего времени проверки истинности выбранной гипотезы.

А. Проверка наиболее вероятной причины. Предполагается, что на каждом шаге оператор работает с одной из причин (например, i -й) и выбирает информационный запрос, наиболее эффективно отделяющий данную причину от остальных, непротиворечащих уже известной симптоматике. Показано, что такая задача эквивалентна проверке за минимальное среднее время истинности конъюнктивного логического выражения, а оптимальный запрос j^* отвечает условию

$$j^* = \arg \max_j P(i, j)/T_j, \quad (1)$$

где $P(i, j)$ - вероятность "не обнаружить" такой же симптом, как и в i -ой выбранной причине, на всем множестве оставшихся причин; T_j – время, требуемое на запрос j -го параметра.

Б. Проверка составной гипотезы. В случае, когда оператор работает сразу с несколькими причинами, объединенными в составную гипотезу, задача диагностики сводится к определению истинности конъюнктивно-дизъюнктивного логического выражения за минимальное среднее время проверки. В указанное выражение конъюнктивно входят совпадающие для всей гипотезы симптомы и дизъюнктивно – группы симптомов по параметрам, где полного совпадения нет.

Возможно упрощенное решение такой задачи, когда оператор отказывается (до поры) разделять входящие в гипотезу причины и не учитывает дизъюнктивные члены. В этом случае проверка реализуется по стратегии (1) на суженном множестве параметров с полностью совпадающими на данной гипотезе симптомами. Затем, после подтверждения гипотезы в целом оператор работает с уточненной, более узкой гипотезой.

При проверке истинности целостной составной гипотезы дизъюнктивные группы симптомов сначала оцениваются по вероятности и среднему времени проверки, а затем рассматриваются как отдельные конъюнктивные элементы общего логического выражения. Показано, что оптимальная стратегия информационных запросов по минимальному среднему времени проверки истинности дизъюнкции отвечает условию

$$j^* = \arg \max_j (1 - P(i, j))/T_j . \quad (2)$$

По нашему мнению, предложенная стратегия (1), (2): адекватно описывает механизм генерации и проверки гипотез; позволяет оператору содержательно выбирать и объединять в гипотезы отдельные причины неисправностей; требует от оператора приемлемого объема вычислений, связанных только с необходимостью отделить выбранную гипотезу от множества остальных причин. Вместе с тем, с точки зрения общей цены игры эта стратегия уступает минимаксной. Цена игры по стратегии (1), (2) мажорирует минимаксную цену. Показано, однако, что, если при оптимальном по минимаксу разделении всего множества причин большее из образовавшихся подмножеств принять за составную операторскую гипотезу, то стратегия (1), (2) даст решение, совпадающее с минимаксным. Другими словами, чем удачнее оператор выбирает гипотезу, тем ближе операторское решение (1), (2) к решению, оптимальному по минимаксу.

Система ДИАГНОСТ опробована в лабораторных условиях (в роли обучаемых выступали разработчики имитационных моделей ТС, непричастные, однако, ни к созданию КСППР, ни к моделированию используемой в тренинге реальной системы), а также в обучении операторов установки первичной переработки нефти на одном из крупнейших российских нефтеперерабатывающих заводов. Анализ результатов тренинга показал среди прочего состоятельное улучшение стратегии диагностики по ходу обучения, причем средняя цена игры обучаемых приближалась к минимаксной.

1. Дозорцев В. М. Обучение операторов технологических процессов на базе компьютерных тренажеров // Приборы и системы управления. № 8. 1999.
2. Dozortsev, V. M. "Diagnost: A Software for Developing Efficient Decision-...". In Proceedings of the 6th Euromedia Conference "Euromedia'2001" Valencia, 2001.
3. Дозорцев В. М. и др. Система компьютерной поддержки принятия решений для тренинга...: Сб. тр. МНК ММТТ-14. Т. 4. Смоленск: СФМЭИ, 2001.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ И НАСТРОЙКИ СИСТЕМ
ПРОГРАММНО-ЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Новичков А. Ю., Крейдлин Е. Ю.

ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ УПРАВЛЕНИЯ РАН, {LEHIN|EUGENE}@PETROCOM-JV.RU

Общеизвестны три основных направления использования имитационных моделей (ИМ) технологических процессов (ТП): компьютерный тренинг оперативного персонала; технологический инжиниринг процессов; тестирование и настройка систем управления [1]. Настоящая работа посвящена третьему из этих направлений, набирающему актуальность в связи с заметным оживлением работ по внедрению усовершенствованных систем управления.

Выгоды от использования динамических ИМ для инжиниринга систем управления (СУ) очевидны: они позволяют без затрат, связанных с опасными и дорогостоящими экспериментами на реальном объекте, проверить сложную СУ, выбрать лучшие значения параметров алгоритмов управления и заранее оценить возможный экономический эффект от использования системы управления. По существующим оценкам, такой инжиниринг на стадии ввода АСУТП позволяет смягчить пусковой период и сократить его на несколько дней, что с лихвой окупает затраты на создание ИМ [2]. При этом современные информационные технологии обеспечивают необходимые для инжиниринга СУ свойства ИМ и программных средств их компьютерной реализации: всережимность моделей; интерактивность моделирования (возможность произвольных по времени и составу вмешательств в ход моделируемого процесса); вариабельность внешних условий; удобный интерфейс с моделируемой СУ; удобную возможность модифицировать структуру и параметры настраиваемой системы.

Собственно моделируемые системы управления могут быть реализованы как специализированные программные модули, связанные с ИМ процесса по протоколу обмена (от ИМ к СУ – измерения; от СУ

к ИМ – управления) (рис. 1). В свою очередь пользователь (специалист по управлению, технолог, оператор и др.) снабжается наблюдениями от ИМ и СУ и имеет доступ к моделируемой системе как непосредственно в режиме управления (уставки регуляторов, задания на клапаны и пр.), так и в режиме настройки параметров алгоритмов управления. Описанная общая структура позволяет реализовывать тестирование и настройку любых СУ, начиная от базового регулирования и кончая сложными процедурами оптимального управления. При этом, однако, в каждом конкретном случае сохраняется необходимость детального программирования и перепрограммирования (по ходу настройки структуры) алгоритмов управления, часто содержащих достаточную долю стандартных функциональных элементов. Последнее обстоятельство особенно существенно в случае широко распространенных программно-логических регуляторов (ПЛР), реализующих управление комплексом исполнительных устройств по заранее заданной временной последовательности с учетом складывающихся значений регулируемых и контролируемых параметров.

Такие последовательности могут быть реализованы с помощью специального языка, содержащего базовые функции взаимодействия ПЛР с СУ (получение состояния исполнительного устройства / значения параметра, установка состояния / значения по условию); взаимодействия ПЛР с пользователем (получение настроечных параметров, вывод сообщений); функции сравнения действительных величин; логические функции; функции управления ходом последовательности (задержка по условию, ветвление по условию). Базовые функции реализуются на языке С++ в виде объектов и связаны по единому интерфейсу. Собственно сборка программно-логических схем управления осуществляется в конструкторе, реализованном на языке VBA в среде Microsoft Access. Результатом работы конструктора является настроечные данные для ПЛР.

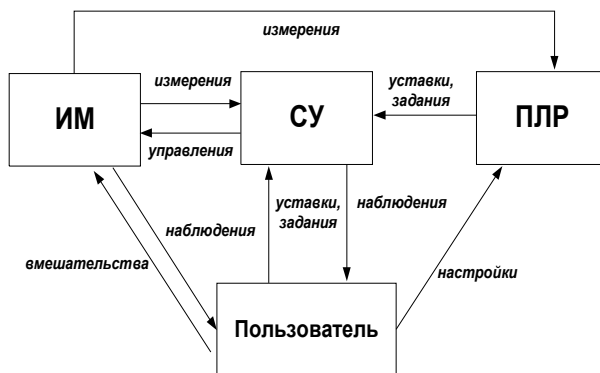


Рис. 1. Структура имитационного моделирования ТП имитационного моделирования ТП с использованием ПЛР

В НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ ПЛР ШИРОКО РАСПРОСТРАНЕНЫ В ПСЕВДОНЕПРЕРЫВНЫХ ТП, ГДЕ НЕСКОЛЬКО ПАРАЛЛЕЛЬНО РАБОТАЮЩИХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ НИТОК ОБЕСПЕЧИВАЮТ НЕПРЕРЫВНЫЙ ВЫХОД ЦЕЛЕВЫХ ПРОДУКТОВ (НАПРИМЕР, ВО МНОГИХ ПРОЦЕССАХ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ МЕХАНИЗМ АДсорбЦИОННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ). ТАКЖЕ ПЛР ПРИМЕНЯЮТСЯ В СУ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ (ПЕЧАМИ, КОМПРЕССОРАМИ И Т.П.); ПО ПРОГРАММНО-ЛОГИЧЕСКОМУ ПРИНЦИПУ СТРОЯТСЯ И МНОГИЕ СИСТЕМЫ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ ЗАЩИТЫ.

ПРЕДЛАГАЕМЫЙ ПОДХОД ОПРОБОВАН НАМИ В ИНЖИНИРИНГЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ АДсорбЕРАМИ-ОСУШИТЕЛЯМИ УСТАНОВКИ ИЗОМЕРИЗАЦИИ НА КОМСОМольском НПЗ И ПЕЧью ВАКУУМНОЙ ДИСТИЛЛЯЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ПЕРМСКОГО НПЗ [3]. ОБЕ СУ ЭМУЛИРОВАНЫ И НАСТРОЕНЫ В РАМКАХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТРЕНАЖЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ОПЕРАТОРОВ С ПОМОЩЬЮ ВЫПОЛНЕННЫХ НАМИ ИМ. РЕЗУЛЬТАТОМ ОБЕИХ РАЗРАБОТОК СТАЛО ДОСТИЖЕНИЕ КРАЙНЕ ВАЖНОГО ДЛЯ КАЧЕСТВЕННОЙ ПОДГОТОВКИ ПЕРСОНАЛА ВЫСОКОГО УРОВНЯ ПОДОБИЯ ИМ И СУ РЕАЛЬНОМУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ ОБЪЕКТУ. В СЛУЧАЕ ВНОВЬ СТРОЯЩЕЙСЯ УСТАНОВКИ ИЗОМЕРИЗАЦИИ ЭМУЛИРОВАННЫЙ ПЛР КРОМЕ ТОГО ОБЕСПЕЧИЛ ЭФФЕКТИВНУЮ НАСТРОЙКУ РЕГУЛЯТОРА НА ПРЕДПУСКОВОЙ СТАДИИ.

1. Дозорцев В.М. Динамическое моделирование в оптимальном управлении и автоматизированном... Ч. 1, 2. Приборы и системы управления. № 7, 8. 1996.
2. Pathe D.C. Simulator a Key to Successful Plant Start-Up. Oil and Gas, 1986, April.
3. Крейдлин Е.Ю. Автоматизированное обучение операторов технологических процессов управлению...: Сб. тр. МНК ММТТ-12. Т. 3. Вел. Новгород: НовГУ, 1999.

РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПРИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Бернацкий Ф. И., Диго Г. Б., Диго Н. Б.

Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, bernatask@iacp.dvo.ru

При решении задач управления технологическими объектами в условиях априорной неопределенности особенно сложным и трудоемким является этап построения математических моделей. Выбор того или иного алгоритма идентификации существенно зависит от объема имеющейся информации об исследуемом объекте. Как правило, структура модели объекта бывает неизвестна. Ее приходится подбирать и, при необходимости, неоднократно уточнять по текущим данным, руководствуясь соображениями разумной сложности, физической реализуемости и т.д. В таких условиях часто приходится не только многократно менять структуру и параметры модели, но и использовать многовариантные критерии. Для преодоления возникающих при этом вычислительных трудностей предлагается распараллеливание вычислительного процесса.

Предлагаемый алгоритм распараллеливания опирается на основные признаки параллельных программ [1]: параллелизм (способность выполнения множества действий одновременно); масштабируемость (гибкость программы по отношению к изменению числа доступных процессоров); локальность (доступ к локальным данным должен быть более частым, чем к удаленным); модульность (возможность разложения сложных вычислительных блоков на более простые компоненты). Кроме того, как и любой параллельный алгоритм, он представляет собой совокупность блоков последовательных и параллельных вычислений. Последовательная часть программы (критическое сечение) состоит из последовательности операторов и выполняется только одним процессором. За критическим сечением следует ветвление, инициирующее параллельно выполняемые участки программы (параллельные сегменты). В месте соединения параллельных сегментов выполняется синхронизация, и параллельные сегменты возвращаются к критическому сечению. Синхронизация требуется для того, чтобы вычисления в параллельных сегментах закончились прежде, чем начнется выполнение последовательной части. При создании параллельных программ существует несколько парадигм (моделей) программирования.

При идентификации модели объекта предлагается использование параллельно-последовательного метода вычислений, в основе которого лежит традиционная последовательная организация программы, дополненная специальными средствами для указания независимых параллельно выполняемых вычислений (фрагментов). Распараллеливание вычислительного процесса достигается декомпозицией и осуществляется через парадигму главный – подчиненный (критическое сечение – параллельные фрагменты).

В зависимости от объема априорной информации задачи идентификации могут решаться в следующих условиях: 1) известно уравнение и приблизительные значения коэффициентов; 2) известно уравнение, неизвестны коэффициенты; 3) отсутствуют сведения о виде уравнения и его параметрах, но есть частичная информация об объекте исследования; 4) отсутствуют априорные сведения (объекты исследования типа "черный ящик").

В первом и втором случаях задается число способов (вариантов) определения коэффициентов. Если число доступных процессоров равно или больше числа вариантов для определения коэффициентов, то все варианты будут выполняться одновременно, образуя параллель сегментов. В случае, когда число способов определения коэффициентов превышает количество доступных процессоров, одновременно может выполняться количество вариантов, равное числу доступных процессоров, а для обработки оставшихся вариантов организуются последовательно выполняемые параллели.

В третьем и четвертом случаях, на основании имеющейся информации об исследуемом объекте, строятся модели различной структуры, которые, в зависимости от их количества и числа доступных процессоров, обрабатываются, образуя параллель сегментов либо с помощью последовательно выполняемых параллелей.

Распараллеливание вычислений при идентификации модели позволяет решать поставленную задачу как с помощью PVM (параллельная виртуальная машина) на кластере машин с различной архитектурой и под управлением различных операционных систем [2], так и на многопроцессорных машинах, поддерживающих многопоточность: MBC-1000/16 под управлением ОС LINUX.

1. Воеводин В. В. Параллельная обработка данных <http://spb/parallel.ru>.
2. Елисеев И. Использование PVM. Введение в программирование. http://www.csa.ru:81/~il/pvm_tutor/.

ИТЕРАЦИОННАЯ ПРОЦЕДУРА РЕШЕНИЯ ДВУХЭТАПНОЙ СТОХАСТИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ АГРОФИРМЫ

Кисаров О. П., Вильдяева Н. И.

Новочеркасская государственная мелиоративная академия,
rekngma@magnet.ru

Рассматривается многопродуктовая сельскохозяйственная фирма с широким использованием орошения в качестве фактора интенсификации производства. Данная постановка задачи прямо не связана с формой собственности и рыночной ситуацией при реализации продукции и распределении доходов, т.е. разбирается чисто производственный аспект с учетом биологического потенциала земель, доступности источников ресурсов, и капитальных средств, используемых на производство продукции.

Принимается предпосылка, что все ресурсы, способствующие интенсификации производства, не ограничены за исключением водных ресурсов. Целесообразность использования орошения и инвестиций в него подтверждаются многолетним и международным опытом. Но водные ресурсы относятся к категории случайных факторов производства и поэтому формируют существенный риск производства. Данная задача направлена на то, чтобы определить способы минимизации риска (или максимизации средней прибыли за достаточно большой промежуток времени в условиях риска).

Задача специализации сельскохозяйственного производства агрофирмы представлена в следующем виде:

$$\max_{x,z} \left[M \max_a \sum_j C_j Y_j(\bar{\xi}, \bar{\tau}) - e K_j(\bar{x}, \bar{z}) \right]; \quad (1)$$

$$\sum_j g_j^1(\bar{\xi}, \bar{\tau}) \leq R(a); \quad g_j^2(Y_j(\bar{\xi}, \bar{\tau})) = 0, \quad j \in J_1; \quad (2), (3)$$

$$g_j^3(\bar{x}) \leq S_j; \quad j \in J_2; \quad 0 \leq \bar{\xi} \leq \bar{x}; \quad 0 \leq \bar{\tau} \leq \bar{z}, \quad (4), (5)$$

где j – районированная в данном хозяйстве рентная категория земель (пахотные земли с высокой, низкой урожайностью, пастбища, луговые земли, засоленные и т.д.); x и z – векторы искомым уровней использования земельных и водных ресурсов на каждом из типов земель; a – множество случайных значений водных ресурсов (характеризуется функцией распределения типа Пирсона второго порядка); $\bar{\xi}$ и $\bar{\tau}$ – фактически сложившиеся размеры (величины) использования земель и оросительной воды соответственно в конкретном году; Y_j – общий положительный эффект (за вычетом текущих затрат на j -й рентной категории земель); $(eK_j(\bar{x}, \bar{z}))$ – инвестиции в реконструкцию, мелиоративное улучшение, приобретение новой сельскохозяйственной и поливной техники и т.д., уменьшенные на коэффициент приведения e ; M – символ математического ожидания. Уравнение (1) описывает прибыль фирмы; условие (2) – скалярное ограничение по водным ресурсам, где $R(a)$ – случайный суммарный объем водного баланса с учетом возможностей источника и осадков. Равенство (3) – технологическое ограничение, характеризующее внутрихозяйственную деятельность. Неравенство (4) – ограничение по площади земельных участков, имеющих различную рентную оценку S_j , неравенства (5) – ограничения на переменные.

В модели (1) – (5) изучается только объем воды на орошаемые земли с учетом возможности водоисточника и осадков $R(a)$. Имеющиеся данные наблюдений за водным режимом поля и зоны позволяют непосредственно строить функции распределение для R , минуя его связь с элементарными событиями, описываемую вектором a .

Для решения этой задачи существуют методы случайного квази-градиента, которые дают результаты, если целевая функция (1) и ограничения (2) и (3) линейны (условие (4), как правило, всегда линейно). Однако в нашем случае этот метод не является эффективным, так как в модели (1) – (5) не линейны функция урожайности и связь (3). Поэтому применительно к поставленной задаче разработана вычислительная процедура, позволяющая с приемлемой для практики точностью найти приближенно оптимальный план.

Будем исходить из следующей гипотезы, опирающейся на технологический процесс. Каковы бы ни

были выбраны x и z , фактический среднесуточный результат будет меньше проектного результата, соответствующего значениям этих переменных. Это доказывает, что

$$y(\bar{x}, \bar{z}) > M Y_j(\bar{\xi}, \bar{\tau}). \quad (6)$$

Отсюда можно найти величину η , удовлетворяющую равенству:

$$\eta \cdot y(\bar{x}, \bar{z}) = M Y_j(\bar{\xi}, \bar{\tau}) \quad (7)$$

где $0 \leq \eta < 1$ (диапазон определен из технологических особенностей процесса).

Используя предпосылку (7), исходную задачу (1) – (5) представим в виде детерминированной задачи:

$$\max_{x,z} \sum_j \eta Y_j(x,z) - K_j(x,z); \quad (8)$$

$$\sum_j g_j^1(x_j, z_j) = R; \quad g_j^2(Y_j(\bar{\xi}, \bar{\tau})) = 0, \quad j \in J_1; \quad (9), (10)$$

$$g_j^3(x_j) \leq S_j, \quad j \in J_2; \quad x \geq 0 \quad \text{и} \quad z \geq 0. \quad (11)$$

Можно утверждать, что существует единственное значение η , при котором решение задачи (8) – (11) будет равно решению исходной задачи (1) – (5).

Новая формула записи (8) – (11) допускает построение итерационной процедуры, позволяющей находить оптимальный план с заданной точностью. Используя уравнение (7) и функцию распределения $R(a)$, выберем значения коэффициента η в диапазоне $[0, 1]$. Подстановка его в модель (1) – (5) и решение детерминированной задачи (8) – (11) определит оптимальный план первой итерации, который используется в модели (1) – (5) для вычисления управляющих переменных $(\bar{\xi}, \bar{\tau})$. Коэффициент первого приближения η_1 определяется по формуле (7)

$$\eta_1 = M Y_j(\bar{\xi}, \bar{\tau}) / y(\bar{x}, \bar{z}).$$

Затем он вновь подставляется в модель (8) – (11) для определения коэффициента второго приближения η_2 и т.д. Учитывая уравнение (7) можно утверждать, что существуют достаточные условия сходимости предложенной итерационной процедуры, так как это соотношение является прямым аналогом принципа сжатых отображений. На основании (7) можно построить процедуру, совместимую с требованиями принципа сжатых отображений.

Решение стохастической задачи существенно уточняет процесс планирования новых объектов сельскохозяйственного производства за счет учета реальной изменчивости гидрологических параметров.

УПРОЩЕННАЯ МОДЕЛЬ ЗАВИСИМОСТИ УРОЖАЙНОСТИ ОТ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Кисаров О. П., Вильдяева Н. И.

Новочеркасская государственная мелиоративная академия,

rekngma@magnet.ru

В процессе оценки эффективности сельскохозяйственного производства обычно урожайность сельскохозяйственных культур принимается в виде постоянной величины, определяемой только почвенными условиями и нормативным объемом потребляемых водных ресурсов.

В рыночных условиях подача воды является дорогостоящим производственным процессом и поэтому стремление к биологическому оптимуму экономически нецелесообразно. Чтобы установить приемлемые объемы потребления водных ресурсов, обеспечивающих экономический оптимум, необходимо выявить зависимость связи урожайности и водного фактора. Нами предложен для целей экономического анализа упрощенный вариант вышеназванной зависимости, позволяющий строить искомую зависимость объективно, опираясь только на исходную информацию. Сложность построения такой модели вытекает из того факта, что урожайность является функционалом от случайных процессов, вид которого неизвестен и нуждается в априорном задании. Поэтому адекватность в большой степени определяется удачным выбором вида функционала.

По опытным данным рост биомассы от времени хорошо описывается S -образной кривой, которая на большей части интервала развития может быть хорошо приближена прямой. Иначе говоря, в данном случае, скорость роста (α) можно принять постоянной при всех прочих равных условиях, $\alpha = \text{const}$. В случае изменяющейся внешней среды принимается гипотеза

$$dY/dt = \alpha(\omega(t), \theta(t)), \quad (1)$$

где Y – биомасса сельскохозяйственной культуры; $\omega(t)$ – влагозапасы в продуктивном слое почвы; $\theta(t)$ – температура приземного слоя воздуха; t – время, $t \in [0, T]$ – вегетационный период.

Эта предпосылка позволяет представить искомый функционал через интеграл от некоторой неизвестной функции факторов внешней среды

$$Y = \int_0^T \alpha(\omega(t), \theta(t)) \quad (2)$$

или в дискретной форме

$$Y = \sum_{t=1}^T y(\omega_t, \theta_t), \quad (3)$$

где y не зависит в явном виде от номера выбранного интервала времени T ; $y = \overline{\alpha \Delta t}$ – осредненный прирост урожайности за один интервал времени.

Представление функционала в дискретном виде (3) позволяет находить значения функции y по исходным данным методом наименьших квадратов. Наблюдаемая статистика состоит из приращений урожайности по периодам Δt в момент времени t и соответствующих им значений влагозапасов $\omega(t)$ и температур воздуха $\theta(t)$. Рассматриваемые таким образом урожайности хорошо совпадают с фактическими. Зная зависимость урожайности от температуры и влагозапасов, далее следует перейти к построению ее связи с годовой оросительной нормой.

Рассмотрим уравнение водного баланса орошаемого поля в дискретной форме:

$$\omega_t = \omega_{t-1} + r_t + \mu_t + \mathfrak{Z}_t - I_t, \quad (4)$$

где r_t – осадки за промежуток времени с индексом $t \in [1, T]$; μ_t – величина подпитывания корнеобитаемого слоя грунтовыми водами за то же время; \mathfrak{Z}_t – поливная норма, поданная на поле в течение рассматриваемого времени из оросительной сети (управляющий параметр); I_t – суммарные потери на испарение и транспирацию, которые рассчитываются по известной формуле Алпатьева

$$I_t = b_t v_t (\omega_t - \omega_{t-1}), \quad (5)$$

где b_t – коэффициент, учитывающий свойства почвы и биологические особенности развития растения по фазам (устанавливается экспериментально для каждой культуры в каждой зоне (детерминированная величина)); $(\omega_t - \omega_{t-1})$ – дефицит влажности воздуха – гидрометеорологический показатель, корреляционно связанный с температурой θ_t .

Зафиксируем некоторое значение годовой оросительной нормы z . Очевидны соотношения

$$\sum_{t=1}^T \mathfrak{Z}_t \leq z; \quad \mathfrak{Z}_t \geq 0; \quad t = \overline{1, T}. \quad (6)$$

Соотношения (6) свидетельствуют о том, что сумма поливных норм, распределенных во времени, не превышает некоторой суммарной годовой величины, так называемой оросительной нормы. Выражая \mathfrak{Z}_t с помощью (4) через влагозапасы двух соседних отрезков времени и подставляя в (6) после несложных преобразований, получим соотношения для ω_t , рассматриваемых теперь в качестве переменных. С их помощью исходная задача запишется в виде:

$$Y = M \max_c \sum_{t=1}^T Y(\theta_t, \omega_t), \quad \sum_{t=1}^T a_t(c) \omega_t \leq z + R(c), \quad (7), (8)$$

$$\omega_t \geq h_t(c) \omega_{t-1} + \mathcal{U}_t(c); \quad t = \overline{1, T}, \quad (9)$$

$$\omega_0(c) \geq 0,$$

где c – вектор элементарных событий; $a_t, h_t, \mathcal{U}_t, R$ – случайные функции, представляющие собой комбинацию случайных чисел, входящих в (4) и (5); ω_0 – состояние дефицита влажности воздуха на начало вегетационного периода.

Решение задачи (7) – (9) представляет собой определенные трудности в силу стохастичности элементов целевой функции и ограничений. Нами использован следующий порядок вычисления функции Y : разыгрывается N комбинаций факторов внешней среды для всех t ; вычисляются значения случайных функций для полученных реализаций c ; решается детерминированная задача для каждой из комбинаций случайных функций; производится осреднение по N решениям.

Для построения искомой функции во всей области определения, значения z меняются с заданным шагом, и вновь вся последовательность вычислений повторяется. Решение детерминированной задачи по пункту 3 удается осуществить благодаря сепарабельности целевой функции и линейности ограничений. Наиболее простой путь – линейзация $Y(\theta_t, \omega_t)$ и использование симплекс-метода. Это приводит к результату с наименьшими затратами времени, но при условии вогнутости Y . В противном случае может быть реализован один из методов последовательного анализа вариантов.

Результаты решения задачи иллюстрируют рис. 1 и 2. Сплошные линии соответствуют расчетным значениям функций урожайности, а пунктирные – аппроксимируемым с помощью полинома третьей степени. Из-за вычислительных трудностей осреднение производилось не по разыгранному большому ряду случайных величин, а по фактическому двенадцатилетнему ряду наблюдений за гидрометеорологическими факторами.

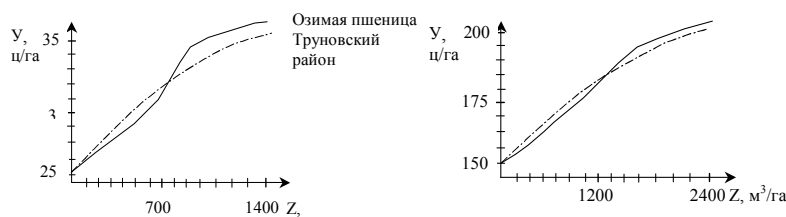


Рис. 1. Иллюстрация решения задачи на примере **Рис. 2. Иллюстрация решения задачи на примере**

Предложенная модель позволяет организовать управление водным режимом сельскохозяйственного производства, исходя из возможности аддитивного представления повременных "вкладов" каждой культуры в динамический экономический критерий управления.

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА ЖИВОТНЫХ В ТОКСИКОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Катильский Ю. Н.

Ангарская государственная техническая академия, Postmaster@Anti.Edu.Ru

Современная методология изучения действия вредных факторов окружающей среды на организм человека, в том числе математическое моделирование этого процесса, требует количественной оценки состояния организма животных. В связи с этим нами разработан показатель, позволяющий дать индивидуальную и групповую оценку этого состояния у животных, подвергшихся воздействию.

Для его построения исходные показатели состояния организма, полученные у данной особи, преобразуются следующим образом:

$$S_{ij} = \left[\frac{(y_{ij} - \bar{y}_{j,k})}{\sigma_{j,k}} \right]^2 \alpha_j \sum_j^m n_{j,k} / \sum_j^m (n_{j,k} - 1),$$

где S_{ij} – преобразованное значение j -го ($j = \overline{1, m}$) исходного показателя у i -й ($i = \overline{1, n}$) особи; m – число всех изучаемых исходных показателей; y_{ij} – величина j -го исходного показателя у i -й особи; $\bar{y}_{j,k}$ – сред-

нее значение j -го исходного показателя у здоровых особей, не подвергавшихся воздействию (в контрольной группе); $\sigma_{j,k}$ – среднеквадратическое отклонение j -го исходного показателя в контроле; a_j – устанавливаемый экспертным путем коэффициент (вес), отражающий значимость j -го исходного показателя в оценке состояния организма при воздействии данного агента (при невозможности определения данных весов их можно принять равными 1, считая, что информативность всех показателей одинакова); $n_{j,k}$ – число контрольных особей, у которых определялся j -й исходный показатель.

Тогда состояние организма i -го животного S_i можно оценить средней величиной преобразованных значений исходных показателей, определенных у этой особи

$$S_i = \sum_j^{m_i} S_{ij} / m_i,$$

где $m_i \leq m$ – число исходных показателей, измеренных у данной особи, а групповой оценкой этого состояния S может служить его средневзвешенная величина, полученная для всех животных, подвергшихся воздействию

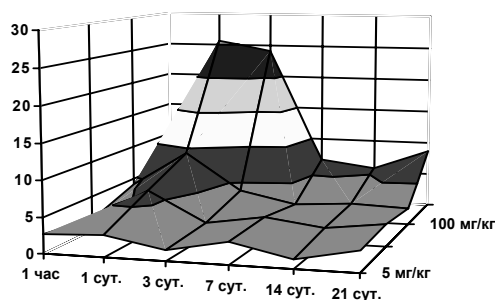
$$S = \sum_i^n m_i S_i / \sum_i^n m_i.$$

Стандартные ошибки (V) показателей S_i и S определяются с помощью выражений

$$V(S_i) = \sqrt{\sum_j^{m_i} (S_{ij}^2 - m_i S_i^2) / m_i(m_i - 1)}, \quad V(S) = \sqrt{\sum_i^n [m_i V(S_i)]^2 / \sum_i^n m_i}.$$

Параметры S_i и S синтезируют в себе все основные подходы и критерии, с помощью которых выявляют токсический эффект и дают сравнительную оценку его величине [1] – [3]. Они безразмерны, всегда ≥ 0 , а их значения тем больше, чем значительнее вызванное воздействием отклонение (вне зависимости от его направленности) исходных показателей от средних величин, зарегистрированных в контроле, и меньше их вариабельность, наблюдаемая у интактных особей, а также чем сильнее изменяются исходные показатели, имеющие наиболее высокую токсикологическую значимость. При этом "идеальное" значение $S_i = 0$ соответствует состоянию организма, при котором исходные показатели равны их средним значениям в контроле, а "идеальное" значение $S = 1$ – величине данного параметра, всегда получаемой в контрольной группе, вне зависимости от набора исходных показателей и их количества. Очевидно, что перечисленные свойства делают обобщенные показатели сопоставимыми для любых исследований и условий их проведения.

Проверка пригодности данных параметров, проведенная на обширном экспериментальном материале, показала их достаточно высокую работоспособность. В качестве примера на рис. 1 представлена дозозависимая зависимость состояния организма подопытных животных, измеренного с помощью группового показателя S , которая построена по данным, полученным Г. Г. Юшковым при изучении действия четырех доз (5, 10, 100, 1000 мг/кг массы тела) хлорацетилиндола, однократно вводимого через рот белым беспородным крысам. При этом состояние организма животных оценивалось через 1 час, 1, 3, 7, 14 и 21 сутки после воздействия с помощью 11 исходных показателей, в том числе физиологических, биохимических и гематологических.



ИЗ РИС. 1 ВИДНО, ЧТО ПОКАЗАТЕЛЬ S ПОЗВОЛЯЕТ ВЫЯВИТЬ ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДЕЙСТВИЯ КСЕНОБИОТИКА, А ИМЕННО, ДОЗОВУЮ ЗАВИСИМОСТЬ И СТАДИЙНОСТЬ ТОКСИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА, . 1

2. Принципы и методы токсикологической оценки химических веществ. Женева, 1981. Ч. 1.
3. Токсикометрия химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М., 1986.

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ЗАБОЛЕВАНИЯ ПРИ ДЕЙСТВИИ СИСТЕМНЫХ ТОКСИКАНТОВ

КАТУЛЬСКИЙ ю. н.

**АНГАРСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ТЕХНИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ,
POSTMASTER@ANTI.EDU.RU**

Одной из самых серьезных проблем методологии гигиенического регламентирования вредных факторов является различие в способах оценки риска заболевания при действии канцерогенов и агентов, вызывающих общетоксическое действие (системных токсикантов). При этом признается, что вероятность заболевания, используемая для характеристики действия канцерогенов, является наиболее подходящей оценкой риска.

Так как эта вероятность оценивается долей заболевших особей в изучаемой популяции, то возникает задача их выявления. Однако в отличие от канцерогенного, эффект действия системных токсикантов на уровнях, далеких от летальных, у отдельной особи зафиксировать гораздо сложнее, поскольку эффект в данном случае проявляется в более или менее значительном изменении большого числа показателей состояния организма, которому трудно дать качественную интерпретацию, поскольку оно происходит на фоне постоянных колебаний гомеостатической природы.

Чтобы преодолеть это затруднение, нами предлагается для выявления особей, у которых проявляется общетоксическое действие, использовать разработанный нами показатель состояния организма животных S_i .

Очевидно, что распределение вероятности появления его значений, зарегистрированное у интактных особей в контрольной группе, можно интерпретировать как "норму", соответствующую здоровым организмам. Тогда подвергавшихся воздействию животных, у которых величина S_i не соответствует этому распределению, следует считать нездоровыми, а их доля в популяции и будет оценивать вероятность заболевания при изучаемом воздействии.

Нетрудно видеть, что для выявления этих особей достаточно с помощью известных статистических методов определить значения показателя S_i , которые выходят за пределы "нормы". При этом можно, в частности, определить значение S_a , являющееся верхней границей "нормы" при заданном уровне значимости γ .

Очевидно, что состояние организма особей, у которых $S_i \geq S_a$, достоверно (с заданным уровнем значимости) отличается от такового в контроле, и их следует признать нездоровыми, а воздействие – вредным. Тогда вероятность заболевания можно характеризовать долей этих животных в изучаемой популяции.

Таким образом, предлагаемый метод позволяет оценивать риск заболевания при действии системных токсикантов так же, как и для канцерогенов, – его вероятностью.

-
1. Катильский Ю. Н. Количественная оценка состояния организма / Сб. тр. МНК ММТ, Тамбов: ТГТУ, 2002.

МЕТОД ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА В ИСКУССТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЛЕГКИХ

Ивахно Н. В., Коржук Н. Л.

Тулский государственный университет, ivakhno@rambler.ru

Для эффективной организации респираторной поддержки, целью которой является адаптация к сохраненному дыханию пациента, на первый план выступает требование о регистрации сигнала непосредственно за началом его воздействия и оценивание параметров с максимально достижимой скоростью, с учетом возможности слабого дыхания.

В дыхательном контуре начало спонтанного вдоха пациента и его контроль обычно осуществляется по заданной врачом величине давления. В процессе работы невозможна автоматическая корректировка параметров, поэтому часто происходит несовпадение работы аппарата искусственной вентиляции лег-

ких и дыхания человека [1]. При измерении разницы давлений правильный прием и регистрация сигнала затруднены из-за воздействий сторонних случайных возмущений (рис. 1).

При задании фиксированного значения давления (P_0) наблюдается запаздывание (t_1) в определении начала вдоха (t_n – начало вдоха), а при слабом дыхании принятие решения (t_2) приходится уже почти на середину дыхательного цикла; с учетом времени задержки срабатывания клапанов можно получить значительное несовпадение работы аппарата искусственной вентиляции легких и пациента.

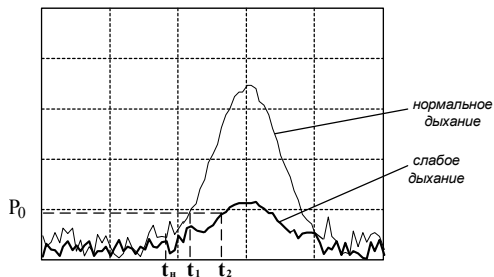


Рис. 1. Графики напряжений с датчика

Поэтому выработка критерия принятия решения (установление порогового значения давления) для воздействия на человека должна осуществляться по более сложному алгоритму, основанному на получении априорной информации.

Теоретической базой задачи регистрации является теория статистических решений [2], на базе которой строится методика нахождения начала дыхательного движения пациента.

В данном случае проверка гипотез (обработка результатов измерения давления) происходит на каждом этапе наблюдения, т.е. при получении каждого очередного отсчета. При этом применяется критерий отношения вероятностей. Выдвигаются две гипотезы о присутствии и об отсутствии полезного сигнала a (значение, полученное в результате предварительного исследования дыхания пациента) в выборке, которым соответствуют значения отсчетов $H_1 \rightarrow y_i = a + n_i$; $H_0 \rightarrow y_i = n_i$.

На каждом этапе составляется отношение правдоподобия, где $\Lambda^{(m)} = \psi_1(y^{(m)}) / \psi_0(y^{(m)})$, $\psi_1(y^{(m)})$, $\psi_0(y^{(m)})$ – априорные плотности вероятности по каждой гипотезе в выборке из m – элементов, m – номер последнего отсчета, т.е. $y^{(m)} = (y_1, y_2, \dots, y_m)$.

Величина $\Lambda^{(m)}$ сличается с двумя постоянными пороговыми значениями (рис. 2), A и B ($A > B$).

Если $\Lambda^{(m)} \leq B$, то принимается гипотеза H_0 , если $\Lambda^{(m)} \geq A$, то принимается гипотеза H_1 , если же $B < \Lambda^{(m)} < A$, то испытание продолжается, т.е. берется $(m + 1)$ -й отсчет, находится

Рис. 2. Области принятия реше-



$\Lambda^{(m+1)}$, с которым поступают точно также, и так далее, пока после некоторого n -го отсчета положение не определится. Таким образом, метод последовательного анализа является оптимальным в том смысле, что заданная верность достигается при наименьшем среднем числе измерений.

Так как значения y_i статистически независимы, то

$$\psi(y^{(m)}) = \psi(y_1) \psi(y_2) \dots \psi(y_m) = \prod_{i=1}^m \psi(y_i) \quad \text{и} \quad \Lambda^{(m)} = \prod_{i=1}^m \frac{\psi_1(y_i)}{\psi_0(y_i)} = \prod_{i=1}^m \lambda_i.$$

Для рассмотрения берется $\ln \Lambda^{(m)} = \sum_{i=1}^m \ln \frac{\psi_1(y_i)}{\psi_0(y_i)} = \sum_{i=1}^m z_i$ и сравнивается с $\ln A$ и $\ln B$.

Заданными являются условные вероятности α и β включения клапана раньше времени и запаздывания регистрации вдоха.

Верхняя и нижняя граница значения A и B определяются из неравенства

$$A \leq (1 - \beta) / \alpha, \quad B \geq \beta / (1 - \alpha).$$

Приведенный математический подход позволяет построить алгоритм определения начала вдоха и выдоха. С помощью метода последовательного анализа с переменным объемом выборки возможен учет влияющих факторов при непосредственной обработке и исследовании результатов измерений каждого пациента. Это дает возможность реализовывать алгоритмы респираторной поддержки в аппаратах искусственной вентиляции легких при различных видах слабого дыхания пациентов с учетом их изменяющихся характеристик и параметров.

1. Сметнев А. С., Юревич В. М. Респираторная терапия в клинике внутренних болезней. М.: Медицина, 1984.
2. Ван Трис. Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции. Т. 1. М.: Мир 1972.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА СУШКИ КОМПОЗИЦИИ СИНТЕТИЧЕСКИХ МОЮЩИХ СРЕДСТВ

Благодарный Н. С., Литвинов А. В., Минеев А. А., Кривов М. В.
Ангарская государственная техническая академия, nick@anti.irmail.ru

Область применения синтетических поверхностно-активных веществ не ограничивается только приготовлением моющих средств, данные вещества широко применяются в качестве эмульгантов, флотореагентов, смачивателей в различных отраслях промышленности. Вместе с тем, технологичность производства синтетических моющих средств (СМС) большинства отечественных предприятий остается на низком уровне, что сказывается на потребительских качествах конечного продукта. В условиях жесткой конкуренции на рынке СМС важным становится теоретическое обоснование аппаратного оформления процесса и выбора технологического режима с целью улучшения свойств СМС и снижения себестоимости производства продукции.

Производство СМС состоит из стадий подготовки композиции СМС, сушки, дозирования термостабильных добавок и расфасовки. Наиболее значимой является стадия сушки композиции – испарение растворителя композиции СМС для получения твердого гранулированного порошка термостабильной композиции. В большинстве случаев данная стадия реализуется в сушильных башнях путем тонкого распыления композиции в потоке теплоагента. В качестве теплоагента, как правило, используется смесь атмосферного воздуха с потоком дымовых газов, образуемых в дополнительном газогенераторе. Таким образом, вся установка в целом является наиболее крупным потребителем материальных и энергетических потоков. Наличие высокотемпературных потоков в схеме производства обуславливает высокую пожаро- и взрывоопасность установки.

Основной задачей управления, возникающей перед оперативным персоналом, является получение высушенного порошка СМС со строго регламентированным влагосодержанием, косвенно выраженным через насыпную плотность продукта. Слабое оснащение процесса техническими средствами контроля и автоматики резко усложняет выполнение данной задачи, так как оперативный персонал принимает управленческие решения в условиях дефицита и недостоверности информации о ходе процесса, основываясь на интуитивных ощущениях и собственном опыте. Особо остро эта проблема встает при производстве гранулированных порошков СМС, когда условия образования гранул не детерминированы и выбор оперативным персоналом технологического режима выполняется опытным путем для каждого конкретного случая.

Проведенный нами анализ технологического процесса позволил выявить основные физические явления, возникающие в аппарате сушки и существенно дестабилизирующие его нормальную работу: 1) нарушение соотношения потоков эмульсии СМС и теплоагента, приводящее к уносу СМС с теплоагентом либо допускающее проскок эмульсии к высушенному продукту; 2) адгезия СМС на стенках аппарата, существенно изменяющая кинетику процесса сушки и геометрию потока; 3) концентрация несгоревших углеводородов в газогенераторе и в своде сушильной башни.

Опыт эксплуатации установки сушки композиции СМС показывает, что существенно улучшить эффективность процесса можно при: стабилизации вязкости распыляемой композиции; стабилизации состава композиции СМС; стабилизации расходов технологических потоков; стабилизации теплофизических свойств технологических потоков.

В силу разных причин выполнение данных условий практически невозможно, так как они носят недетерминированный характер и в реальных условиях не могут быть определены аналитическим путем или спрогнозированы. Особенно проблематичным является, как правило, стабилизация состава топливного газа, поступающего на установку от внешних источников и его теплотворных характеристик.

Очевидно, что использование методов математического моделирования совместно с методами условной оптимизации позволяет наилучшим образом, с точки зрения технико-экономической эффективности, выбрать технологический режим процесса при любых действующих условиях. Однако аналитическое описание плохоформализованного процесса сушки осложнено слабой теоретической изученностью и сложной зависимостью между технологическими параметрами и переменными процесса.

Несмотря на имеющийся опыт математического описания кинетики испарения влаги с поверхности материала и диффузионных процессов внутри материала, предлагаемые в классической теории сушки аналитические зависимости не достаточно точно аппроксимируют протекающие в аппарате процессы. Основная причина заключается в грубой идеализации взаимосвязи переменных при действии большого числа недетерминированных факторов. Вместе с тем есть возможность аппроксимировать реальные характеристики процесса за счет формализации знаний и опыта оперативного персонала. Положительный опыт в этом направлении достигнут авторами при применении методов теории нечетких множеств совместно с методами аналитического моделирования. Особенно целесообразно применения данного подхода при описании процессов испарения растворителя композиции и образования дымовых газов. Таким образом, математическая модель процесса представляет собой систему материальных и тепловых балансов, включающих нечеткие отношения:

$$dw/dx = \bar{B}f(w_0, \theta, u, \mu, \delta); \quad (1, a)$$

$$u \frac{d\theta}{dx} = \frac{\lambda}{\rho c_p} \frac{d^2\theta}{dx^2} - \frac{wc'_p}{\rho c_p} \theta + \frac{G_{ma}}{\rho c_p} (I_0 - I_1); \quad (1, б)$$

$$\tilde{\theta}_{та} = \tilde{G}_{тг} \circ \tilde{a} \circ \tilde{E} \circ R(\cdot), \quad w(0) = w_0; \quad \theta(0) = \theta_0, \quad (1, в)$$

где w, w_0 – текущая и начальная концентрация влаги в композиции; \bar{B} – матрица весовых коэффициентов; μ – вязкость эмульсии; u – линейная скорость потока; δ – определяющий размер; θ – температура потока; λ – коэффициент теплопроводности; ρ – плотность потока; c_p – теплоемкость композиции; c'_p – теплоемкость паров растворителя; $G_{та}$ – расход теплоагента; I_0, I_1 – соответственно, начальная и конечная энтальпия теплоагента; θ – температура теплоагента; $G_{тг}$ – расход топливного газа, выраженный в качественной форме, a – стехиометрическое соотношение воздуха, выраженное в качественной форме; \tilde{E} – качественный показатель калорийности топлива; $R(\cdot)$ – нечеткое отношение.

Для определения профиля концентрации влаги по длине аппарата в выражении (1, а) применен метод аппроксимации градиента концентрации на основе нейронной сети f , где матрица весовых коэффициентов \bar{B} есть матрица весов нейронов. Такой подход предложен в связи с имеющимся большим объемом экспериментальных данных и возможностью применения их для "обучения" модели. Для вычисления энтальпии теплоагента (1, б) в математическое описание включена качественная модель расчета температуры потока теплоагента (1, в). Здесь качественные переменные, входящие в состав модели характеризуются кортежами:

$$\tilde{G}_{тг} : \langle \text{"Расход"}, [\text{низкий, средний, номинальный, высокий}] [0,10600] \rangle; \quad (2, a)$$

$$\tilde{a} : \langle \text{"Избыток"}, [\text{малый, норма, высокий}], [0,1.5] \rangle; \quad (2, б)$$

$$\tilde{E} : \langle \text{"Калорийность"}, [\text{низкая, средняя, высокая}], [5000,35000] \rangle. \quad (2, в)$$

Нечеткое отношение $R(\cdot)$ представляет максиминное правила вывода Л. Заде, формируемое путем опроса оперативного персонала.

В результате композиции фазифицированных переменных (2, а) – (2, в) нечетким отношением образуется гиперповерхность, связывающая указанные переменные с температурой.

Идентификация параметров математической модели, входящих в состав качественного и аналитического описания выполняется совместно симплексными численными методами оптимизации. Для сокращения времени идентификации параметров, ограничения терм-множеств, входящих в состав (2, а) – (2, в), задаются сигмоидными функциями, имеющими в качестве аргумента только два параметра.

С учетом полученного математического описания указанную выше задачу оптимизации технологического режима процесса сушки композиции СМС можно представить в виде

$$1 - (w(X) - w^-) / w^+ \xrightarrow{u, G_{ma}} 0, \quad G_{тг}(a) \rightarrow \min, \quad u^- \leq u \leq u^+, \quad \theta^- \geq \theta(x),$$

здесь $w(X)$ – целевая функция качества композиции, рассчитываемая по математической модели; $[w^-, w^+]$ – регламентированное влагосодержание в высушенной композиции при обеспечении номинальной производительности аппарата, косвенно определяемой через диапазон допустимой скорости потока $[u^-, u^+]$. Последнее условие ограничивает форму распределения температуры по длине сушильного аппарата с целью недопущения проскоков эмульсии и адгезии композиции.

Результаты данной работы положены в основу математического и алгоритмического обеспечения задач стратегического управления, диагностики состояния оборудования, функционирующих в рамках АСУТП производства СМС.

ПТИЦЫ В ПРАКТИЧЕСКОЙ СЕЛЕКЦИИ
МИХАЙЛОВ Н. В., РУДЬ А. И., КАРАТУНОВ Г. А.

Донской государственный аграрный университет, rud@zmail.ru

Организм животного представляет собой единое целое, в котором функционирование органов и систем в той или иной степени взаимосвязано и взаимообусловлено. Сложность изучения количественных связей организма, описываемых коэффициентом корреляции r , определяется многомерным характером соотносительной изменчивости, который ослабляется или усиливается сопутствующими переменными условиями. Кроме того, в процессе совершенствования показателей продуктивности животных происходит перестройка корреляционных систем. Это приводит к новому соотношению между селекционными признаками, что необходимо учитывать при отборе.

Для выявления сложившихся корреляционных связей между признаками продуктивности проведен ряд исследований на трех поколениях кур аутосексного трехлинейного кросса "УК Кубань-123" Лабинского госплемптицевого завода. Анализировались показатели продуктивности 3 линии кур: отцовской (УК-1); материнской (УК-3) и смешанной или взаимозаменяемой (УК-2) с 1996 по 2000 гг. Общая численность прошедшего испытания поголовья составила 25 812 голов. Определены коэффициенты корреляции по 11 критериям отбора, таким как половая зрелость (X_1), масса яйца (X_2 , X_4) и цветность (X_3 , X_5) (степень пигментации) скорлупы в 30 и 52 недели жизни, яйцемасса (X_6), вывод молодняка (X_7), выводимость яиц (X_8), живая масса птицы в 17-недельном возрасте (X_9), яйценоскость за 40 недель жизни (X_{10}) и весь период яйцекладки (X_{11}). Установлено, что величина и направление корреляционных взаимосвязей между парами признаков в отцовской, материнской и смешанной линиях практически совпадают (табл. 1).

Как известно [1], коэффициент корреляции показывает связь между признаками в целом по популяции. В то же время в зависимости от проявления признака он может оказывать большее или меньшее влияние на остальные. Для оценки степени этого влияния по каждой паре признаков построен комплексный график (см. рис. 1). В качестве структурной единицы по оси абсцисс взят отрезок, равный $0,5 \sigma$ (где σ – генотипическое отклонение [2]). Ломаные линии показывают динамику средних значений двух сравниваемых признаков: ведущего Mx_i (левая ось ординат) и ведомого Mx_j (правая ось ординат). Горизонтальная линия – среднепопуляционное значение ведомого признака. В качестве примера на рис. 1 приведен результат взаимного влияния половой зрелости (X_1) и суммарной яйценоскости (X_{11}). Отмечается резкое падение яйценоскости на отрезке $+ 1,5 \sigma$ (наступление половой зрелости в возрасте свыше 172 дней).

По отцовской линии УК-1 выявлено влияние на селекционные признаки следующих факторов.

1. На суммарную яйценоскость: половая зрелость (резкое отрицательное влияние при достижении половой зрелости в возрасте 172 дня и выше; до этого плавное снижение), масса яйца (отрицательное влияние при массе до 54,1 г – яйценоскость снижается с 243,3 до 228 яиц), цветность (прослеживается тенденция к снижению яйценоскости при цветности яйца свыше 3,8), яйцемасса (пропорциональное нарастание яйцемассы и яйценоскости). Вывод молодняка (с повышением вывода с 34 до 100 % идет пропорциональное нарастание яйценоскости); яйценоскость за 5 месяцев яйцекладки.

Таблица 1

R	УК-1	УК-2	УК-3
$r \geq 0,5$	$X_2 - X_6$	$X_2 - X_6$	$X_2 - X_6$
	$X_6 - X_{11}$	$X_6 - X_{11}$	$X_6 - X_{11}$
	$X_7 - X_8$	$X_7 - X_8$	$X_7 - X_8$
	$X_{10} - X_{11}$	$X_{10} - X_{11}$	$X_{10} - X_{11}$
$0,3 \leq r \leq 0,5$	$X_2 - X_4$	$X_2 - X_4$	$X_2 - X_4$
	$X_3 - X_5$	$X_3 - X_5$	$X_3 - X_5$
	$X_6 - X_{11}$	$X_6 - X_{11}$	$X_6 - X_{11}$
$- 0,5 \leq r \leq - 0,3$	$X_1 - X_{10}$	$X_1 - X_{10}$	$X_1 - X_{10}$
	$X_2 - X_7$		
	$X_2 - X_8$		
Тенденция			

+	$X_1 - X_2$	$X_2 - X_9$	$X_6 - X_9$	
	$X_2 - X_9$			
	$X_4 - X_5$			$X_6 - X_9$
	$X_4 - X_6$			$X_7 - X_{11}$
	$X_6 - X_9$			$X_8 - X_{11}$
	$X_7 - X_{11}$			$X_9 - X_{10}$
-	$X_1 - X_{11}$	$X_2 - X_7$	$X_1 - X_{11}$	
	$X_4 - X_7$	$X_2 - X_8$	$X_2 - X_8$	
	$X_4 - X_8$	$X_4 - X_8$	$X_4 - X_{11}$	
		$X_4 - X_{11}$		
		$X_5 - X_7$		
		$X_5 - X_8$		

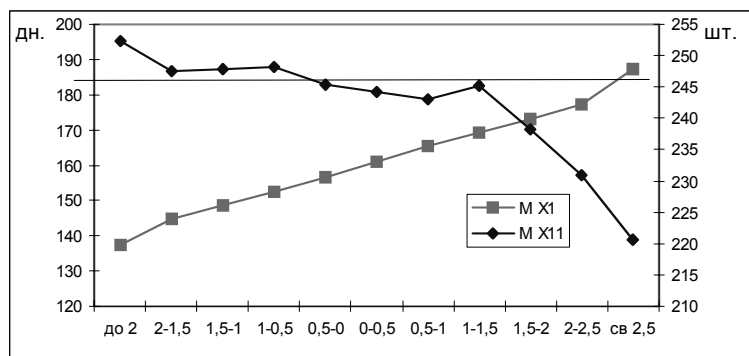


Рис. 1. Динамика средних значений половой зрелости и яйценоскости за весь период яйцекладки

2. На массу яйца оказывает влияние половая зрелость. Выявлено, что для повышения массы яйца отцовской линии УК-1 следует отбирать птицу с половой зрелостью свыше 172 дней; для понижения – до 150 дней. При достижении половой зрелости в возрастном интервале от 150 до 172 дней средние значения массы яйца достаточно стабильны и соответствуют среднепопуляционным. С нарастанием массы яйца снижается вывод молодняка. Ниже среднепопуляционных значений вывод молодняка при средних значениях массы яйца выше 64,4 г. Повышение массы яйца сопряжено с повышением живой массы птицы. Однако нарастание этого показателя идет очень медленно (в интервале -2 до $+2,5$ σ на 110 г) и существенного влияния не оказывает.

3. На вывод молодняка оказывают влияние масса яйца, цветность, яйцемасса (при значениях свыше 17 750 г), яйценоскость за весь период яйцекладки. Отмечена взаимосвязь между цветностью яйца и выводом молодняка, суммарной яйценоскостью, возможно, половой зрелостью.

Изучение взаимного влияния признаков дает возможность корректировать отбор по одним признакам показатели других, например, по половой зрелости – яйценоскость или массу яйца. Помимо этого, доказано, что эффект селекции выше при проведении ее не по отдельным признакам, а по группе сопряженных критериев отбора (кластерный анализ). Выполненные исследования дают основание группировать взаимозависимые признаки с последующей селекцией по сформированному блокам.

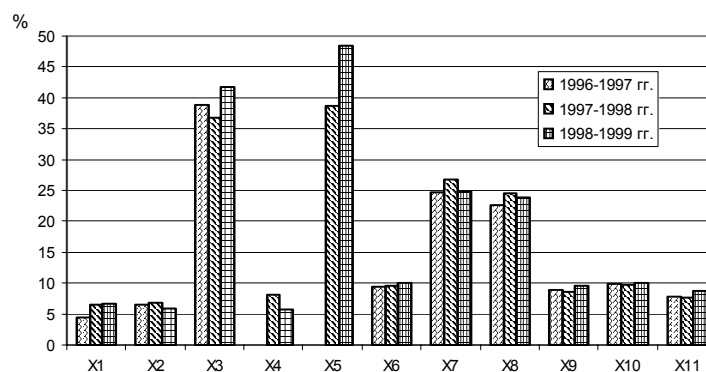


Рис. 2. Динамика коэффициента изменчивости критериев отбора по линии УК-3 в течение трех лет селекции

На эффективность селекции влияет изменчивость признаков (описывается коэффициентом изменчивости C_V). Комплексные исследования этого параметра показали его высокую стабильность даже при достаточно жестком отборе (рис. 2). Это, на наш взгляд, делает перспективным исследование по оптимизации методики племенного отбора птицы, в особенности по признакам с высокими значениями C_V (X_3, X_5, X_7, X_8).

Проведенные статистические исследования направлены на изучение взаимодействия и изменчивости признаков, задействованных в селекционном процессе. Полученные результаты используются в региональной программе по оптимизации методов оценки генотипа сельскохозяйственной птицы.

1. Боголюбский С. И. Селекция сельскохозяйственной птицы. М.: Агропромиздат, 1991.
2. Лакин Г. Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1990.

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПОИСК ПУТЕЙ ИНТЕНСИФИКАЦИИ МИКРОБНОЙ КОНВЕРСИИ ОРГАНИЧЕСКОГО СЫРЬЯ

И ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА

МОЛЧАНОВ В. П., СУЛЬМАН Э. М., КОСИВЦОВ Ю. Ю., ТАКТАРОВ Э. А.

Тверской государственной технической университет,
science@bio.tstu.tver.ru

Известно, что в последнее время во всем мире ощущается огромный дефицит кормового белка. Возможности расширения производства кормов животного происхождения весьма ограничены. Именно поэтому большое значение придается развитию производства кормовых добавок, необходимых для балансирования полноценных рационов сельскохозяйственных животных. В связи с бурным развитием биотехнологии и микробиологической промышленности появилась возможность получать кормовые добавки методом биоконверсии растительного сырья и отходов животноводства с использованием различных биологически активных стимулирующих добавок (БАД) [1], [2].

Нами исследовался процесс биоконверсии смеси органических отходов животноводства и трудногидролизуемого сырья растительного происхождения с дополнительным внесением в исходную смесь в качестве биостимуляторов солей аскорбиновой кислоты следующих металлов: кальция, калия, натрия, кобальта, марганца, магния, цинка и железа. Подобный выбор связан с тем, что микро- и макроэлементы, входящие в состав солей аскорбиновой кислоты, способны оказывать благоприятное влияние на метаболизм микроорганизмов, осуществляющих процесс биоконверсии. Кроме того, сама аскорбиновая кислота необходима для нормальной жизнедеятельности сельскохозяйственных животных. Процесс ферментации проводили по следующей технологической схеме: подготовительный этап – приготовление исходной смеси торф-навоз в оптимальном соотношении 1 : 1, введение БАД, перемешивание [1]; инкубационный этап – выдержка ферментируемой массы в течение 60 часов при температуре 37 °С и барботаже через каждые 24 часа; пастеризационный этап – обработка конечного продукта ультразвуком интенсивностью 50 – 60 Вт/см² для уничтожения патогенной микрофлоры.

В процессе биоферментации определяли развитие физиологических групп микроорганизмов, способных к преимущественному разрушению органических веществ. Микробиологические анализы проводились по общепринятым методикам [2]. Выявление в продукте ферментации аминокислотсинтезирующих микроорганизмов – опосредованный способ определения потенциальной ценности конечного продукта, рекомендуемого к использованию в качестве кормовой добавки. Относительное содержание аминокислотсинтетиков достигало высоких значений в ходе всего процесса, что дало основания предполагать накопление в конечном продукте мономеров белковой субстанции – свободных аминокислот [3].

Для подтверждения данного предположения в ходе биоконверсии торфонавозной смеси с добавлением аскорбинатов и контрольной смеси без биостимуляторов производили отбор проб, в которых определяли наличие и изменение содержания аминокислот на автоматическом аминокислотном анализаторе типа "AMINO ACID ANALYZER T339". Измерения проводились при длине волны 520 нм. Результаты регистрировались в виде пиков абсорбции [4].

Проведенные эксперименты показали, что все использованные соли аскорбиновой кислоты существенно активизировали процесс образования свободных аминокислот (табл. 1). Причем, если в опытах с аскорбинатами кобальта и натрия их конечная концентрация повышалась менее чем в полтора раза по сравнению с данными в контрольной пробе без биостимуляторов, то при добавлении аскорбинатов кальция, калия, цинка и железа содержание свободных аминокислот увеличивалось более существенно.

Таблица 1

Выход свободных аминокислот при добавлении аскорбинатов различных металлов

Вносимый аскорбинат	Начальная концентрация аминокислот,	Конечная концентрация аминокислот, %	Увеличение содержания аминокислот, раз
Co	0,0568	1,117	19,7
Na		1,132	19,9
K		1,344	23,7
Ca		1,682	29,6
Zn		2,049	36,1
Fe		2,138	37,6
нет		0,832	14,7

Для определения кинетических закономерностей биоферментации в рамках проведенных экспериментов осуществлен поиск адекватной математической модели процесса. Результаты моделирования показали, что образование свободных аминокислот с достаточной точностью описывается степенным уравнением, сходным с уравнением химической кинетики дробного порядка

$$d[P]/dt = k \times [S]^n,$$

ГДЕ $[P]$ – КОНЦЕНТРАЦИЯ СВОБОДНЫХ АМИНОКИСЛОТ В МАССОВЫХ ПРОЦЕНТАХ; T – ВРЕМЯ ОТ НАЧАЛА ПРОТЕКАНИЯ ПРОЦЕССА ИНКУБАЦИИ, ЧАС; k – КОНСТАНТА СКОРОСТИ РЕАКЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ СВОБОДНЫХ АМИНОКИСЛОТ, 1/ЧАС; $[S]$ – КОНЦЕНТРАЦИЯ СУБСТРАТА В МАССОВЫХ ПРОЦЕНТАХ; N – ПОРЯДОК РЕАКЦИИ.

НА ОСНОВАНИИ ПОЛУЧЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ БЫЛИ ПРОВЕДЕНЫ РАСЧЕТЫ, КОТОРЫЕ ПОЗВОЛИЛИ ОПРЕДЕЛИТЬ КИНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРЕДЛОЖЕННОГО УРАВНЕНИЯ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЙ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА. ИНТЕРЕСЕН ТОТ ФАКТ, ЧТО НА ВЕЛИЧИНУ ПОРЯДКА СУЩЕСТВЕННОЕ ВЛИЯНИЕ ОКАЗЫВАЕТ ПРИРОДА ДОБАВЛЯЕМОГО БИОСТИМУЛЯТОРА (ТАБЛ. 2).

ТАБЛИЦА 2

КИНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА БИОКОНВЕРСИИ ПРИ ВНЕСЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ СОЛЕЙ АСКОРБИНОВОЙ КИСЛОТЫ

ВНОСИМЫЙ АСКОРБИНАТ	ПОРЯДОК РЕАКЦИИ N	КОНСТАНТА СКОРОСТИ k , 1/ЧАС
Co	0,9	0,013
Na	1,8	0,009
K	2,1	0,010
Ca	1,8	0,019
Zn	0,9	0,040

Fe	0,2	0,047
нет	1,4	0,007

ПРИВЕДЕННЫЕ ДАННЫЕ ПОКАЗЫВАЮТ, ЧТО СУЩЕСТВУЕТ НЕКОТОРАЯ ТЕНДЕНЦИЯ, В СООТВЕТСТВИИ С КОТОРОЙ ПОРЯДОК РЕАКЦИИ СНИЖАЕТСЯ ПРИ ДОБАВЛЕНИИ НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНЫХ СТИМУЛЯТОРОВ (АСКОРБИНАТОВ ЦИНКА И ЖЕЛЕЗА) И, НАПРОТИВ, УВЕЛИЧИВАЕТСЯ ПРИ ВНЕСЕНИИ ДРУГИХ АСКОРБИНАТОВ, НЕЗНАЧИТЕЛЬНО ИНТЕНСИФИЦИРУЮЩИХ ПРОЦЕСС НАКОПЛЕНИЯ СВОБОДНЫХ АМИНОКИСЛОТ. ВЕРОЯТНЕЕ ВСЕГО, ПОДОБНЫЙ ЭФФЕКТ СВЯЗАН С ПРОЦЕССОМ АКТИВАЦИИ РАЗЛИЧНЫХ ФЕРМЕНТНЫХ СИСТЕМ МИКРОБНЫХ КЛЕТОК ПОД ДЕЙСТВИЕМ МЕТАЛЛОВ, ВХОДЯЩИХ В СОСТАВ ПРИМЕНЯЕМЫХ СОЛЕЙ.

В ЦЕЛЯХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЗМА ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ АМИНОКИСЛОТ В ХОДЕ БИОКОНВЕРСИИ РЕШЕНА ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА ХИМИЧЕСКОЙ КИНЕТИКИ ПРИ ВАРЬИРОВАНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ИНКУБАЦИИ С НАХОЖДЕНИЕМ КАЖУЩЕЙСЯ ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ (ТАБЛ. 3). СВЯЗЬ ПОСЛЕДНЕЙ С ТЕМПЕРАТУРОЙ ПРОВЕДЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ ДАЕТСЯ УРАВНЕНИЕМ АРРЕНИУСА $k = A e^{-E_k / RT}$, ГДЕ k – КОНСТАНТА СКОРОСТИ РЕАКЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ СВОБОДНЫХ АМИНОКИСЛОТ, 1/Ч; A – ПРЕДЭКСПОНЕНЦИАЛЬНЫЙ МНОЖИТЕЛЬ УРАВНЕНИЯ АРРЕНИУСА, 1/Ч; E_k – КАЖУЩАЯСЯ ЭНЕРГИЯ АКТИВАЦИИ, ДЖ/МОЛЬ; R – УНИВЕРСАЛЬНАЯ ГАЗОВАЯ ПОСТОЯННАЯ, ДЖ/К МОЛЬ; T – ТЕМПЕРАТУРА ПРОЦЕССА, К.

ТАБЛИЦА 3

ПАРАМЕТРЫ УРАВНЕНИЯ АРРЕНИУСА
ПРИ ДОБАВЛЕНИИ АСКОРБИНАТОВ ЦИНКА И ЖЕЛЕЗА

ВНОСИМЫЙ АСКОРБИНАТ	ПРЕДЭКСПОНЕНЦИАЛЬНЫЙ МНОЖИТЕЛЬ, 1/Ч	КАЖУЩАЯСЯ ЭНЕРГИЯ АКТИВАЦИИ, КДЖ/МОЛЬ
Zn	$1,4 \times 10^9$	62,3
Fe	$1,7 \times 10^{14}$	92,8
нет	$1,4 \times 10^2$	25,5

ДАННЫЕ ТАБЛИЦЫ ПОКАЗЫВАЮТ, ЧТО ПРИ ВНЕСЕНИИ БИОСТИМУЛЯТОРОВ ПРОИСХОДИТ УВЕЛИЧЕНИЕ КАЖУЩЕЙСЯ ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ ПРОЦЕССА НАКОПЛЕНИЯ АМИНОКИСЛОТ, ЧТО МОЖЕТ БЫТЬ СВЯЗАНО С ИЗМЕНЕНИЕМ МЕХАНИЗМА ИХ ОБРАЗОВАНИЯ. ОДНОВРЕМЕННО С ЭТИМ НА НЕСКОЛЬКО ПОРЯДКОВ ВОЗРАСТАЕТ ЗНАЧЕНИЕ ПРЕДЭКСПОНЕНТЫ, ЧТО ГОВОРИТ ОБ УВЕЛИЧЕНИИ ЧИСЛА РЕАКЦИОННЫХ ЦЕНТРОВ, В СОСТАВ КОТОРЫХ В КАЧЕСТВЕ КОФЕРМЕНТОВ МОГУТ ВХОДИТЬ КАТИОНЫ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ МЕТАЛЛОВ. ВМЕСТЕ С ТЕМ НАЛИЧИЕ ОПТИМУМОВ КОНЦЕНТРАЦИИ ВНОСИМЫХ БИОСТИМУЛЯТОРОВ, А ТАКЖЕ ЭФФЕКТ ИЗМЕНЕНИЯ ПОРЯДКА РЕАКЦИИ ПРИ ВАРЬИРОВАНИИ СОДЕРЖАНИЯ АСКОРБИНАТОВ ГОВОРЯТ О ТОМ, ЧТО ИХ РОЛЬ В МИКРОБНОМ МЕТАБОЛИЗМЕ, ПО ВСЕЙ ВИДИМОСТИ, НЕОДНОЗНАЧНА И НЕ ОГРАНИЧИВАЕТСЯ ПРЯМОЙ ИНТЕНСИФИКАЦИЕЙ НЕКОТОРЫХ ФЕРМЕНТАТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ.

Многочисленные анализы конечного продукта биоконверсии показали возможность его использования в качестве премикса при разработке полноценных рационов для крупного рогатого скота и сельскохозяйственной птицы. В настоящее время разработаны и применяются на практике нормы лимитирующих аминокислот в рационе с учетом пола, возраста и продуктивности животных. Внося, таким образом, различные биостимуляторы, возможно производить целевой биосинтез кормовых добавок с теми или иными заранее заданными свойствами. Исследования показывают, что использование биологически активных стимуляторов при производстве кормов и кормовых добавок приводит к увеличению привесов, уменьшению расхода кормов и даже улучшают физиологические показатели животных [3].

1. Патент РФ № 2126779. Ковалев Н. Г., Рабинович Г. Ю., Сульман Э. М. и др. Способ получения кормовых добавок и удобрений из органических отходов.
2. Муромцев Г. С. Методы почвенной микробиологии. М.: Колос, 1983.
3. Рабинович Г. Ю., Ковалев Н. Г., Сульман Э. М. Биоконверсия органического сырья в удобрения и кормовые добавки. Тверь: ТГТУ, 1999.

**СПОСОБ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА
ПОЛУЧЕНИЯ ОКТАНОЛА**

ПИСАРЕНКО В. Н., ФИЛИПОВА Е. Б.

РОССИЙСКИЙ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

ОКТАНОЛ ЯВЛЯЕТСЯ ОДНИМ ИЗ КЛЮЧЕВЫХ ПРОДУКТОВ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА И ЕГО ПРОИЗВОДСТВО В МИРЕ НЕУКЛОННО ВОЗРАСТАЕТ. ОДНАКО ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОКТАНОЛА НЕСОВЕРШЕННА, ЧТО ОБУСЛАВЛИВАЕТ ВЫСОКУЮ СЕБЕСТОИМОСТЬ ЦЕЛЕВОГО ПРОДУКТА. ПРЕДЛОЖЕНА НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СИНТЕЗА ОКТАНОЛА НА ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ КАТАЛИЗАТОРАХ, КОТОРАЯ ПОЗВОЛЯЕТ В 1,3 ... 1,5 РАЗА УВЕЛИЧИТЬ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ПРОМЫШЛЕННЫХ РЕАКТОРОВ ПРИ ВЫСОКОМ КАЧЕСТВЕ ПРОИЗВОДИМОГО ОКТАНОЛА.

ДЛЯ НОВОГО КАТАЛИЗАТОРА ПРОВЕДЕНО ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ И МЕХАНИЗМА РЕАКЦИИ ГИДРИРОВАНИЯ СМЕСИ 2-ЭТИЛГЕКСЕНАЛЯ И 2-ЭТИЛГЕКСЕНАЛЯ В ОКТАНОЛЕ. ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ ПОЛУЧЕНЫ ОЦЕНКИ КИНЕТИЧЕСКИХ КОНСТАНТ. ПОКАЗАНА АДЕКВАТНОСТЬ МОДЕЛИ ИМЕЮЩИМСЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ. ПОСТРОЕННАЯ КИНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УЧИТЫВАЕТ ВЛИЯНИЕ НА РЕАКЦИЮ ГИДРИРОВАНИЯ АЛЬДЕГИДОВ КАК ВОДОРОДА ГАЗОВОЙ ФАЗЫ, ТАК И ВОДОРОДА, РАСТВОРЕННОГО В РЕШЕТКЕ КАТАЛИЗАТОРА. ПО МОДЕЛИ ПРЕДСКАЗАНЫ УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ РЕАКЦИИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ПОВЫШЕННУЮ АКТИВНОСТЬ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ КАТАЛИЗАТОРОВ.

ВЫПОЛНЕН АНАЛИЗ ПРОЦЕССА НА ЗЕРНЕ КАТАЛИЗАТОРА И КАТАЛИТИЧЕСКОМ РЕАКТОРЕ. ПРОВЕДЕНЫ КАТАЛИТИЧЕСКИЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ, ПОЗВОЛЯЮЩИЕ УСТАНОВИТЬ ЗАВИСИМОСТЬ ФАКТОРА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЗЕРНА КАТАЛИЗАТОРА ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОЦЕССА. ПОСТРОЕНА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРОМЫШЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА КВАЗИГОМОГЕННАЯ МОДЕЛЬ ПРОМЫШЛЕННОГО КАТАЛИТИЧЕСКОГО РЕАКТОРА, ПРЕДСТАВЛЯЮЩАЯ СОБОЙ СОВОКУПНОСТЬ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО ТИПА. РАЗВИТЫ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ ПОДОБНОГО ТИПА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДА ОРТОГОНАЛЬНЫХ КОЛЛОКАЦИЙ. ПО МОДЕЛИ ПРОМЫШЛЕННОГО РЕАКТОРА РАССЧИТАНЫ РЕЖИМЫ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА НА 30 %. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОДТВЕРЖДЕНЫ ПРОМЫШЛЕННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТОМ.

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ РАВНОВЕСНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА СОРБЦИИ

ПУТИН С. Б., СКВОРЦОВ С. А.

Тамбовский научно-исследовательский химический институт, ТГТУ

Для математического описания сорбционных процессов весьма популярной является равновесная изотермическая модель, в основе которой заложено допущение о равновесности концентраций в твердой и газовой фазе в любой точке слоя в любой момент времени.

В данной модели уравнение материального баланса имеет вид

$$\varepsilon \frac{\partial p_k}{\partial \tau} + \frac{\partial a_k^*}{\partial \tau} = - \frac{\partial (vp_k)}{\partial x}, \quad k = \overline{1, N}, \quad (1)$$

где p_k – парциальное давление k -го компонента в газовой фазе; a_k^* – равновесная величина сорбции; ε – порозность слоя; v – скорость газового потока в слое; x – продольная координата; τ – время; k – номер газовой компоненты в газовой смеси.

Как показывает практика, при проведении расчетов изотермы сорбции в некоторых случаях можно считать линейными и описываются уравнением Генри

$$a_k^* = \Gamma_k p_k, \quad (2)$$

где Γ_k – коэффициент пропорциональности. Подстановка (2) в (1) приводит к уравнению материального баланса вида

$$(\varepsilon + \Gamma_k) \frac{\partial p_k}{\partial \tau} = - \frac{\partial (vp_k)}{\partial x}, \quad k = \overline{1, N}. \quad (3)$$

При однокомпонентной сорбции ($k = 1$) коэффициент Γ_1 рассчитывается на основе экспериментальных или литературных данных.

ПРИ МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССОВ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ СОВМЕСТНОЙ СОРБЦИИ, КОГДА ПРИСУТСТВИЕ ОДНОГО КОМПОНЕНТА СНИЖАЕТ ИЛИ ПОВЫШАЕТ СОРБИРУЕМОСТЬ ДРУГОГО, ВОПРОС ПОЛУЧЕНИЯ ДОСТОВЕРНЫХ РАВНОВЕСНЫХ ДАННЫХ ВСТАЕТ НАИБОЛЕЕ ОСТРО. ПРИ $k > 2$ В ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКАХ ТАКИЕ ДАННЫЕ, КАК ПРАВИЛО, ОТСУТСТВУЮТ, А ПРОВЕДЕНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ КОНКРЕТНЫХ СОРБЕНТОВ ЯВЛЯЕТСЯ ДЛИТЕЛЬНЫМ И ТРУДОЕМКИМ ПРОЦЕССОМ.

НАИБОЛЕЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНЫМ ЯВЛЯЕТСЯ ПОЛУЧЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ Γ_k В РЕЗУЛЬТАТЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПОЛУЧЕННЫХ НА КОНКРЕТНОЙ УСТАНОВКЕ. В КАЧЕСТВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ МОГУТ БЫТЬ ИСПОЛЬЗОВАНЫ ЗНАЧЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ КОМПОНЕНТОВ В ПРОДУКЦИОННОЙ СМЕСИ.

ПРИМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НЕИЗВЕСТНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ Γ_k ПОЗВОЛЯЕТ С ВЫСОКОЙ ТОЧНОСТЬЮ УЧЕСТЬ ХАРАКТЕР КОНКРЕТНОГО ПРОЦЕССА СОВМЕСТНОЙ СОРБЦИИ И ОДНОВРЕМЕННО ПОЛУЧИТЬ ОПЫТНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ СОВМЕСТНОЙ СОРБЦИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕННОЙ СМЕСИ НА ДАННОМ СОРБЕНТЕ НЕ ПРОВОДЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ СВОЙСТВ.

ТАКОЙ ПОДХОД НЕ ИСКЛЮЧАЕТ НЕОБХОДИМОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕРАВНОВЕСНЫХ МОДЕЛЕЙ И ЯВЛЯЕТСЯ УДОБНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ БЫСТРЫХ РАСЧЕТОВ РЕЖИМОВ УСТАНОВОК.

К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ВНУТРЕННИХ ТЕЧЕНИЙ

Матвеев С. В.

Тамбовский научно-исследовательский химический институт

НА СЕГОДНЯШНИЙ ДЕНЬ ОЧЕВИДНА АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ СОЗДАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ И СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО И КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ.

Постоянно растущие требования к системам жизнеобеспечения формируют спектр новых задач проектирования внешней и внутренней геометрии замкнутых объемов (оптимальный выбор конструкции, типа оборудования, находящегося в замкнутом объеме и т.п.); оптимального газоформирования в замкнутом объеме (ресурсосбережение, увеличение времени автономии и т.п.); поиска источников нештатных ситуаций в замкнутом объеме (максимизация наблюдаемости, обратные задачи); оптимального управления в экстремальных ситуациях (выработка решений по управлению действиями личного состава и оборудованием систем жизнеобеспечения) и т.д.

Все перечисленные задачи требуют рассмотрения процессов, протекающих в газовой среде замкнутого объема, в предположениях, отличных от идеализированных. В частности газовая среда должна быть рассмотрена с учетом неоднородности ее свойств как в пространстве, так и во времени. Кроме того, при моделировании процессов, протекающих в газовой среде замкнутого объема, нами сформулированы следующие допущения: теплофизические параметры среды распределены по времени и пространству; среда является ньютоновской жидкостью; течение среды происходит при числах Маха $M \ll 1$.

Учитывая приведенные допущения, можно сделать вывод о том, что для описания рассматриваемых процессов необходимо в качестве базовой использовать систему уравнений Навье-Стокса, дополненную соответствующими уравнениями неразрывности, баланса энергии, материального баланса, связей между термодинамическими параметрами среды.

Такая система дифференциальных уравнений в частных производных описывает довольно широкий класс течений. Введение дополнительных допущений позволяет упростить систему уравнений за счет сужения класса рассматриваемых течений.

Предлагается классифицировать течения среды в замкнутом объеме, как: течения при незначительных и/или малых изменениях температуры и постоянных значениях термодинамических параметров; течения при конечных изменениях температуры, плотности среды и зависимых от них термодинамических параметров.

Системы уравнений, описывающие каждый из представленных режимов течения, различные, и для их численного решения необходимо использовать разные методы расчета. Анализ результатов решения задач гидроаэродинамики позволил сделать вывод о том, что положительные результаты при решении подобного рода задач можно получить с использованием конечно-разностных методов. Применение полностью явных методов не позволяет получить качественные результаты решения рассматриваемых задач. Полностью неявные методы весьма сложны для реализации, требуют больших вычислительных мощностей, а время счета по сравнению с временем процесса несоизмеримо велико.

Вследствие этого для интегрирования уравнений течения нами использованы методы, представляющие собой явно-неявные комбинации (частично неявные методы). Кроме того, положительные в плане скорости счета упрощения программной реализации и точности результаты дало применение гибридных (разнесенных) сеток и расщепления по физическим процессам и времени (применение многослойных схем).

НЕЧЕТКИЕ МЕТОДЫ В ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧАХ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Панько М. А., Аракелян Э. К.

Московский энергетический институт, pma@acsv.mpei.ac.ru

Мнение специалистов относительно возможностей теории нечетких множеств (ТНМ) в решении задач управления распространяется от утверждения, что эта теория позволяет решить многие проблемы управления с большей эффективностью, чем классические методы, до полного отрицания практической полезности теории Л. Заде. Эффективность методов ТНМ зависит во многом от характера информации: методы ТНМ не имеют альтернатив, если используемая информация нечеткая. Главные причины существования нечеткой информации в технических и экономических задачах управления – невозможность точных измерений или высокая стоимость средств измерения; использование индикаторов вместо точных измерений для упрощения системы, снижения ее размеров и стоимости; сложная стохастическая природа переменных.

ПРИМЕР НЕЧЕТКОЙ ПЕРЕМЕННОЙ – АТМОСФЕРНЫЕ УСЛОВИЯ В ЗАДАЧЕ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ МЕЖДУ ЭНЕРГОБЛОКАМИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ С УЧЕТОМ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЙ. ЭТА ЗАДАЧА РЕШАЕТСЯ, КАК ПРАВИЛО, НА ОСНОВЕ СТРОГИХ ФОРМАЛИЗОВАННЫХ МЕТОДОВ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ БЕЗ УЧЕТА ХАРАКТЕРА ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ. КОЛИЧЕСТВО ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ЗАВИСИТ ОТ ОСОБЕННОСТЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ, КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ГОРЕНИЯ, НАГРУЗКИ [1]. НА КОНЦЕНТРАЦИЮ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В ВОЗДУХЕ ВЛИЯЮТ УКАЗАННЫЕ ФАКТОРЫ И АТМОСФЕРНЫЕ УСЛОВИЯ (СКОРОСТЬ И НАПРАВЛЕНИЕ ВЕТРА). СКОРОСТЬ И НАПРАВЛЕНИЕ ВЕТРА МОГУТ БЫТЬ ОПИСАНЫ КАК НЕСТАЦИОНАРНЫЕ СЛУЧАЙНЫЕ ПРОЦЕССЫ, А ИХ СОВМЕСТНОЕ ВЛИЯНИЕ ОПРЕДЕЛЕНО ВЕКТОРНЫМ СЛУЧАЙНЫМ ПРОЦЕССОМ. ОДНАКО ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДОБНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРЕДСТАВЛЯЕТСЯ ПРОБЛЕМАТИЧНЫМ.

ОПРЕДЕЛЯЯ ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ И НАПРАВЛЕНИЯ ВЕТРА МОДУЛЕМ (СКОРОСТЬ) И НАПРАВЛЕНИЕМ ВЕКТОРА МОЖНО ВВЕСТИ НЕЧЕТКУЮ ПЕРЕМЕННУЮ "ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ" E_{cR} СО ЗНАЧЕНИЯМИ, НАПРИМЕР, "СЛАБЫЕ", "СРЕДНИЕ", "СИЛЬНЫЕ".

Нагрузка i -го энергоблока N_i при заданной нагрузке электростанции N_c и ограничении E_{cR} определяется в процедуре нечеткого логического вывода *if N and E_{cR} then N_i* . Этот алгоритм используется и для распределения заданной нагрузки энергосистемы N_c между электростанциями. Заданные мощности электростанции N_c и энергоблоков N_i должны находиться в определенных пределах. Стандартная процедура нечеткого логического вывода дает возможность получить числовую оценку N_i на основе качественной начальной информации. Экологическое ограничение E_{cR} определено как нечеткая переменная.

Электрическая нагрузка – измеряемая (четкая) переменная, которая должны быть преобразованы в нечеткую с использованием процедуры фазификации. Шкала для нечеткой переменной E_{cR} может быть произвольной, например 0 ... 1 (0 – отсутствие ограничений, 1 – максимальное ограничение). Определение шкал – первый шаг в реализации алгоритма распределения нагрузки. Базы правил и функции принадлежности для переменных создаются (и корректируются) специалистом-экспертом с использованием всей доступной информации по характеристикам энергоблоков и электростанций в задаче распределения нагрузки между ТЭС.

1. Аракелян Э. К. и др. Оптимизация режимов работы оборудования ТЭС с учетом экологических ограничений // Теплоэнергетика. № 2. 1992.

ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ КОНДЕНСАТОРОМ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ

Култаев Б. Б., Панько М. А.

Московский энергетический институт, pma@acsv.mpei.ac.ru

Воздушно-конденсационная установка (ВКУ) предназначена для конденсации отработавшего в турбине пара, откачки конденсата и поддержания за турбиной разрежения необходимой величины. Применение воздушных конденсаторов обусловлено невозможностью использования схемы обратного водоснабжения из-за отсутствия источника охлаждающей воды, исполнения схемы водоснабжения с использованием пруда-испарителя, большим уносом воды (при ее дефиците) в варианте применения "мокрой" градирни.

ВОЗДУШНЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ СТРОЯТСЯ ПО БЛОЧНО-МОДУЛЬНОЙ СХЕМЕ. ПРОХОЖДЕНИЕ ВОЗДУХА ЧЕРЕЗ ТЕПЛООБМЕННЫЕ ПОВЕРХНОСТИ МОДУЛЕЙ ОБЕСПЕЧИВАЕТСЯ ПРИНУДИТЕЛЬНО С ПОМОЩЬЮ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ УСТАНОВОК.

ОРГАНИЗАЦИИ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССООБМЕНА В ВОЗДУШНЫХ КОНДЕНСАТОРАХ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИХ НАДЕЖНОЙ РАБОТЫ В УСЛОВИЯ БОЛЬШИХ СЕЗОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ОХЛАЖДАЮЩЕГО АГЕНТА (ВОЗДУХА) ОПРЕДЕЛЯЮТ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ТУРБОУСТАНОВКИ В ЦЕЛОМ.

ЦЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ КОНДЕНСАТОРОМ ЗАКЛЮЧАЕТСЯ В ПОДДЕРЖАНИИ ЗНАЧЕНИЯ ВАКУУМА В ЗАДАННОМ ДИАПАЗОНЕ, ЧТО ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ ОБЫЧНО ПУТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ КОНДЕНСАТА НА СЛИВЕ ИЗ МОДУЛЕЙ. ТЕМПЕРАТУРА КОНДЕНСАТА СВЯЗАНА С ВАКУУМОМ, ЗНАЧЕНИЕ КОТОРОГО ОПРЕДЕЛЯЕТ ТЕПЛОВУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТУРБОУСТАНОВКИ. НЕОБХОДИМО ОТМЕТИТЬ, ЧТО КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ПО ВСЕМУ ВОЗДУШНОМУ КОНДЕНСАТОРУ ПРИ ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ЯВЛЯЕТСЯ ПРОБЛЕМНЫМ ВОПРОСОМ. ВЫБОР ТОЧЕК И ОБЪЕМ КОНТРОЛЯ ДОЛЖНЫ ОБЕСПЕЧИВАТЬ КАК ВОЗМОЖНОСТЬ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМА РАБОТЫ, ТАК И ДИАГНОСТИКУ СОСТОЯНИЯ МОДУЛЕЙ. ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ ВОЗДУХА СУЩЕСТВУЕТ ОПАСНОСТЬ "РАЗМОРАЖИВАНИЯ" МОДУЛЕЙ ВК.

ПРОАНАЛИЗИРОВАНЫ СЛЕДУЮЩИЕ СПОСОБЫ УПРАВЛЕНИЯ ВАКУУМОМ: ПОСРЕДСТВОМ ВКЛЮЧЕНИЯ/ОТКЛЮЧЕНИЯ ГРУПП ВЕНТИЛЯТОРОВ (ПРОЕКТНЫЙ ВАРИАНТ); ПУТЕМ СТУПЕНЧАТОГО ИЗМЕНЕНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ГРУПП ВЕНТИЛЯТОРОВ; ИЗМЕНЕНИЕМ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ГРУПП ВЕНТИЛЯТОРОВ. ВЫБОР СПОСОБА УПРАВЛЕНИЯ ЯВЛЯЕТСЯ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ЗАДАЧЕЙ. ОСНОВНЫЕ КРИТЕРИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВАРИАНТА – КАЧЕСТВО УПРАВЛЕНИЯ ВАКУУМОМ, СТОИМОСТЬ РЕАЛИЗАЦИИ ВАРИАНТА, НАДЕЖНОСТЬ С УЧЕТОМ УСЛОВИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ.

ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ ДОЛЖЕН ИСПОЛЬЗОВАТЬСЯ КРИТЕРИЙ, ИМЕЮЩИЙ СВЯЗЬ С ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ПАРОСИЛОВОЙ УСТАНОВКИ. ТАКИМ КРИТЕРИЕМ МОЖЕТ СЛУЖИТЬ ЗНАЧЕНИЕ ДИСПЕРСИИ ВАКУУМА. МИНИМИЗАЦИЯ ДИСПЕРСИИ ВАКУУМА (СРЕДНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ ФИЗИЧЕСКИМИ ОГРАНИЧЕНИЯМИ) ГАРАНТИРУЕТ В ДАННОЙ ЗАДАЧЕ МАКСИМАЛЬНУЮ ВОЗМОЖНУЮ ТЕПЛОВУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА.

ЗАТРАТЫ НА РЕАЛИЗАЦИЮ ВАРИАНТА СОПОСТАВЛЯЮТСЯ С ПОТЕРЯМИ, СВЯЗАННЫМИ С УВЕЛИЧЕНИЕМ ДИСПЕРСИИ ВАКУУМА.

ДИНАМИЧЕСКАЯ ТОЧНОСТЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВАКУУМОМ В КОНДЕНСАТОРЕ ЗАВИСИТ ТАКЖЕ ОТ ХАРАКТЕРИСТИК КАНАЛА ИЗМЕРЕНИЯ УПРАВЛЯЕМОЙ ПЕРЕМЕННОЙ. СТЕПЕНЬ ВЛИЯНИЯ ИНЕРЦИОННОСТИ КАНАЛА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ЗНАЧЕНИЕ ДИСПЕРСИИ ВАКУУМА ПРЕДПОЛАГАЕТСЯ ОПРЕДЕЛИТЬ В ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ.

НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ УЧАСТКА ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

Никифоров А. Г., Яковлев А. В.

Смоленский филиал московского энергетического института, nauka@admin.smolensk.ru

Оптимальное проектирование систем теплоснабжения представляет собой сложный процесс, требующий рассмотрения большого количества факторов. Традиционно система теплоснабжения проектируется как совокупность отдельных подсистем, что затрудняет целостный анализ эффективности проекта. В настоящей работе делается попытка создания автоматизированной системы проектирования участка сети теплоснабжения, использующей нейросетевой подход.

При оптимизации участка тепловой сети определяется его диаметр, которому соответствует экстремум технико-экономического показателя (ТЭП). Как правило, он представляет собой функцию приведенных затрат, которая включает в себя стоимость электрической энергии, необходимой для перекачки теплоносителя, стоимость тепловых потерь на подающем и обратном теплопроводе и часть капитальной стоимости участка тепловой сети. Наличие минимума ТЭП определяется характером изменения составляющих функции затрат в зависимости от величины диаметра теплопровода. Затраты на перекачку теплоносителя $Z_{\text{ПЕР}}$ снижаются с увеличением внутреннего диаметра вследствие снижения потерь механической энергии жидкости. Абсолютные тепловые потери с увеличением диаметра возрастают за счет увеличения поверхности теплообмена. Капитальная стоимость участка тепловой сети определяется стоимостью труб, стоимостью изоляционного материала и стоимостью прокладки и монтажа и возрастает с увеличением диаметра.

При проектировании теплосети толщина изоляции на прямом и обратном теплопроводе обычно выбирается такой, чтобы обеспечить удельные тепловые потери, не превышающие нормативные. Если рассмотреть ТЭП как зависящий не только от диаметра, но и от толщины изоляции, то окажется, что имеется экстремальное значение, хотя и с незначительным прогибом, для вполне определенных величин толщины изоляции на прямом и обратном теплопроводе. По нашему мнению, толщину изоляции следует выбирать не из условия обеспечения нормативных тепловых потерь, а из экономических соображений, тем более, что толщина изоляции определяет и капитальную стоимость сети.

$$Z(d, \delta_{\text{ПР}}, \delta_{\text{ОБР}}) = Z_{\text{ПЕР}}(d) + Z_{\text{ТЕПЛ.ПОТЕРИ}}(d, \delta_{\text{ПР}}, \delta_{\text{ОБР}}) + k_{\text{ОТЧ}} \cdot K_{\text{ТС}}(d, \delta_{\text{ПР}}, \delta_{\text{ОБР}}).$$

Важным параметром, влияющим на величину затрат на перекачку теплоносителя, является КПД насосной установки. При составлении обучающей выборки сделано допущение, что КПД является заранее заданной величиной. Если тепловая сеть состоит из одного участка, то необходимо на каждом шаге процесса оптимизации (для каждого диаметра) производить выбор насоса, соответствующего рассматриваемому режиму, и определять величину КПД при заданном режиме регулирования.

При оптимизации тепловых сетей часто используются аналитические методы нахождения экстремума функции затрат. При этом могут возникать ошибки в определении оптимального варианта, вызванные необходимостью округления полученных диаметров до стандартных значений. Только для крупных тепловых сетей ошибка может быть сглажена чередованием знаков. Чтобы избежать этой проблемы, при составлении обучающей выборки нами использован подход, учитывающий дискретность набора диаметров для тепловой сети. Нахождение оптимума производится путем сравнения

величины функции затрат, составленной для набора стандартных диаметров, и выбора наиболее выгодного варианта. Затем для него определяется оптимальная толщина изоляции на подающем и обратном теплопроводе. Для получения обучающей выборки составлена программа, реализующая определение параметров, которым соответствует минимальное значение ТЭП, и проведен вычислительный эксперимент.

Рассматривается участок тепловой сети, работающей по повышенному температурному графику. Функция затрат на перекачку теплоносителя и тепловых потерь составляется для отопительного периода и для летнего режима, когда имеет место только нагрузка горячего водоснабжения. Расход сетевой воды в летний период связан с расходом в отопительный период задаваемой величиной балансовой нагрузки горячего водоснабжения. При определении тепловых потерь в отопительный период используется значение средней температуры грунта на глубине заложения теплопровода и величина средних температур теплоносителя в подающем и обратном теплопроводе, определяемая на основании температурного графика центрального регулирования совмещенной нагрузки отопления и горячего водоснабжения при рассматриваемой схеме подключения, и статистических данных о продолжительности стояния температур наружного воздуха.

При определении капитальной стоимости тепловой сети использовались следующие показатели: масса одного метра неизолированной трубы рассматриваемого диаметра; стоимость тонны стальных труб, стоимость кубометра изоляционного материала и объем изоляции на прямом и обратном теплопроводе. При определении стоимости монтажа и прокладки проведен анализ смет и выявлено, что рассматриваемый параметр можно представить нелинейной зависимостью от диаметра и умножением на расчетный индекс, характеризующий цены рассматриваемого периода.

В качестве входных параметров для обучения сети и ее работы принимаются расход теплоносителя и стоимостные показатели: стоимость труб, изоляционного материала, прокладки и монтажа теплопровода, стоимость тепловой и электрической энергии, срок окупаемости тепловой сети, теплопроводность изоляции, величина балансовой нагрузки горячего водоснабжения. В соответствии с понятием о полном факторном эксперименте производится варьирование перечисленных параметров во всех возможных комбинациях. При этом расход теплоносителя изменяется в пределах, обеспечивающих рассмотрение всего диапазона стандартных диаметров и допустимых скоростей; стоимостные показатели изменяются по отношению к реальным ценам с перспективой роста в несколько раз; теплопроводность изоляции принимается для наиболее распространенных материалов, балансовая нагрузка горячего водоснабжения характеризует типичных потребителей и изменяется: 0,18; 0,36; 0,54. Выходными показателями являются внутренний диаметр теплопровода, толщина изоляции на подающей и обратной линии. Выбран бесканальный тип прокладки тепловой сети. Остальные параметры, такие как теплопроводность грунта, средние температуры наружного воздуха, температура грунта, продолжительность отопительного периода и др., приняты для Смоленского региона.

РАЗРАБОТКА ЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОИСКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ СУШКИ

Бурында Д. А., Никулина Е. А., Дорохов И. Н.

Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева

При проектировании сушильного оборудования сложилась практика рассмотрения конкурирующих вариантов установок. Однако, в действительности, число возможных к использованию конструкций при анализе редко больше двух. Это связано со стремлением специалистов оперировать уже знакомыми разработанными схемами, которые не обязательно могут быть действительно лучшими техническими и технологическими решениями для данной задачи.

Цель данной работы – построение интеллектуальной системы поиска технологических решений сушки, позволяющей технологу расширить область анализа и принятия решения.

Концептуальной основой разработки данной системы служит морфологическое пространство технологических решений сушки, построенное на связи исходных и требуемых свойствах материала, особенностей протекающих механизмов и технологического режима обезвоживания.

Логическая схема системы имеет следующий вид (рис. 1).

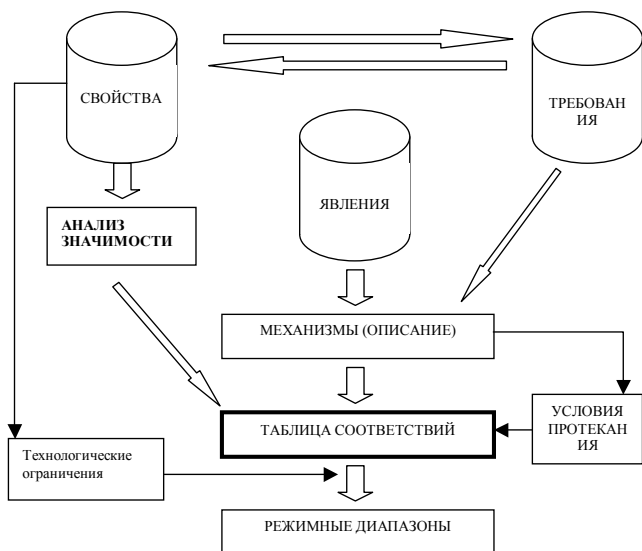


РИС. 1

Система реализована в реляционной модели баз данных, где основным блокам схемы соответствуют базовые таблицы.

ПОСТРОЕНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРОЦЕССА СУШКИ

Бурында Д. А., Никулина Е. А., Дорохов И. Н.

Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева

Процесс сушки влажных материалов является не только теплофизическим, но и технологическим процессом, в ходе которого меняются структурно-механические, технологические и биохимические свойства материала. Пренебрежение процессами, проходящими на микроуровне, приводит к ряду практических ошибок: затрачиваются большие средства на проектирование, создание, испытание сушильных установок, а в результате они оказываются неприменимыми к данному материалу.

Метод морфологического анализа является весьма перспективным инструментом структуризации и формализации предметной области теории сушки. Он расширяет возможности не только выбора наиболее рационального типа сушильного оборудования, но и разработки принципиально новых, более эффективных конструкций, обеспечивающих протекание требуемого механизма.

Для построения морфологического пространства технологических решений должно быть задано множество значимых признаков и определены множества возможных свойств каждого признака. Признаки морфологического пространства следующие: 1) физико-химические свойства исходного материала P_i (например, форма связи влаги с материалом, модель пористой структуры, гидрофильность, структурно-механические свойства и т.д.); 2) требования к конечному продукту C_i (гранулометрический состав, морфологическая структура вещества, влажность и т.д.); 3) способ подвода энергии E_i (кондуктивный, конвективный, СВЧ и т.д.); 4) физико-химические явления F_i , протекающие во время обезвоживания (фильтрация жидкости, пленочное течение, течение пара в пористых телах, тепловое скольжение, капиллярный осмос и т.д.).

Множеством накладываемых отношений между заданными признаками является множество технологических режимов R_i . Технологический режим для процесса сушки определяется набором параметров: температурой сушильного агента T_i , влажностью φ_i , давлением p_i , типом сушильного агента, концентрацией дополнительных компонентов в исходном продукте, скорости и направления потока и т.д. Набор наименований R_i с указанием их места и роли представляет собой сигнатуру морфологии M .

Накладываемые отношения устанавливают фактическое соответствие между режимными параметрами, исходными физико-химическими свойствами материала и механизмом сушки, обеспечивающего требуемое качество готового продукта. Таким образом, множество заданных признаков PR и режимов R определяют состав и строение пространства технологических решений, т.е. морфологию

$$M = \langle P, C, E, F, R \rangle.$$

Завершение построения морфологического пространства технологических решений сушки осуществляется путем ввода условий взаимосвязи и выбора его элементов.

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ И ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ПО КОРРОЗИИ

Таранцева К. Р., Пахомов В. С.
Пензенский технологический институт, МГУИЭ,
tkr@pti.ac, pakhomov@msuie.ru

Огромный разрыв между достижениями современной коррозионной науки и производством, где ежегодно платится тяжелая дань коррозии, является подтверждением того, что существующие знания о коррозионных процессах далеко не всегда доводятся до практиков. Причин тому много, и основными из них являются: сложность процесса коррозии; разрозненность, распыленность знаний о коррозии на многие направления; немногочисленность специалистов по коррозии; сложность переноса результатов полученных в лабораторных условиях на промышленные; существующий консервативный подход к проектно-конструкторской разработке изделий.

Использование экспертных систем (ЭС), основанных на искусственном интеллекте, для решения указанных проблем позволяет открыть новый коммуникативный канал между носителями и пользователями коррозионных знаний и снизить коррозионные потери.

Анализ литературы показал отсутствие ЭС по коррозии в России. Применение существующих на западе ЭС по коррозии в условиях нашей страны затруднено из-за различия используемых конструкционных материалов, конструкций, технологий, стандартов и прочих руководящих и нормативных материалов. Все это приводит к необходимости разработки ЭС по коррозии, адаптированных к нуждам отечественного потребителя.

В настоящее время сложилась определенная технология разработки ЭС, которая включает шесть этапов: идентификацию, концептуализацию, формализацию, выполнение, тестирование и опытную эксплуатацию.

На этапе идентификации задачи составляется ее вербальное описание, в котором указываются: общие характеристики задачи, ключевые понятия, их входные (выходные) данные; предположительный вид решения, а также знания, относящиеся к решаемой задаче. При идентификации целей важно отличать цели, ради которых создается ЭС, от задач, которые она должна решать.

Для решения проблем коррозии на производстве, главная цель создания ЭС – тиражирование знаний эксперта, т.е. перенос их от носителя к пользователю. В данном случае ЭС может выполнять как функцию консультанта, так и обучающую роль.

На этапе концептуализации проводится содержательный анализ проблемной области, выявляются используемые понятия и их взаимосвязи, определяются методы решения задач. Главной целью разработки ЭС на этапе концептуализации является разработка модели предметной области. С учетом разрозненности коррозионных знаний для построения предметной области более приемлемым является структурный подход. При этом необходимо стремиться к тому, чтобы выделяемые понятия предметной области образовывали систему, обладали уникальностью (отсутствием избыточности), полнотой; достоверностью и непротиворечивостью.

На этапе формализации все ключевые понятия и отношения выражаются на некотором формальном языке, который либо выбирается из числа уже существующих, либо создается заново. На этом этапе определяются состав средств и способы представления декларативных и процедурных знаний, осуществляется это представление и в итоге формируется описание решения задачи ЭС на формальном языке.

Для описания коррозионных процессов среди наиболее перспективных следует рассматривать фреймы и семантические сети, в качестве способа обращения – знаниями аналитические и смешанные модели.

На этапе выполнения создается один или несколько прототипов ЭС, решающих требуемые задачи. Назначение прототипа заключается в том, чтобы он обеспечил проверку адекватности идей, методов и способов представления знаний решаемым задачам.

На этапе тестирования производится оценка выбранного способа представления знаний в ЭС в целом.

На этапе опытной эксплуатации проверяется пригодность ЭС для конечного пользователя. Пригодность ЭС для пользователя определяется в основном удобством работы с ней и ее полезностью. Под полезностью ЭС понимается ее способность в ходе диалога определять и удовлетворять потребности пользователя, выявлять и устранять причины неудач в работе.

Сложностей на пути создания экспертных систем по коррозии много. Среди проявляющихся на самых ранних этапах разработки ЭС можно отметить следующие:

1) Трудности технического и психологического характера, заключающиеся в сложности достижения разумного компромисса между разработчиками новой техники и коррозионистами.

При проектировании какой – либо конструкции разработчик в первую очередь руководствуется ее функциональным назначением, т.е. стремится создать надежную конструкцию, обеспечивающую заданные условия протекания технологических процессов. При этом учет коррозионного фактора производится формально, путем введения "припуска" на коррозию. Это приводит в одних случаях к необоснованному расходу материала, в других – к преждевременному выходу конструкции из строя по причине коррозии. Специалисты же по коррозии, зачастую имея неполное представление о технической сущности проекта, склонны завышать требования к коррозионной стойкости материалов, что ведет к необоснованному повышению стоимости разработки. Компромисс в данном случае заключается в обеспечении безопасности объекта и экономически оправданном сроке его службы.

2) Сложность разработки общей структуры знаний по коррозии. Коррозия представляет собой разветвленную сеть знаний, с одной стороны, научно-обоснованных, с другой – чисто эмпирических. Поэтому необходимо создание модели представления разнородных знаний, допускающую пополнение новыми эмпирическими и формализованными знаниями и данными.

3) Неопределенность, неполнота и противоречивость имеющейся информации по коррозии. В процессе создания и использования ЭС по коррозии могут быть обнаружены области, где данные расходятся или вообще отсутствуют, или же результаты из различных источников противоречат друг другу. Это создает определенные сложности при использовании прогностических моделей для экстраполяции в случае непроверенных ситуаций.

Несмотря на все сложности, встречающиеся на пути разработки ЭС по коррозии, будущее за ними. На сегодняшний день они предоставляют единственную возможность установить связь между учеными и практиками, использовать знания экспертов, применять наилучшие стратегии и методы решения коррозионных задач.

О РАЗРАБОТКЕ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ВОЗДУХОРАЗДЕЛИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

Букурако Ю. К., Мартемьянов Ю. Ф., Шамкин В. Н.

Тамбовский государственный технический университет, intep@ng.nnn.tstu.ru

Возрастающая сложность управления высокопроизводительными воздуходелительными установками (ВРУ), функционирующими при переменной производительности по продуктам разделения, связана, главным образом, с тем, что существующие системы управления не имеют возможности для перевода установки в реальном времени с режима на режим. Объясняется это, в первую очередь, недостаточной изученностью динамических свойств ВРУ в технологических режимах, соответствующих различным производительностям. Управление установкой в процессе перевода с режима на режим, требует применения новых интеллектуальных подходов. При этом наибольшие возможности появляются с использованием экспертных систем (ЭС), основанных на обработке знаний. Последние могут быть получены, как от операторов, имеющих достаточно большой опыт управления ВРУ в переходных режимах,

так и при изучении процессов перевода установки (в широком спектре изменения производительности по продуктам разделения) с помощью модели динамики.

Разрабатываемая система должна быть интегрированной ЭС, поскольку в ней решаются такие задачи, как идентификация, мониторинг, диагностика, прогнозирование и управление, каждая из которых обычно является основой для разработки ЭС в конкретной предметной области. При этом она является динамической экспертной системой реального времени (ДЭС РВ). В последнее время для создания ДЭС РВ применяются такие инструментальные средства, как оболочки, например, G2, Comdale/C, RTWorks, Cogsys и др. Наиболее популярна и эффективна – оболочка G2 фирмы Gensym, относящаяся к гибридным системам. За счет открытости интерфейсов и поддержки широкого спектра вычислительных платформ, она предоставляет наибольшие возможности для распределенных ДЭС РВ. Применяемая как интегрирующий компонент, оболочка G2 обладает достаточными возможностями, чтобы объединить уже существующие средства автоматизации ВРУ в единую комплексную систему управления. Нами предложена структурная схема ДЭС ВРУ.

Рассматривается проблема извлечения экспертных знаний о процессах перевода ВРУ и их структурирования. Отмечается, что для задач управления база знаний (БЗ), включающая в себя средства представления знаний и методы манипуляции ими, обеспечивает явное представление динамической природы процесса перевода. Кроме того, БЗ поддерживает описание параллельных процессов обработки информации и управления в реальном времени. Этим требованиям удовлетворяет производственная модель (ПМ), представляющая собой процедурные знания, определяющие соответствующий процесс управления. В системах продукции знания представлены с помощью наборов правил, связывающих конкретное состояние с конкретным действием. ПМ особенно удобна при описании процессов перевода установки с режима на режим, поскольку она гибко и разнообразно реагирует на большое количество состояний данных. Декларативные знания о структуре и состоянии управляемого объекта, а также цели управления удобнее описать с помощью семантической сети. Рассмотрена проблема интеграции знаний и описана процедура сведения в единый, взаимосвязанный комплекс приобретенных знаний.

ФАЗИ-ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕЗЕРВНОГО ФОНДА РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ В ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВАХ

Фролова Т. А., Козельцев М. М.

Тамбовский государственный технический университет,
frolova@gaps-gw.tstu.ru

Значительную часть в химической промышленности составляют многоассортиментные гибкие производства: химических волокон, синтетических смол и пластмасс, лакокрасочных материалов и др. Актуальным для них является определение резервного фонда рабочего времени (резерва производительности – Δt_0), который служит важной характеристикой работы гибкой автоматизированной производственной системы (ГАПС). В современных условиях трудно четко составить прогноз потребностей в выпуске каждого продукта из заданного ассортимента на определенный срок, т.е. точно задать годовые объемы выпуска продуктов Q_i , а также определить Δt_0 . Эти параметры будут относиться к терминам: "годовая производительность по i -му продукту" и "годовой эффективный фонд рабочего времени", которым ставится в соответствие нечеткое множество.

Резерв производительности Δt_0 будет характеризоваться функцией принадлежности $\mu(\Delta t_0)$, которая определяется в виде: $\mu(\Delta t_0) = \max_{\Delta t_0 = f(\bar{X})} [\min(\mu(Q_1), \dots, \mu(Q_i), \mu(t_0))]$, где \bar{X} – вектор параметров математической модели функционирования многоассортиментных производств (МП).

Справедливость этого выражения следует из обобщения понятия функции на случай нечетких переменных. Функциональная связь $\Delta t_0 = f(\bar{X})$ определяется системой уравнений.

Результатом решения задачи при нечеткой исходной информации является функция принадлежности, которая характеризует резерв производительности. Приводимые операции на нечетких множествах будем называть фазы-прогнозированием. Эта информация дает возможность составить прогноз наиболее достоверного значения резерва производительности МП, которое определяется равенством $\mu(\Delta t_0^*) = \max_{\Delta t_0} (\mu(t_0))$, где Δt_0^* – наиболее достоверное значение резерва производительности. Вид функ-

ции показывает насколько определенно значение резерва производительности. Если Δt_0^* меньше допустимого значения $\Delta t_0^{\text{доп}}$, то необходимо проводить реконструкцию МП. Это означает, что ГАПС не способна обеспечить выпуск продуктов заданного ассортимента в предполагаемом объеме за установленный промежуток времени.

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СМЕСЕЙ
НА ОСНОВЕ ВЫБОРА ОБЪЕМА И ЧИСЛА ПРОБ
ЧОХОНЕЛИДЗЕ А. Н., ФОМИЧЕВ А. Г., КОПЫЛОВА Т. С.**

ТВЕРСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ MASCI@TSTU.TVER.RU.

Повышенные требования к современным технологиям в производстве и переработке сыпучих многодисперсных материалов вызывают необходимость разработки новых методик взятия и анализа проб, которые минимизируют отклонения в соответствии соотношений компонентов в исследуемой дисперсной смеси от соотношения частиц в пробе.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ЧАСТИЦ СМЕСИ ЗАВИСИТ ОТ ОБЪЕМА АНАЛИЗИРУЕМОЙ ПРОБЫ И ОЦЕНИВАЕТСЯ ДИСПЕРСИЕЙ $D(X) = p'q'/n$, АНАЛИЗ КОТОРОЙ ПОЗВОЛЯЕТ ДАТЬ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ ПРОБ. ЕСЛИ КОМПОНЕНТЫ P И Q ИМЕЮТ СРЕДНИЕ ОБЪЕМЫ \bar{v}_p И \bar{v}_q , ТО ДОЛЮ КОМПОНЕНТА P' В ПРОБЕ С ЧИСЛОМ ЧАСТИЦ N , ИЛИ ЕГО ОБЪЕМНОЕ СОДЕРЖАНИЕ, МОЖНО ОПРЕДЕЛИТЬ ПО ФОРМУЛЕ

$$X_p = p'\bar{v}_p / (p'\bar{v}_p + q'\bar{v}_q). \quad (1)$$

ТОГДА ДИСПЕРСИЯ ВЕЛИЧИНЫ $1/X_p$ НА ОСНОВАНИИ (1) ОПРЕДЕЛИТСЯ ПО ФОРМУЛЕ

$$D\left(\frac{1}{x_p}\right) = \left(\frac{\bar{v}_q}{\bar{v}_p}\right) D\left(\frac{1-P'}{P'}\right) + \left(\frac{1-P'}{P'}\right)^2 D\left(\frac{\bar{v}_q}{\bar{v}_p}\right) = \left(\frac{\bar{v}_q}{\bar{v}_p}\right)^2 D\left(\frac{1-P'}{P'}\right) + \left(\frac{q'}{P'}\right)^2 D\left(\frac{\bar{v}_q}{\bar{v}_p}\right). \quad (2)$$

ПРЕОБРАЗОВАВ (2), ПОЛУЧИМ

$$D(X_p) = (P')^4 \frac{1}{np'q'} \left(\frac{q'}{P'}\right)^2 \left(\frac{\bar{v}_p \bar{v}_q}{\bar{v}^2}\right)^2 \left[1 + \left(\frac{S_p}{\bar{v}_p}\right) q' + \left(\frac{S_q}{\bar{v}_q}\right)^2 P' \right]. \quad (3)$$

ТАК КАК $(P')^4 \frac{1}{np'q'} \left(\frac{q'}{P'}\right)^2 = \frac{P'q'}{n}$, ТО (3) ПРИМЕТ ВИД

$$D(X_p) = \frac{P'q'}{n} \left(\frac{\bar{v}_p \bar{v}_q}{\bar{v}^2}\right) \left[1 + q'C_p^2 + P'C_q^2 \right]. \quad (4)$$

ФОРМУЛА (4) ПОЛУЧЕНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕСОВЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ, НО БЕЗ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВАРИАЦИОННЫХ ЧИСЕЛ. ДЛЯ СЛУЧАЯ МОНОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ДИСПЕРСИЯ $D(X_p)$ БУДЕТ РАВНА $p'q'/n$, А ВЕЛИЧИНА ОТНОСИТЕЛЬНОГО ОТКЛОНЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ В ПРОБЕ ОТ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ ОПРЕДЕЛИТСЯ ТАК

$$\sigma_{\text{отн.}} = \sqrt{D}q'/P' = \sigma q'/P'. \quad (5)$$

ЗАВИСИМОСТЬ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ОТКЛОНЕНИЯ СООТНОШЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ В ПРОБЕ ОТ ЧИСЛА ЧАСТИЦ В НЕЙ ПРЕДСТАВЛЕНА НА РИС. 1 КРИВЫМИ 1, 1', 1'' ДЛЯ ЗНАЧЕНИЙ P'/Q' , РАВНЫХ СООТВЕТСТВЕННО 1; 0,9; 0,8.

ДЛЯ РЯДА ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ НЕОБХОДИМО ЗНАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЧИСЛА ЧАСТИЦ В ПРОБЕ ОТ СООТНОШЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ В СМЕСИ.

ДОПУСТИМ, ЧТО ОТКЛОНЕНИЕ СООТНОШЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ОТ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ В ПРОБЕ ДОЛЖНО СООТВЕТСТВОВАТЬ НЕ БОЛЕЕ 1 %, ТОГДА ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ СООТНОШЕНИЕМ КОМПОНЕНТОВ В СМЕСИ И ЧИСЛОМ ЧАСТИЦ В ПРОБЕ ПРИ ПРЕОБРАЗОВАНИИ УРАВНЕНИЙ (4) И (5) БУДЕТ ИМЕТЬ ВИД

$$(P')^2 / (q')^2 10^{-4} = \left(P'q'(\bar{v}_p \bar{v}_q / \bar{v}^2)^2 / n \right) \left[1 + q'C_p^2 + P'C_q^2 \right]. \quad (6)$$

ОБОЗНАЧИМ $K_n = (\bar{v}_p \bar{v}_q / \bar{v}^2) [1 + q' C_p^2 + P' C_q^2]$.
 ДЛЯ МОНОДИСПЕРСНОЙ СМЕСИ $K_N = 1$ И ТОГДА ИМЕЕМ

$$(P')^2 / (q')^2 \sigma_{отн}^2 = P' q' / n.$$

ГРАФИЧЕСКИ ЭТА ЗАВИСИМОСТЬ ПРЕДСТАВЛЕНА НА РИС. 1 КРИВОЙ 2 С $N = F(P/Q)$. ИЗ АНАЛИЗА РИС. 1 СЛЕДУЕТ, ЧТО ПРИ МАЛЫХ ЗНАЧЕНИЯХ СООТНОШЕНИЙ КОМПОНЕНТОВ $P'/Q' < 0,1$ ПРОБЫ, ОТБИРАЕМЫЕ НА АНАЛИЗ КАЧЕСТВА СМЕСИ, ДОЛЖНЫ СОСТОЯТЬ ИЗ ВСЕ ВОЗРАСТАЮЩЕГО ЧИСЛА ЧАСТИЦ ПО МЕРЕ УМЕНЬШЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ КОМПОНЕНТОВ.

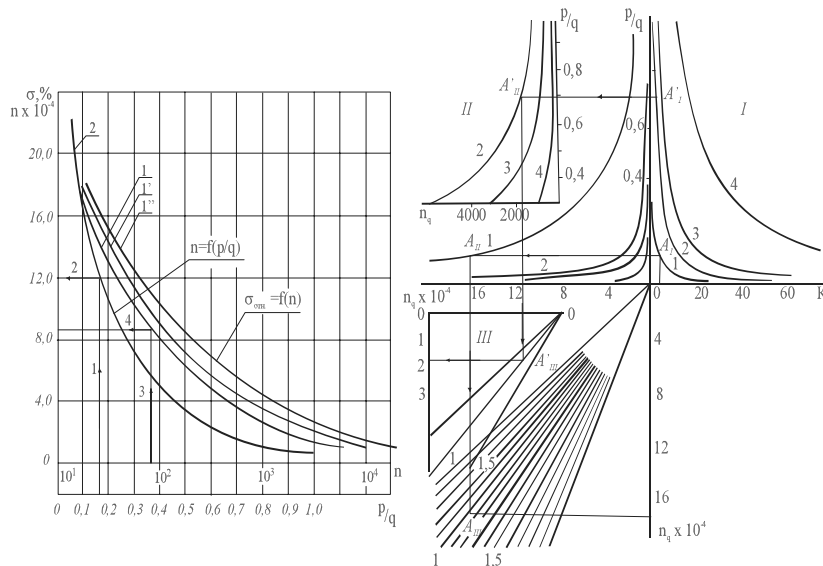


Рис. 1. График зависимостей:

1. относительного отклонения содержания компонентов в пробе от числа в ней: $1 \cdot 1'$.

Рис. 2. Номограмма для определения числа частиц в пробе (n) и числа проб (K):

кривые 1, 2, 3, 4 соответ-

ЧИСЛО ПРОБ ДЛЯ АНАЛИЗА СМЕСИ ДОЛЖНО БЫТЬ ТАКИМ, ЧТОБЫ СРЕДНЕЕ КВАДРАТИЧНОЕ ОТКЛОНЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ В ГЕНЕРАЛЬНОЙ СОВОКУПНОСТИ, Т.Е. ПО ВСЕЙ СМЕСИ, ОЦЕНИВАЛОСЬ С ВЫСОКОЙ ДОВЕРИТЕЛЬНОЙ ВЕРОЯТНОСТЬЮ, ЧТО ВОЗМОЖНО ПРИ $K \rightarrow \infty$ И ПРАКТИЧЕСКИ ТРУДНО ОСУЩЕСТВИМО. НЕОБХОДИМАЯ И ДОСТАТОЧНАЯ ЧИСЛЕННОСТЬ ПРОБ МОЖЕТ БЫТЬ НАЙДЕНА С ПОМОЩЬЮ УРАВНЕНИЯ:

$$K = t_{\alpha}^2 V^2 P^2 / \Delta^2 q^2 = t_{\alpha}^2 V^2 / \delta_0^2.$$

ПРИ ВЫБРАННОМ $T_{0,57} = 0,675$ И $\Delta_0 = 2\%$ ЗАВИСИМОСТЬ $K = F(P/Q)$ ДЛЯ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ОБЪЕМОВ С ЧИСЛОМ ЧАСТИЦ КЛЮЧЕВОГО КОМПОНЕНТА $N = 10000, 1000, 500, 100$ ИЗОБРАЖЕНА НА РИС. 2 В ПЕРВОМ КВАДРАНТЕ I НОМОГРАММЫ СООТВЕТСТВЕННО КРИВЫМИ 1, 2, 3, 4. В КВАДРАНТАХ II И III ПОСТРОЕНЫ ГРАФИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ $N_q = F(P/Q)$ В РАЗНОМ МАСШТАБЕ. В КВАДРАНТЕ III ПОЛОЖЕНИЕ ПРЯМЫХ ЛИНИЙ ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ СТЕПЕНЬЮ ПОЛИДИСПЕРСНОСТИ K_N , ПРИ ЭТОМ ПРЯМАЯ 1,0 СООТВЕТСТВУЕТ СЛУЧАЮ МОНОДИСПЕРСНОСТИ КОМПОНЕНТОВ.

ПРЕДЛОЖЕННАЯ НОМОГРАММА ПОЗВОЛЯЕТ СРАВНИТЬ СМЕСИ В ОДИНАКОВОМ МАСШТАБЕ ИЗМЕРЕНИЯ И НАМЕТИТЬ ПУТИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ.

Таким образом, проведенные исследования, графическая и математическая обработка полученных данных позволили сделать предложение относительно быстрой оценки весовых соотношений в процессах смешивания сыпучих материалов.

Предложена математическая модель распределения концентраций частиц смеси от объема анализируемых проб, а также показана зависимость величины относительного отклонения компонентов в пробе от действительного значения.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА И ДЕФОРМАЦИИ ТЕПЛОВОЙ МЕТКИ ПОТОКОМ ГАЗА

Соколов Г. А., Сягаев Н. А., Тугушев К. Р.

Санкт-Петербургский государственный технологический институт

Для измерения малых и микрорасходов газов может быть использован меточный тепловой метод. Однако его реализация осложняется следующими факторами: максимум метки является неярко выраженным; время переноса метки по контрольному участку соизмеримо, а в ряде случаев и меньше длительности командного импульса; нестабильность тепловых потерь в окружающую среду и температуры измеряемой среды может существенно сказаться на погрешности измерения.

Математическое моделирование процессов, происходящих в датчике расходомера, позволили скорректировать принципы построения и оценить области его функционирования, в которых влияние перечисленных выше негативных факторов может быть существенно снижено. Кроме того, в совокупности с экспериментами, математическая модель позволяет создать методику параметрического синтеза тепловых меточных расходомеров газа.

Математическая модель рассматриваемого расходомера представлена в форме уравнения нестационарного теплопереноса при граничных условиях третьего рода и начальных условиях, учитывающих конечное время действия командного импульса от распределенного по осевой координате нагревателя.

Результаты моделирования позволили количественно оценить влияние аксиальной теплопроводности потока газа на время переноса метки по контрольному участку.

Влияние нестабильности температуры и тепловых потерь, как показали результаты моделирования, существенно влияют на погрешность измерения. Снижение этой погрешности возможно применением дифференциального метода, основанного на измерении времени переноса метки τ между двумя точками на осевой координате, образующими контрольный участок. Однако величина этого участка ограничена вследствие небольшого времени "жизни" метки, что осложняет корректное измерение малых значений τ . Более точному определению максимума тепловой метки во времени способствует уменьшение длительности командного импульса. Для повышения достоверности результатов измерения предложено использовать дополнительную информативную величину, а именно производную мгновенной температуры метки по времени на участке ее переднего фронта. Экспериментальная проверка разработанной математической модели осуществлялась на датчике с каналом прямоугольного сечения 3,5 мм × 5 мм на потоках воздуха в диапазоне расходов от 4 до 35 мл/с и показала адекватность опытных данных и результатов математического моделирования.

Система управления для процесса очистки сточных вод свинцовых аккумуляторных производств

Ремизова О. А., Иванова Г. В.

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Аккумуляторные производства являются потребителями больших количеств воды из открытых водоемов и подземных источников, а также служат источниками их загрязнения. Поэтому важными задачами для этой отрасли химической промышленности является совершенствование процессов водоподготовки.

Процесс очистки сточных вод свинцовых аккумуляторных производств должен обеспечивать необходимые показатели качества водоочистки при минимуме расходов дорогостоящих реагентов. Данный процесс использует технологию, состоящую из стадий приготовления реагентов и очистки сточных вод. На первой стадии готовится флокулянт полиакриламида и кальцинированная сода. На второй стадии осуществляется собственно очистка, и затем доочистка сточных вод.

В результате анализа процесса как объекта управления и с учетом специфики данного производства нами разработана автоматизированная система управления на базе нейронной модели процесса.

Система управления процессом работает совместно с модулем оптимизации, который уточняет оптимальные настройки регуляторов, полученные в результате работы нейронной модели.

Для удобства работы оперативного персонала, а также для настройки системы управления используется SCADA-система. В основном меню представлена мнемосхема процесса, с помощью активных кнопок можно ознакомиться более подробно с каждой стадией процесса. В каждой экранной форме стадий имеется возможность ознакомиться с текущими и расчетными значениями по модели, также вызвать тренды с основными показателями процесса.

Исследования алгоритма управления показали уменьшение затрат на реагенты в размере 13 %

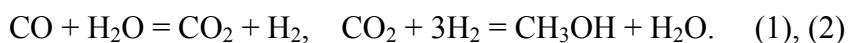
АНАЛИЗ УРАВНЕНИЙ КИНЕТИКИ СИНТЕЗА МЕТАНОЛА С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ В СРЕДЕ MATHCAD

Мочалин В. П.

Новомосковский институт РХТУ им. Д. И. Менделеева

Применение программных (математических) пакетов, для математического моделирования, существенно упрощает исследование и анализ химико-технологических систем по их математическим моделям. Ниже изложен один из возможных способов использования пакета Mathcad 7.0, примененный для анализа уравнений кинетики синтеза метанола с помощью математической модели лабораторного изотермического реактора. Используя лабораторный реактор выполнялись кинетические эксперименты, снимались экспериментальные данные. Далее осуществлялась идентификация модели реактора и установление ее адекватности химическому процессу.

Обработка кинетических экспериментов и построение математической модели проводились исходя из предположения, что в реакторе проходят следующие химические реакции – конверсии и синтеза метанола



Эти реакции представляют собой две стадии превращения оксидов углерода в метанол. Первая стадия – конверсия оксида углерода в диоксид, вторая – гидрирование диоксида углерода в метанол. Вода сильно тормозит реакцию (2), поэтому реакция (1) существенно влияет на скорость протекания реакции (2), так как выводит воду из системы химическим путем.

При написании математической модели реактора приняты следующие допущения: а) слой катализатора изотермичен; б) на входе в слой катализатора газовый поток полностью перемешан; в) слой катализатора рассматривается как квазигомогенная среда; г) эффективный перенос вещества в осевом направлении не учитывается; д) перемещение вещества по слою происходит в режиме идеального вытеснения, параметры во всех точках поперечного сечения реактора одинаковы; е) внешние- и внутридиффузионное торможение отсутствует, процесс протекает в кинетической области.

Математическая модель лабораторного изотермического реактора включает два дифференциальных уравнения материальных балансов ключевых компонентов – оксида углерода и метанола:

$$\frac{dX}{d\tau} = \frac{\rho_k V_M}{C_{\text{CO},0}} W_1, \quad \frac{dZ}{d\tau} = \frac{\rho_k V_M}{(C_{\text{CO},0} + C_{\text{CO}_2,0})} W_2, \quad X(0) = 0, \quad Z(0) = 0, \quad (3)$$

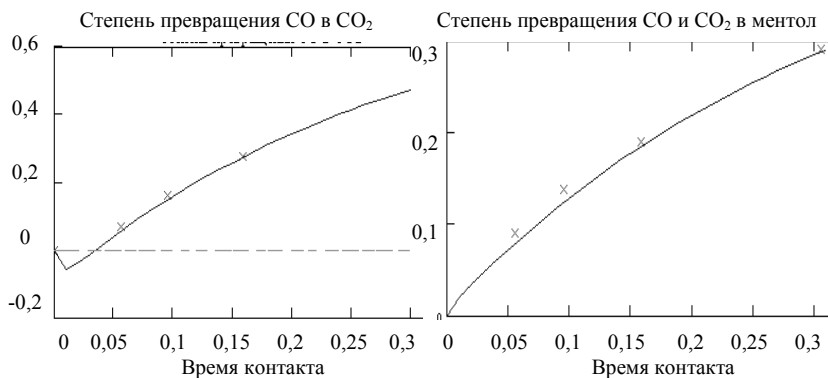
где
$$X = \frac{N_{\text{CO}} - N_{\text{CO},0}}{N_{\text{CO},0}}; \quad Z = \frac{N_{\text{CH}_3\text{OH}} - N_{\text{CH}_3\text{OH},0}}{N_{\text{CO},0} + N_{\text{CO}_2,0}},$$

N_i – расход i -го компонента, моль/с; ρ_k – насыпная плотность катализатора, г/см³; V_M – объем, занимаемый 1 молью газовой смеси при нормальных условиях, см³/моль; W_1, W_2 – скорости химических реакций (1) и (2), моль/г·с; $C_{\text{CO},0}, C_{\text{CO}_2,0}$ – концентрации оксида и диоксида углерода на входе в слой, мольные доли; τ – время контакта, с.

Решая с помощью Mathcad систему уравнений (3), находим изменение степеней превращения ключевых компонентов в зависимости от времени контакта; результаты решения показаны сплошной линией на рис. 1 и 2. На эти же графики нанесены и экспериментальные значения степени превращения.

Анализ и структурно-параметрическая идентификация кинетических уравнений выполнялись следующим образом: исследуемые варианты скоростей W_1, W_2 вводились в математическую модель (3),

проводился расчет уравнений, осуществлялся подбор кинетических констант по нескольким сериям экспериментов. Затем выполнялся расчет с $X(\tau)$, $Z(\tau)$ по уравнениям (3) с параметрами для значительно большего количества серий экспериментов, с широким интервалом изменения состава исходной смеси, а в ряде случаев, и с изменением условий ведения процесса, т.е. давления и температуры. Результаты расчетов анализировались, в основном, путем сравнения графиков, аналогичных изображенным на рис. 1 и 2. Для дискриминации кинетических моделей использовались расчеты степеней превращения для двух принципиально разных составов исходной смеси: а) смесь CO_2 и H_2 , не содержащая CO или содержащая значительно меньшее ее количество по сравнению с CO_2 (рис. 1); б) смесь, содержащая значительный избыток CO по сравнению с CO_2 (рис. 2).



а)

б)

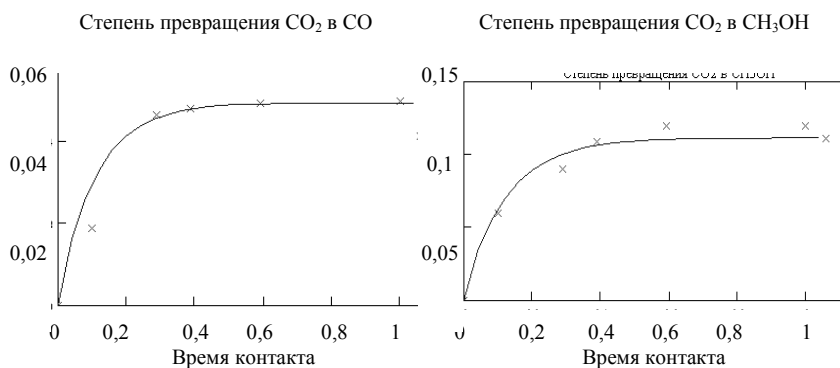
Рис. 1. Зависимость степени превращения CO в CO_2 (а) и CO, CO_2 в CH_3OH (б)

Для этих двух составов кинетические кривые имеют различный вид (см. рис. 1 и 2). Рассматриваемые кинетические модели чувствительны к описанию экспериментальных данных в широком интервале изменения концентраций CO и CO_2 в исходной смеси, так как меняются условия баланса воды в системе. Поэтому наиболее жесткая проверка скоростей реакций W_1 , W_2 происходит при резком изменении соотношения концентраций CO и CO_2 , что и использовалось в наших расчетах.

Нами исследованы около 30 вариантов функций W_1 , W_2 , выявлены несколько зависимостей, качественно описывающих экспериментальные данные. С точки зрения погрешности описания лучшие результаты показывают функции скорости химических реакций.

$$W_1 = \frac{K_1 (p_{\text{CO}} p_{\text{H}_2\text{O}} / K_{P1} - p_{\text{CO}_2} p_{\text{H}_2})}{p_{\text{CO}_2} + b_{\text{H}_2\text{O}} p_{\text{CO}_2} p_{\text{H}_2\text{O}} + b_{\text{H}_2\text{O}} p_{\text{H}_2\text{O}} / b_{\text{CO}_2}},$$

$$W_2 = \frac{K_2 (p_{\text{CO}_2} p_{\text{H}_2} - p_{\text{CH}_3\text{OH}} p_{\text{H}_2\text{O}} / K_{P2})}{p_{\text{CO}_2} + b_{\text{H}_2\text{O}} p_{\text{CO}_2} p_{\text{H}_2\text{O}} + b_{\text{H}_2\text{O}} p_{\text{H}_2\text{O}} / b_{\text{CO}_2}}.$$



а)

б)

Рис. 2. Зависимость степени превращения CO_2 в CO (а) и CO_2 в CH_3OH (б) от времени τ

Подобные исследования, требующие обработки большого массива экспериментальных данных, с частой сменой уравнений в математической модели и необходимостью представления результатов в виде графиков, можно быстро и эффективно проводить с помощью программного пакета Mathcad.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ MATLAB ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ КОРРОЗИИ

Таранцева К. Р., Лысенко К. Н.

Пензенский технологический институт, tkr@pti.ac.ru, lis105@yandex.ru

Исследование массопереноса в электрохимических системах традиционно базируется на анализе комбинированных математических моделей с распределенными координатами, описывающими сопряженные диффузионные, электрические, тепловые и гидродинамические явления и включающих математически обработанные экспериментальные исследования транспортных характеристик рабочих сред.

Питтинговая коррозия металлов является частным случаем таких систем. Для нее разработаны различные модели прогнозирования химических и электрохимических характеристик системы в строго ограниченных геометрических полостях в зависимости от целого ряда параметров: размеров полостей, состава раствора в объеме, скорости движения среды, теплопередачи и пр. При всем своем отличии предложенные модели основаны на одних и тех же фундаментальных уравнениях, описывающих массоперенос различных видов частиц в водных растворах электролитов

$$\eta_s(x) = \frac{RT}{\alpha n F} \ln \frac{i(x)}{i_0}, \quad UVC = \frac{1}{Pe} \nabla^2 C, \quad \frac{\partial^2 E}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E}{\partial y^2} = 0.$$

Граничные и начальные условия зависят от свойств конкретных систем.

Анализ литературы показал, что для решения таких уравнений, с учетом современного уровня развития вычислительной техники, наиболее оптимальным является использование метода конечных элементов. Среди доступных для отечественного пользователя программ MatLab занимает ведущее место. Для решения дифференциальных уравнений в частных производных, в среде математического программирования MatLab есть комплект инструментальных средств PDE Toolbox.

Комплекс PDE Toolbox представляет гибкую оболочку для решения методом конечных элементов уравнений в двумерном пространстве и времени. PDE Toolbox предоставляет следующие возможности: задавать геометрию исследуемых объектов, граничные значения и коэффициенты уравнений; генерацию сетки и дискретизацию уравнений, просчет результатов и их аппроксимацию; визуализацию результатов.

В основу PDE Toolbox заложена следующая зависимость $-\nabla (c\nabla u) + au = f_{in \Omega}$, где c, a, f, u – скалярные, комплексные значения функции определенной по контуру Ω . В частности PDE Toolbox оперирует параболическим уравнением $d\partial U / \partial t - \nabla (c\nabla u) + au = f$, гиперболическим уравнением $d\partial^2 u / \partial t^2 - \nabla (c\nabla u) + au = f$, и собственным уравнением $-\nabla (c\nabla u) + au = \lambda du$.

Весь поиск решений сводится к решению системы уравнений:

$$-\nabla (c_{11}\nabla u_1) - \nabla (c_{12}\nabla u_2) + a_{11}u_1 + a_{12}u_2 = f_1,$$

$$-\nabla (c_{21}\nabla u_1) - \nabla (c_{22}\nabla u_2) + a_{21}u_1 + a_{22}u_2 = f_2.$$

Систему PDE Toolbox, можно использовать для расчета распределения потенциала, концентрации, скорости в рассматриваемой коррозионной системе.

Рассмотрим простейший пример использования PDE Toolbox для расчета распределения потенциала при питтинговой коррозии. Выберем тип решаемых задач – Electrostatics. Создадим геометрическую модель: прямоугольник R1 и круг C1. Формула взаимодействия фигур: R1+C1 (рис. 1).

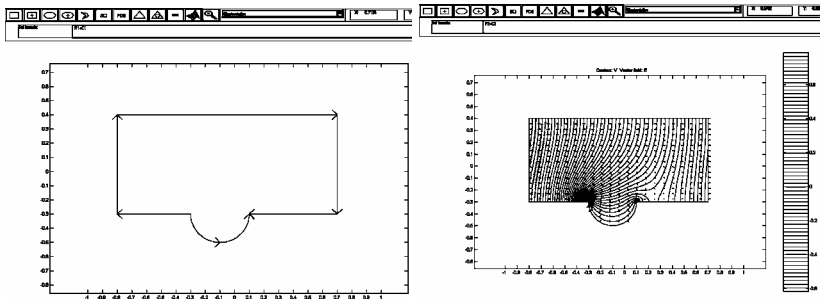


Рис. 1

Рис. 2

Зададим граничные значения системы: левая граница $g = 1, q = 0$; правая $g = -1, q = 0$; верхняя $g = 0, q = 0$; нижняя $g = 0, q = 0$; полуокружность $h = 1, r = -0,5$.

Производим расчет и получаем визуальное отображение распределения потенциала и направление электростатического поля в рассматриваемой системе (рис. 2).

Комплект инструментальных средств PDE Toolbox в среде математического программирования MatLab обладает дружелюбным интерфейсом и предоставляет широкие возможности исследовать явления электрохимической коррозии в зависимости от различных факторов.

СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ ЗЕРНА

Косимов С. С., Юсупов Ф. Ю., Шарипов М. С.

Ургенчский государственный университет РУз, firnafas@mail.ru

Исследуемый дискретно-непрерывный технологический процесс переработки зерна является многоступенчатым процессом с последовательной структурой. Известно, что сложность математической модели производственного процесса определяется количеством структурных элементов и конфигурацией связей между ними.

Формализация исследуемого процесса сводится к построению статистической модели (графа) процесса переработки зерна, а также к определению закона совместного распределения интенсивностей выпуска конечных (промежуточных) продуктов требуемого качества при фиксированных параметрах технологического процесса и интенсивностях использования дискретных технологических режимов.

Для целей текущего управления рассматриваемым объектом достаточно применение модели производственного процесса, в которой количество структурных элементов сводится до минимума. Предлагается методом агрегирования свести множество технологических операций переработки зерна к двум обобщенным операциям – "помол" и "размол".

Граф технологического процесса. Структура технологического процесса переработки зерна формализована в виде ориентированного графа. Представляемый граф технологического процесса содержит вершины преобразования, соответствующие дискретным режимам обобщенных операций, вершины управления материальными потоками и вершины хранения промежуточных и конечных продуктов. Используемый для целей управления агрегированный граф является слабосвязным, бесконтурным и стохастическим в узлах преобразования [1], [2]. Конечным вершинам графа соответствуют результаты технологического процесса – конечные продукты (разновидности муки), невозвратные отходы зерна.

Граф G технологического процесса переработки зерна считается заданным, если известны: подмножество вершин M_i графа, соответствующее множеству I ; подмножество вершин $L_j^{(1)}$ графа, соответствующее множеству J_1 модификаций j ; подмножество вершин $L_j^{(2)}$ графа, соответствующее множеству J_2 модификаций j ; подмножество вершин H_k , соответствующее множеству K ; бинарная матрица – столбец $\eta = \{\eta_i\}$ ($i \in I$) возможных решений для узлов U_i в первой ступени управления процессом. Величины η_i такие, что $\eta_i = 1$, если применение режима i допустимо; $\eta_i = 0$ в противном случае; матрица коэффициентов выхода j -модификации муки из i -й модификации зерна $P = \{p_{ij}\}$ ($i \in I; j \in J_1$); матрица коэффициентов выхода k -го промежуточного продукта (дробленные зерна) при единичной интенсивности использования технологического режима i $P^1 = \{p_{ik}\}$ ($i \in I; k \in K$); матрица коэффициентов выхода конечного продукта j при единичной интенсивности использования режима $rj R = \{r_{ik}\}$ ($k \in K; j \in J_2$). Матери-

альные потоки a_{ij} , b_{ik} и l_j , выходящие из узлов преобразования D_i и W_k могут быть выражены вероятностными зависимостями через потоки (управляющие воздействия на производственный процесс) x_i и z_k , выходящие из узлов управления V_i и W_k . Построение вероятностной модели технологического процесса сводится к определению закона распределения векторов выпуска $a^{(i)} = \{a_{ij}\} (j \in J_1)$, $b^{(1)} = \{b_{ik}\} (k \in K)$ и $l = \{l_j^{(2)}\} (j \in J_2)$ при фиксированном векторе запуска $X = \{x_i\} (i \in I)$ и матрица запуска $Z = \{z_k\} (k \in K)$ и заданных матрицах P, P^1, R технологических параметров.

Из статистической независимости режимов i следует, что рассматриваемый граф G состоит из n_i подграфов G_i . Соответственно каждый подграф G_i состоит из двух подграфов (производственных модулей) $G_i^{(1)}$ и $G_i^{(2)}$ в соответствии с двухступенчатой структурой графа G . Каждый из технологических модулей содержит узлы управления, преобразования и хранения.

Построим математическую модель технологического модуля, предполагая, что решения в узлах управления известны. Пусть для выпуска L модификаций j продукта используется режим i . Вход модуля представим скалярной величиной x_i интенсивностью использования режима i .

Пусть задан вектор $P^{(i)} = \{p_{ij}\}$ параметров технологии p_{ij} , где p_{ij} – коэффициент выхода продукта j при единичной интенсивности режима i . Величины p_{ij} такие, что

$$P_{11} + P_{12} + \dots + P_{11} + P_{21} + P_{22} + \dots + P_{21} + \dots + P_{n1} + P_{n2} + \dots + P_{n1} = 1, 0 \leq P_{n1} \leq 1.$$

Делается допущение о том, что вектор $P^{(i)}$ является случайным с коррелированными между собой непрерывными случайными компонентами p_{ij} .

Выход модуля представим случайным вектором $a^{(i)} = \{a_{ij}\} (j = 1, L)$ где: a_{ij} – выпуск продукта j при интенсивности x_i использования дискретного технологического режима i .

Построение модели модуля сводится к исследованию закона распределения выпуска продуктов при использовании только одного технологического режима.

Задача формулируется следующим образом. По заданной величине x_i и закону распределения векторов $P^{(i)}$ требуется определить: а) закон распределения случайных векторов $a^{(i)}$; б) законы распределения случайных величин a_{ij} ; в) числовые характеристики системы $\{a_{ij}\}, (j = 1, 2, 3, \dots, L)$.

Используя известные теоремы теории вероятностей [2], можно сделать следующее утверждение. При фиксированном X_i – интенсивности технологического режима i , и нормальном законе распределения случайного вектора $p^{(i)}$ – параметров технологии с соответствующим математическим ожиданием и дисперсией, вектор конечных продуктов $a^{(i)}$ аналогично имеет нормальное распределение с математическим ожиданием и дисперсией.

Возвращаясь к исходному графу технологического процесса, делая аналогичные допущения о нормальности распределения случайных векторов $\{p_{ik}\}$ и $\{r_{kj}\}$ и используя результаты утверждения, получаем при заданном векторе X и матрицах p, p^1, R, Z нормально распределенные с соответствующими b^i – вектор промежуточных продуктов; $e^{(i)}$ – вектор конечных продуктов на второй стадии технологического процесса.

1. Галькина Л. С., Бутковский В. А. и др. Техника и технология производства муки на комплектном оборудовании М.: Агропромиздат, 1987.

2. Юсупов Ф. и др. Стохастическая модель производственного процесса первичной... М.: ЦНИИТЭИ-легпром, № 1342, лп – 85 Деп. 1985.

К ПРОБЛЕМЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ АСИНХРОННЫХ МАШИН

Иванов Б. А., Куклин Д. Б., Петраш С. П.

Ухтинский государственный технический университет,

kuklindb@online.ru

В связи с постоянным расширением области применения частотно регулируемого электропривода переменного тока и развитием новых методов управления такими приводами (робастное осторожное управление, синергетическое управление и др.) актуален вопрос об автоматической генерации математических моделей (ММ) асинхронных двигателей (АД). Несмотря на то, что в теории обобщенного электромеханического преобразователя получены уравнения динамики АД [1], их использование для

построения динамических наблюдателей состояния и отработки алгоритмов управления наталкивается на ряд трудностей. Это, прежде всего, отсутствие справочных данных на параметры ММ и недостаточная разработанность методов идентификации систем нелинейных дифференциальных уравнений. В этой связи, авторами разработано программное обеспечение, позволяющее по стандартным каталожным данным формировать нелинейные ММ АД (во вращающейся системе координат, ориентированной по вектору потокосцепления ротора) в виде

$$\dot{x}(t) = A(x)x + Bu(t) + G\vartheta(t). \quad (1)$$

Здесь

$$G = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{J} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T,$$

$$A(x) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{pL_M x_3}{JL_R} \\ 0 & 0 & -\frac{r_R}{L_R} & \frac{r_R L_M}{L_R} & 0 \\ 0 & x_5 & \frac{L_M r_R}{L_R(L_S L_R - L_M^2)} & -\frac{r_R L_M^2 + r_S L_R^2}{L_R(L_S L_R - L_M^2)} & \frac{r_R L_M x_5}{L_R x_3} \\ 0 & -x_4 & -\frac{L_M x_2}{L_S L_R - L_M^2} & -\frac{r_R L_M x_5}{L_R x_3} & -\frac{r_R L_M^2 + r_S L_R^2}{L_R(L_S L_R - L_M^2)} \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \frac{L_R}{L_S L_R - L_M^2} & 0 \\ 0 & \frac{L_R}{L_S L_R - L_M^2} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где, в свою очередь, $x(t) \in R^5$ - вектор фазовых координат, компонентами которого являются: $x_1 = \theta$ - угол поворота вала АД; $x_2 = \omega$ - частота вращения вала АД; $x_3 = \psi_R$ - потокосцепление ротора; $x_4 = i_{SX}, x_5 = i_{SY}$ - проекции тока статора на ось x и y вращающейся системы координат; $u(t) \in R^2$ - вектор управляющих воздействий; $u_1 = u_{SX}, u_2 = u_{SY}$ - проекции напряжения статора на ось x и y вращающейся системы координат; r_S - активное сопротивление статора; r_R - приведенное сопротивление ротора; L_S, L_R, L_M - собственные индуктивности обмоток статора, ротора и их взаимная индуктивность; J - момент инерции ротора. Проекция напряжения статора определяются как $u_{SX} = U_S \cos \gamma, u_{SY} = U_S \sin \gamma$, где $\gamma = \omega_s t - \omega_\psi t$ - угол отставания вектора потокосцепления ротора от поля статора, U_S - амплитуда напряжения статора.

Для нахождения параметров, фигурирующих в (2), использован подход, развитый в [2], и предполагающий решение системы нелинейных алгебраических уравнений, отражающих связь параметров схемы замещения АД с каталожными данными:

$$\left. \begin{aligned} M_{\Pi 1} &= \frac{1}{\eta_H \cos \varphi_H} \left[\operatorname{Re} \left(\frac{1}{Z(s, L_S, L_R, L_M, r_R, r_S)} \right) - I_{\Pi}^2 \cdot r_S \right]; \\ I_{\Pi 1} &= \left[\frac{1}{Z(s, L_S, L_R, L_M, r_R, r_S)} \right]; \\ M_{H1} &= \frac{1}{\eta_H \cos \varphi_H} \left[\operatorname{Re} \left(\frac{1}{Z(s, L_S, L_R, L_M, r_R, r_S)} \right) - I_H^2 \cdot r_S \right]; \\ Q_{H1} &= \operatorname{Im} \left[\frac{1}{Z(s, L_S, L_R, L_M, r_R, r_S)} \right]; \\ M_K &= \frac{1}{\eta_H \cos \varphi_H} \left[\operatorname{Re} \left(\frac{1}{Z(s, L_S, L_R, L_M, r_R, r_S)} \right) - I_K^2 \cdot r_S \right]; \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где $M_{\Pi 1}$ - пусковой момент; M_{H1} - номинальный момент; Q_{H1} - номинальная реактивная мощность; M_K - максимальный момент; η_H - номинальный КПД; I_{Π}, I_H, I_K - токи статора, пусковой, номинальный и максимальный.

Последовательность генерации ММ АД показана на рис. 1.

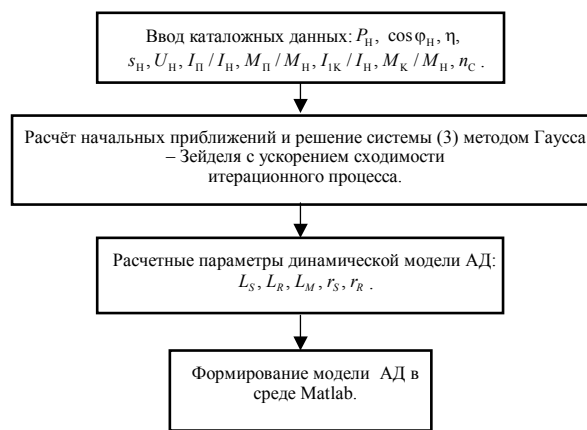


Рис. 1. Последовательность генера- ность генерации ММ АД

Следует отметить, что при решении (3) в ряде случаев проявляется проблема сходимости (в основном при генерации ММ АД большой мощности). Кроме того, следует иметь в виду, что генерируемая ММ адекватна типичному для своей серии ("усредненному") АД. При необходимости более точного описания динамики конкретной машины, следует применять методы параметрической идентификации, используя "усредненную" модель в качестве начального приближения.

1. Копылов И. П. Математическое моделирование электрических машин. М.: Высш. шк., 2001.
2. Гамазин С. И., Ставцев В. А., Цырук С. А. и др... Переходные процессы в системах промышленного электроснабжения... М.: МЭИ, 1997.

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ОДНОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ПЕРВИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Гулямов Ш. М., Верлань А. А., Сагатов М. В.

Ташкентский государственный технический университет, inform@tgut.sarkor.uz

Эффективное функционирование информационно-измерительных систем (ИИС) не представляется возможным без применения компьютерной технологии, измерительной техники и связи. Одним из основных элементов, определяющих алгоритм работы и метрологические характеристики ИИС, является преобразователь входной величины в информационный электрический сигнал. Эффективность проектирования и разработки преобразователей во многом зависят от качества их математических описаний. Это обстоятельство определяет необходимость дальнейшего совершенствования методов математического описания преобразователей и процессов преобразования.

Рассмотрим получение математических описаний преобразователей входных величин в информационные электрические сигналы. В общем случае входная величина описывается n -мерным вектором \vec{A} в пространстве с алгебраическим базисом X . После преобразования измеряемых параметров, связанных функционально с координатами n -мерного вектора \vec{A} , в информационный электрический сигнал осуществляется переход к новому алгебраическому базису Y , в котором n -мерный вектор \vec{A}^* с координатами a_i^* описывает электрический сигнал и является математической моделью векторной величины $\vec{A}^* \in Y$. В дальнейшем будем считать, что между множествами A и A^* существует взаимнооднозначное соответствие.

Как известно [1], оператор F , описывающий переход от алгебраического базиса X к алгебраическому базису Y , является математической моделью преобразователя векторной величины в информационный электрический сигнал, и вызывает поэтому интерес при анализе структурной схемы, поскольку точность оценки и быстродействие системы в основном зависят от этого звена схемы.

Построение модели F может быть осуществлено двумя путями – на основе феноменологического описания преобразователя и составления аналитического выражения (системы уравнений, связывающих a_i, a_i^*, x_i, y_i , матрицы преобразования от X к Y и т.п.) и на основе статистической обработки экспериментальных данных и получения аппроксимированных характеристик преобразователя.

На практике характеристики измерительного преобразователя определяются на основе статистической обработки экспериментальных данных: $a_i, a_i^*, x_i, y_i, i = \overline{1, n}$. При этом постановка эксперимента осуществляется на основе теории планирования эксперимента (в общем случае многоцелевого и многофакторного), а обработка полученных данных производится с помощью теории приближения функции либо применением алгоритма обратного интерполирования [2].

Информацию о векторной величине целесообразно представить в алгебраическом базисе X^* , подобном алгебраическому базису X . При этом использование информации потребителем более эффективно как с точки зрения задачи контроля, так и с точки зрения задачи управления. Действительно, при этом отображаемая информация о контролируемой величине наиболее полно и достоверно ее выражает, а структура звена управления существенно упрощается.

Переход от базиса Y к базису X^* проводится с помощью преобразователя информационного сигнала в выходной сигнал. Процедура перехода сводится к решению системы уравнений описывающей математическую модель преобразователя.

Полученный в результате решения n -мерный вектор A^* сравнивается затем в нормирующем компараторе с эталонным вектором C , также заданным в базисе X^* (при некоторых модификациях структурной схемы эталонная величина может подаваться на другие участки преобразования, при этом, естественно, вектор задается в алгебраическом базисе X или Y). Оператор сравнения J реализует выбранные правила сравнения векторов \vec{A} и \vec{C} и в свою очередь является математической моделью нормирующего компаратора.

Наиболее простым является однопараметрический безинерционный линейный преобразователь. Он характеризуется зависимостями: $Y(t) = kx(t)$, или $\tilde{Y}(i\omega) = k(i\omega)$, где $\tilde{Y}(i\omega)$, $\tilde{x}(i\omega)$ – Фурье изображения сигналов $Y(t)$ и $x(t)$. На входе преобразователя имеем сигнал $x(t) = y(t)/k$, где коэффициент преобразования k идентифицируется по данным $x_i, y_i, i = \overline{1, n}$.

Для однопараметрического безинерционного нелинейного преобразователя уравнение преобразования имеет вид: $Y(t) = f(x(t))$, а сигнал $x(t)$ определяется как решение обратной конечномерной задачи $X(t) = \varphi(y(t))$.

Для решения нелинейных уравнений на практике в основном используется метод, основанный на предварительной линеаризации характеристики преобразования

Однопараметрический инерционный линейный преобразователь может быть описан во временной области интегральным уравнением Фредгольма I рода с ядром $K(t)$ или дифференциальным уравнением

$$Y(t) = \int_0^{\tau} K(t-\tau)x(\tau)d\tau, \quad \sum_{n=1}^N a_n \frac{d^n y(t)}{dt^n} = \sum_{m=1}^M b_m \frac{d^m x(t)}{dt^m}.$$

Интегральное представление является более предпочтительным, так как в этом случае требования к классу функции $K(t)$ менее жестки – требуется лишь их интегрируемость в смысле Лебега, тогда как при описании преобразователя дифференциальным уравнением требуется существование производных до n -го порядка. Кроме того, в случае интегрального представления ядро $K(t)$ имеет четкий физический смысл и может быть более просто интерпретировано при рассмотрении реакции преобразователя на δ -функцию Дирака. Интерпретация коэффициентов дифференциального уравнения более затруднительна.

Нахождение выходного сигнала $Y(t)$ при известных $x(t)$, $0 \leq t < \infty$, ядре $K(t)$ или наборах $a_n, b_m, n = 1, N, m = 1, M$ не вызывает серьезных затруднений. Однако определение входного сигнала $x(t)$ по известному выходу $Y(t)$ связано с некорректностью по Адамару, возникающей при этом обратной задачи, и необходимостью предварительной ее регуляризации, [3].

Характеристику однопараметрического инерционного нелинейного преобразователя во временной области можно представить нелинейным интегральным уравнением Урысона

$$Y(t) = \int_{\tau_n}^{\tau_k} k(x, t, \tau)x(\tau) d\tau.$$

Искать решение этого уравнения в общем виде довольно затруднительно. Математически возможно найти решение $Y(t)$, если ядро интегрального уравнения $K(x, t, \tau)$ является вырожденным, т.е. является произведением двух функций $K_\alpha(t)$ и $\Phi(x(t))$, первая из которых соответствует "инерционной" части преобразователя, а вторая – "нелинейной".

В этом случае уравнение Урысона будет иметь вид уравнения Гаммерштейна

$$Y(t) = \int_{\tau_n}^{\tau_k} k(t - \tau) \Phi(x(t)) x(\tau) d\tau.$$

При введении новой переменной $Z(t) = \Phi(x(t))$, можно использовать методы решения интегрального уравнения Фредгольма I рода [4].

Для определения ядра $K(x, t, \tau)$ необходимо использование нескольких импульсных сигналов $x_{0i}(t, \tau)$ различной амплитуды. Их число зависит от характера нелинейности и требуемой точности аппроксимации характеристики преобразователя.

1. Азизов А. М., Гордов А. Н. Точность измерительных преобразователей. Л.: Энергия, 1975.
2. Гмурман В. Е. Теория вероятности и матем. статистика. М.: Высш. шк., 1999.
3. Тихонов А. Н., Арсенин В. Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1974.
4. Верлань А. Ф., Сизиков В. С. Интегральные уравнения: методы, алгоритмы, программы. Киев: Наукова думка, 1988.

ФОРМИРОВАНИЕ МОДЕЛИ БЛОКА ДОЗАТОРОВ В ТЕРМИНАХ ПРОСТРАНСТВА СОСТОЯНИЙ

Шебуков А. В., Федосенков Б. А.

Кемеровский технологический институт пищевой промышленности

Рассматривается построение модели для блока дозирующих устройств смесеприготовительного агрегата на основе подхода, суть которого заключается в формировании вектора технологических состояний агрегата $X(t)_j$. Расчетная модель блока дозаторов (рис. 1), состоящая из двух ДУ шнекового типа (ШДУ), спирального (СДУ), порционного (ПДУ) и непрерывного (НДУ) дозаторов, рассматривается как векторная динамическая система.

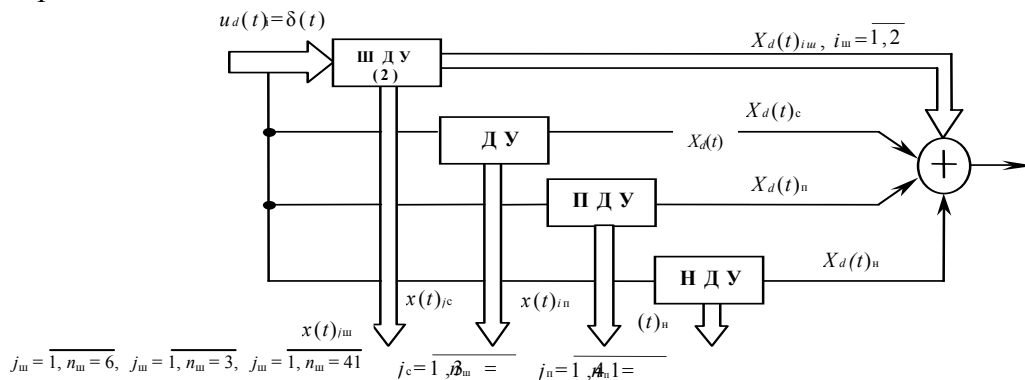


Рис. 1. Блок ДУ в виде структурного фрагмента схемы моделирования смесительного агрегата

На вход системы поступает вектор внешних воздействий в виде набора скалярных типовых сигналов $u_d(t)_i$ – с целью получения на выходе модели реального дозирующего сигнала $X_d(t)$. В альтернативной форме сигнал $X_d(t)$ может быть задан в виде вектора сигналов дозирования, формируемых каждым из дозаторов в отдельности.

По вектору входных воздействий, заданных в виде временных функций, а также векторно-матричному дифференциальному уравнению состояния системы и векторно-матричному алгебраическому уравнению выхода рассчитываются векторы технологических состояний и выходных сигналов анализируемой смесеприготовительной системы:

$$\bar{x}_j(t) = Fx_j(t) + B\bar{u}_i(t), \quad \bar{y}_k(t) = C^T \bar{x}_j(t),$$

Разработанная модель позволяет прогнозировать процессы в блоке дозаторов – при производстве многокомпонентных смесей – при варьировании в широком диапазоне режимно-конструктивных параметров устройств дозирования.

ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДОЗИРОВАНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛОПОТОКА

ФЕДОСЕНКОВ Б. А., НАЗИМОВ А. С.

Кемеровский технологический институт пищевой промышленности

Фрагменты смесеприготовительного агрегата (СМПА) оказывают существенное влияние на степень однородности смесевой композиции (конечного продукта). Задачей нашего исследования являлось выявление влияния режимных параметров многокомпонентного дозирования на формирование материалопотока на предсмесительной стадии с целью гармонизации его структуры.

СОСТАВНЫМИ ЧАСТЯМИ СМПА ЯВЛЯЮТСЯ БЛОК ДОЗИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ (БДУ), СУММИРУЮЩИЙ ЭЛЕМЕНТ БЛОКА ДОЗИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ (СЭБДУ), ПИТАЮЩЕ-ФОРМИРУЮЩИЙ УЗЕЛ (ПФУ) И СМЕСИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ (СНД). В СТРУКТУРНОМ ОТНОШЕНИИ СМПА ПРЕДСТАВЛЯЕТ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ БЛОКОВ СЭБДУ, ПФУ И СНД.

ПОНЯТИЕМ "МУЛЬТИДОЗИРОВАНИЕ" ХАРАКТЕРИЗУЕТСЯ ТАКОЙ РЕЖИМ ФОРМИРОВАНИЯ ДОЗИРУЮЩЕГО ПОТОКА, КОГДА НА ПЕРИОДЕ НЕКОТОРОГО (ОПОРНОГО) НИЗКОЧАСТОТНОГО ПОРЦИОННОГО ДОЗАТОРА ФОРМИРУЕТСЯ НЕСКОЛЬКО РАЗНЕСЕННЫХ ВО ВРЕМЕНИ РАЗНОЧАСТОТНЫХ, (НО С БОЛЕЕ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТОЙ), МАТЕРИАЛОПОТОКОВЫХ СИГНАЛОВ ОТ ДРУГИХ ДОЗИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ КАК НЕПРЕРЫВНЫХ, ТАК И ДИСКРЕТНЫХ.

В качестве коэффициента, характеризующего степень пульсаций некоторого регулярного материалопотока, выбран показатель

$$K_{ppdi} = 1 - \left(\int_0^{NT_{dp1}} X_{dpi}(t) dt \right) / \left(N \int_0^{T_{dp1}} X_{s \max i} dt \right); \quad i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где $X_{s \max i}$ – максимум флуктуаций выходного материалопотока i -го дозатора.

Сглаживание материалопотоковых пульсаций осуществляется суммирующим элементом и цепочкой "ПФУ-СНД" соответственно

$$K_{sd} = K_{ppdi}^{\max} / K_{ppdu}; \quad K_{sm} = K_{ppdu} / K_{pm}, \quad (2)$$

где K_{ppdi}^{\max} , K_{ppdu} , K_{pm} -коэффициенты пульсаций: максимальный для отдельного ПДУ, на выходе СЭБДУ и смесительного устройства.

С целью выявления наилучших по пульсациям режимов мультидозирования проведена оценка дозирования ингредиентов блоком из двух ПДУ при следующих параметрах характеризующих

$$kT_{dp2} - \tau_{dp2} < \tau_{0dp2} < kT_{dp2} + \tau_{dp1}; \quad k = \overline{1, N-1};$$

$$K_{ppdu} = 1 - \frac{X_{mdp1} \tau_{dp1} + NX_{mdp2} \tau_{dp2}}{X_{mdp1} T_{dp1}}$$

на интервале: $kT_{dp2} + \tau_{dp1} \leq \tau_{0dp2} \leq (k+1)T_{dp2} - \tau_{dp2}$; материалопотоковый сигнал: $\tau_{0dp2} = 0,5\tau_{dp1}$; $T_{dp2} = 0,5T_{dp1}$; $\tau_{dp2} = \tau_{dp1}$; $\lambda_{dp1} = 4$; $\lambda_{dp2} = 2$; $X_{mdp2} = 0,5X_{mdp1}$. Здесь: X_{mdp1} ; τ_{dp1} ; T_{dp1} , τ_{0dp1} - параметры рабочего режима высо-

кочастотного ПДУ. $K_{ppdu} = \text{const}$ при $\tau_{0dp2} = 0..T_{dp1}$, если $\tau_{dp1} > T_{dp2} - \tau_{dp2}$, $K_{ppdu} = 1 - \frac{X_{mdp1} \tau_{dp1} + N \cdot X_{mdp2} \tau_{dp2}}{(X_{mdp1} + X_{mdp2}) T_{dp1}}$ на интервале $[0; T_{dp1}]$ $K_{ppdu} \neq \text{const}$ при $\tau_{0dp2} = 0..T_{dp1}$, если $\tau_{dp1} \leq T_{dp2} - \tau_{dp2}$

$$K_{ppdu} = 1 - \frac{X_{mdp1} \tau_{dp1} + NX_{mdp2} \tau_{dp2}}{(X_{mdp1} + X_{mdp2}) T_{dp1}}$$

на интервале: $kT_{dp2} - k\tau_{dp2} \leq \tau_{0dp2} < kT_{dp2} + \tau_{dp1}$; $k = 0, \overline{k = 0, N-1}$, где k – порядковый номер импульса второго ПДУ на периоде опорного дозатора T_{dp1} ; $k = 0, \overline{N-1}$; $N = T_{dp1} / T_{dp2}$.

Соответствующие зависимости получены и для других параметров. Таким образом, имея информацию о пульсациях и сглаживаниях материальных потоков ингредиентов и композиций в различных технологических точках агрегата, можно формировать оптимальным образом мультидозу, обеспечивающую минимум пульсаций в потоке, с целью организации наилучшей с точки зрения качества получаемой конечной смеси структуры материалопотока на предсмесительной стадии.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ КАНАЛОВ НАПРАВЛЕННОГО ДЕЙСТВИЯ НА КАЧЕСТВО ПРИГОТОВЛЯЕМОЙ СМЕСИ

НАЗИМОВ А. С., ФЕДОСЕНКОВ Б. А.

Кемеровский технологический институт пищевой промышленности

С целью получения высококачественных смесей необходима гармонизация входных материалопотоков от дозирующих устройств.

С этой целью нами проведено исследование системы, включающей в себя порционный дозатор (ПДУ) и дозаторы непрерывного типа (ДУ), питающе-формирующий узел (ПФУ) и смесительное устройство непрерывного действия, в состав которого входят канал опережения (F -канал) и два канала рециркуляции материалопотока ($R1$ -локальный, охватывающий только смеситель; и $R2$ – глобальный, охватывающий ПФУ и смеситель). Реализация F -канала осуществлялась при помощи перепускных окон в так называемых конусах (активных элементах смесителя), а величина отбора потока в канал определялась соответствующим диафрагмированием окон.

Использовалась модель смесителя с апериодическими характеристиками (коэффициент демпфирования $\xi = 1,19$). Параметры каналов варьировались в следующих диапазонах: F -канал ($\kappa_1 = 0,1 \dots 0,3$), $R1$ -канал ($\kappa_2 = 0,1 \dots 0,9$) и $R2$ -канал ($\kappa_3 = 0,1 \dots 0,5$).

Анализ системы показал, что влияние F -канала на основной материалопоток выражается в появлении флуктуаций потока на выходе из смесителя как в течение переходного, так и в установившемся режимах, при этом амплитуда колебаний возрастает с увеличением коэффициента передачи канала. Рецикл-каналы $R1$ и $R2$ оказывают одинаковое влияние на работу системы, увеличивая, в конечном счете, длительность приготовления смеси. Флуктуации выходного потока из смесителя замечены не были, что объясняется сглаживанием смесителем входных воздействий от дозатора на рабочих частотах дозирования.

Сглаживающая способность смесителя зависит от значений его постоянных времени. Для количественной оценки сглаживания флуктуаций дозирующего потока введен безразмерный показатель сглаживания, зависящий от относительной амплитуды расхода материала на выходе из смесителя на частоте дозирования. Показатель сглаживания растет с увеличением постоянной времени, определяющей демпфирование, и падает при увеличении постоянной, формирующей осциллятивные свойства смесителя.

При наличии на входе смесителя сигнала от ПДУ, работающего в трех режимах формирования дозы (трапецеидальной, треугольной и прямоугольной) период формирования импульса, который изменялся в диапазоне 2 ... 125 с, отмечена хорошая (относительно требований технологического регламента) фильтрация сигналов на рабочих частотах дозирования, что положительно сказывается на качестве готовых смесей.

ВЭЙВЛЕТ УПРАВЛЕНИЕ В СРЕДЕ СМЕСЕПРИГОТОВИТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА ФЕДОСЕНКОВ Б. А., НАЗИМОВ А. С., ШЕБУКОВ А. В.

Кемеровский технологический институт пищевой промышленности

Рассматриваются вопросы управления смесеприготовительным агрегатом на базе всплескового преобразования, в частности, с использованием алгоритма вэйвлет-поиска соответствия. Практическая реализация данного алгоритма осуществляется посредством разработанного нами мониторингового комплекса.

Отметим, что реальные процессы смешивания на сигнальном уровне представляют собой нестационарные процессы с изменяющейся во времени частотой. Частота сигнала мгновенного расхода материалов в различных точках смесительного агрегата является при этом времязависимым параметром, причем, интенсивность и форма ее варьирования определяются рядом режимно-конструктивных показателей, характеризующих функционирование составных узлов агрегата (дозаторного блока, питающе-формирующей системы и смесительного устройства).

Вэйвлет-преобразование на основе алгоритма поиска соответствия основано на выборе базисных вэйвлет-функций, наилучшим образом соответствующих анализируемым сигналам, из специализированных баз данных в виде частотно-временных тезаурусов. В соответствии с этим алгоритмом, на основе базисной функции $\Psi(t, s, \tau, \zeta)$ генерируется семейство вэйвлет-функций путем ее масштабирования (s), перевода (τ) и модуляции (ζ). Полученное семейство представляет собой функции в виде частотно-временных атомов. Результатом работы такого алгоритма является возможность высокой частотно-временной локализации анализируемых сигналов. Иными словами, такие базисные функции-атомы отражают многочисленные комбинации значений размеров временных и частотных анализирующих окон, в результате чего формируется избыточный набор атомов. После задания атомарных функций рассчитывается наилучшее соответствие между ними и осциллограммой исследуемого сигнала путем их отображения на изучаемый процесс $x(t)$.

В условиях автоматизированного агрегата, метод поиска соответствия представляет собой перестройку оптимального режима блока дозирующих устройств и каналов направленной организации материалопотока (каналы рецикла и опережения). При этом непрерывно во времени производится пересчет время-частотной карты (карты Вигнера) смесеприготовительного процесса и, в соответствии с ней, вносятся коррективы, выражающиеся в задании стартовых условий синхронизации и синфазных параметров дозаторов в составе блока дозаторов. Дело в том, что с течением времени амплитудно-частотные параметры дозатора меняются, причем, довольно быстро. Так, например, возникновение видимой "разбежки" в дозирующих сигналах обычно происходит уже через 2-3 мин работы блока дозаторов; к тому же, "уход" рабочего режима дозатора от номинального происходит вследствие объемного способа дозирования. Поэтому возникает необходимость посредством импульсов сброса со стороны мониторингового комплекса периодически устанавливать начальные (номинальные) условия во избежание возникновения неблагоприятных условий для перемешивания. Неблагоприятные условия могут исказить определенные специфические режимы дозирования – отсутствие биений потоков, асинфазно-синхронная работа дозаторов и др.

Подобное исследование проведено для учета влияния сложных мультидоз от иных режимов дозирования, а также состояния каналов направленной организации материалопотоков на характер работы смесеприготовительного агрегата (СМПА). При этом выявлено влияние воздействия каналов рециркуляции и опережения, по которым материалопоток передается либо с выхода СМПА на вход, либо на вход питателя.

Исследования показали, что эффективное управление агрегатом возможно при возникновении "разбежки" вектора параметров в диапазоне от 10 ... 15 % и более по каждому из параметров: коэффициенту рецикла по i -му каналу, коэффициенту передачи по каналу опережения, постоянным времени по этим каналам плюс комплексу параметров блока дозаторов и питающего устройства смесительного агрегата.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ УПРАВЛЯЕМЫХ
ВЕНТИЛЬНО-ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ
Прошин И. А., Прошин Д. И., Прошин А. И., Усманов В. В.
Пензенский технологический институт, dimnat@pti.ac.ru

Как показывает анализ, в основе всех известных методов исследования систем управления техническими объектами (ТО) с вентильными преобразователями (ВП), лежит единая концепция, основанная на представлении механизма преобразования электрической энергии как процесса последовательного подключения к выходу каждой фазы ВП на заданный интервал времени отдельных фаз

входного напряжения. Выходное напряжение при этом рассматривается как сумма произведений переключающих функций, моделирующих каждый ключевой элемент ВП, на напряжение соответствующей фазы [1].

Суть предлагаемой концепции [2] состоит в представлении механизма преобразования электрической энергии в виде процесса дискретного переключения фазы единственного гармонического колебания. Выходное напряжение каждой фазы ВП при этом рассматривается как единственное гармоническое колебание с дискретно управляемой начальной фазой. Дискретность изменения фазы $\Delta\phi$ определяется количеством фаз входного напряжения m , участвующих в формировании каждой фазы выходного напряжения и вычисляется так $\Delta\phi = 2\pi/m$. Процедура преобразования электрической энергии n -фазного ВП при раздельном управлении может быть задана в матричной форме следующей системой уравнений:

$$\begin{bmatrix} U_1(\omega_2 t) \\ U_2(\omega_2 t) \\ \dots \\ U_p(\omega_2 t) \\ \dots \\ U_n(\omega_2 t) \end{bmatrix} = U_m \begin{bmatrix} h_{11}^1[t] & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & h_{22}^1[t] & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & h_{pp}^1[t] & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & h_{mm}^1[t] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sin(\omega_1 t + h_1^2[t] \Delta\phi) \\ \sin(\omega_1 t + h_2^2[t] \Delta\phi) \\ \dots \\ \sin(\omega_1 t + h_g^2[t] \Delta\phi) \\ \dots \\ \sin(\omega_1 t + h_m^2[t] \Delta\phi) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где ω_1, ω_2 – входная и выходная круговые частоты ВП; $U_p(\omega_2 t)$ – выходное напряжение на p -й фазе преобразователя; m, U_m – число входных фаз и амплитуда входного напряжения ВП; t – время; $h[t]$ – переключающая функция; ϕ – начальная фаза входного напряжения.

Общность подхода к механизму преобразования электрической энергии на основе предложенной концепции определяется двумя следующими обстоятельствами: появляется возможность моделирования широкого класса объектов на основе единого математического описания постоянной структуры; в частности концепция охватывает все существующие вентильные преобразователи: непосредственные преобразователи электрической энергии, преобразователи со звеном постоянного или переменного тока (тиристорные коммутаторы, регуляторы напряжения, активной и реактивной мощности и др. Предложенный подход применим на всех этапах создания систем ВП – ТО, включая решение всего комплекса задач связанных с построением моделей как ВП, так и систем на их основе, разработкой алгоритмов и программ моделирования таких систем, задания законов управления ВП и т.д.

Наибольшее применение вентильные преобразователи находят для управления в вентильно-электромеханических системах (ВЭМС). На основе предложенного подхода и математической модели ВП нами разработаны модели управляемых ВЭМС с машинами постоянного тока, с асинхронными (АД) и синхронными двигателями, позволяющие моделировать все возможные режимы управления произвольных ВЭМС на основе простейшей системы. В качестве примера рассмотрим ММ системы "ВП – АД" [3]. Математическая модель такой системы построена на основе ММ "тиристорный коммутатор – асинхронный двигатель", имеющей минимально возможную структуру.

В естественной трехфазной системе координат напряжения статора и ротора АД с ВП определяются уравнениями:

$$[U_1] = R_1 [i_1] + \frac{d}{dt} [\psi_1], \quad [U_2] = R_2 [i_2] + \frac{d}{dt} [\psi_2], \quad (2)$$

где векторы напряжений

$$[U_1] = \begin{bmatrix} U_{1a} \\ U_{1b} \\ U_{1c} \end{bmatrix} = U_m \begin{bmatrix} h_{1a}^1[t] & 0 & 0 \\ 0 & h_{1b}^1[t] & 0 \\ 0 & 0 & h_{1c}^1[t] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sin(\omega_1 t + h_{1a}^2[t] \Delta\phi) \\ \sin(\omega_1 t + h_{1b}^2[t] \Delta\phi) \\ \sin(\omega_1 t + h_{1c}^2[t] \Delta\phi) \end{bmatrix}; \quad (3)$$

$$[U_2] = \begin{bmatrix} U_{2a} \\ U_{2b} \\ U_{2c} \end{bmatrix} = U_m \begin{bmatrix} h_{2a}^1[t] & 0 & 0 \\ 0 & h_{2b}^1[t] & 0 \\ 0 & 0 & h_{2c}^1[t] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sin(\omega_1 t + h_{2a}^2[t] \Delta\phi) \\ \sin(\omega_1 t + h_{2b}^2[t] \Delta\phi) \\ \sin(\omega_1 t + h_{2c}^2[t] \Delta\phi) \end{bmatrix}; \quad (4)$$

и векторы токов и потокосцеплений

$$[i_1] = \begin{bmatrix} i_{1a} \\ i_{1b} \\ i_{1c} \end{bmatrix}; [\psi_1] = \begin{bmatrix} \psi_{1a} \\ \psi_{1b} \\ \psi_{1c} \end{bmatrix}; [i_2] = \begin{bmatrix} i_{2a} \\ i_{2b} \\ i_{2c} \end{bmatrix}; [\psi_2] = \begin{bmatrix} \psi_{2a} \\ \psi_{2b} \\ \psi_{2c} \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Выходное напряжение ВП при произвольной структуре и алгоритме управления может быть описано одним выражением (1), частным случаем которого является математическое описание тиристорного коммутатора, имеющего одинаковую структуру переключающей матрицы амплитуды с любым другим ВП при одинаковом количестве фаз выходного напряжения. Отличие ММ тиристорного коммутатора от модели НПЭ с формированием каждой фазы выходного напряжения из нескольких фаз входного состоит только в описании вектора гармонического колебания, который определяет в соответствии с законом управления переключающих функций фазы фазовое положение входных напряжений, действующих в каждой фазе выходного напряжения в каждый данный момент, и не влияет на структуру ММ.

При представлении математической модели электромеханических преобразователей (ЭМП) в двухфазной системе координат напряжения, синтезируемые ВП, также должны быть преобразованы к общей системе координат. При включении ВП в статорные обмотки трехфазного ЭМП напряжения на его выходе в двухфазной системе координат α, β определяются выражениями:

$$\begin{bmatrix} U_{1\alpha} \\ U_{1\beta} \end{bmatrix} = U_m \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{3}} & -\frac{1}{\sqrt{3}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{1a}^1[t] & 0 & 0 \\ 0 & h_{1b}^1[t] & 0 \\ 0 & 0 & h_{1c}^1[t] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sin(\omega_0 t - h_A^2[t]\Delta\phi) \\ \sin(\omega_0 t - h_B^2[t]\Delta\phi) \\ \sin(\omega_0 t - h_C^2[t]\Delta\phi) \end{bmatrix} \quad (6)$$

Значительное упрощение системы уравнений для двухфазного режима достигается применением метода колеблющихся координат путем совмещения обесточенной фазы с осью α . Такое совмещение осуществляется поворотом координатных осей в дискретные моменты времени на угол $\pm 2\pi/3$. Для перехода от одной двухфазной системы к другой введем оператор поворота w , принимающий значение равное $+1$ при повороте на $2\pi/3$ и -1 при повороте на $4\pi/3$. Тогда значения переменных x'_α, x'_β в новой системе координат могут быть вычислены на основе формул:

$$\begin{bmatrix} x'_\alpha \\ x'_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,5 & -w\sqrt{3}/2 \\ w\sqrt{3}/2 & -0,5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_\alpha \\ x_\beta \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Следовательно, для математического описания управляемой ВЭМС с произвольным ВП в соответствии с предложенным подходом в ММ достаточно использовать всего три структуры уравнений [3].

На основе предложенных моделей разработаны компьютерные программы и проведены исследования квазичастотного, векторно-импульсного и фазоимпульсного способов управления, частотного управления АД с однократной и многократной модуляцией. Разработаны и внедрены в промышленность системы управления роликотопорами, центрифугой, пневмомеханической и ленточной текстильными машинами, акустической установкой и др.

1. Джюджи Л., Пелли Б. Силовые полупроводниковые преобразователи частоты. М.: Энергоатомиздат, 1983.
2. Прошин И. А. Теоретические основы моделирования управляемых вентильно-электромеханических систем... // Информац. технологии в проектиров. и произв. № 4. 2000.
3. Прошин И. А., Прошин А. И., Мещеряков А. С. Математическая модель асинхронного двигателя // Наука производству. № 4. 1998.

СИНТЕЗ УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В СИСТЕМАХ С НЕПОСРЕДСТВЕННЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Прошин И. А.

Пензенский технологический институт, dimnat@pti.ac.ru

Непосредственный преобразователь электрической энергии (НПЭ) – многофункциональное устройство, рассматриваемый в данной работе как: управляемый преобразователь параметров электроэнергии; управляемый элемент вентильно-электромеханической системы (ВЭМС); объект управления. НПЭ как

управляемый преобразователь параметров электроэнергии (напряжение, ток, частота, фаза, количество фаз) представлен как устройство, которое под действием управляющих воздействий осуществляет энергетическую взаимосвязь различных систем электрического тока с техническим объектом. НПЭ как управляемый элемент ВЭМС представлен в виде устройства, обеспечивающего функциональное единство отдельных блоков мехатронного модуля. Наконец, НПЭ как объект управления представлен дискретным нелинейным устройством с управляемыми выходными координатами (напряжением, током, частотой, фазой) и управляющими воздействиями в виде двух систем переключающих функций, которое формирует алгоритмы управления, обеспечивающие наиболее эффективное взаимодействие разнородных частей ВЭМС.

Фаза входного напряжения НПЭ изменяется дискретно с дискретностью $\Delta\varphi$. Зададим гармоническое колебание с дискретно управляемой начальной фазой φ_g в виде

$$h_{pp}^1[t] \sin(\omega_1 t + h_g^2[t] \varphi_g) = \sum_{g=1}^m h_{pg}[t] \sin(\omega_1 t + \varphi_g). \quad (1)$$

Математическая модель НПЭ с учетом (1) имеет вид

$$[U(\omega_2 t)] = U_m [H^1[t]] [\sin(\omega_1 t + H_i^2[t] \Delta\varphi)], \quad (2)$$

где ω_1, ω_2 – входная и выходная круговые частоты НПЭ; $U_p(\omega_2 t)$ – выходное напряжение на p -й фазе преобразователя; m, U_m – число входных фаз и амплитуда входного напряжения НПЭ; t – время; $h[t]$ – переключающая функция; φ – начальная фаза входного напряжения.

Несмотря на большое многообразие методов преобразования параметров электрической энергии и конструктивные отличия НПЭ, все они в соответствии с [1] сведется к одной структурной схеме, включающей в себя два последовательно соединенных блока: преобразователь числа фаз (ПЧФ) и модулятор, которые питаются от источника первичного напряжения, и выход которых подключен к управляемому техническому объекту. Модулятор имеет постоянную структуру, соответствующую минимальному числу состояний, которое определяется с помощью диагональной переключающей матрицы $[H^1(t)]$ размерности $n \times n$, где n – число выходных фаз. В соответствии с предложенной концепцией законы управления преобразователя числа фаз НПЭ задаются системой из n многоступенчатых переключающих функций фазы $H_j^2(t)$ при $j = \overline{1, n}$, что обеспечивает сокращение объема управляющих сигналов в НПЭ до минимума, равного количеству выходных фаз n .

Таким образом, все возможные способы управления НПЭ задаются коммутационными или переключающими функциями

$$h^1[t] = \sum_{i=0}^l N_i [1(t_i) - 1(t_{i+1})] \quad \text{и} \quad h^2[t] = \sum_{i=0}^l n_i [1(t_i) - 1(t_{i+1})], \quad (3), (4)$$

где $l = 2k_f \pi / \Delta - 1 = k_f m - 1$; N_i – коэффициент, зависящий от соотношения амплитуд различных полувольт выходного напряжения; n_i – коэффициент, определяющий фазовое положение полувольты входного напряжения в выходном напряжении; $k_f = \omega_1 / \omega_2$ – коэффициент преобразования частоты; $1(t_i)$ – единичная ступенчатая функция.

Синтез управляющих воздействий состоит в формировании режимов управления НПЭ заданием изменения во времени двух переключающих функций. Первая переключающая функция определяет фазовое положение полувольты входного синусоидального напряжения на полупериоде выходного. Назовем ее переключающей функцией фазы. Она принимает целые значения в диапазоне от 0 до $m - 1$, где m – эквивалентное (приведенное) количество фаз входного напряжения, участвующих в формировании одной фазы выходного напряжения, а вторая – соответствует коэффициенту преобразования амплитуды. Назовем ее переключающей функцией амплитуды.

Изменение $H_j^2(t)$ при управлении и моделировании систем с НПЭ, выполненных на полностью управляемых элементах, позволяет задавать и исследовать режимы преобразования напряжения, частоты, количества фаз, фазового угла и управления реактивной мощностью, потребляемой или генерируемой НПЭ при формировании выходного напряжения НПЭ любым способом.

С помощью задания переключающих функций $H_i^1(t)$ и $H_j^2(t)$ обеспечивается моделирование всех возможных способов регулирования выходного напряжения НПЭ (широтно-импульсное регулирование (ШИР), широтно-импульсная модуляция (ШИМ), и т.д.).

Задание переключающих функций $H_j^2(t)$ для НПЭ с однократной модуляцией определяется его характерной особенностью, состоящей в постоянстве шага переключения тиристорov НПЭ. Моделирование таких систем обеспечивается заданием цикла переключения и количества фаз входного напряжения, участвующих в формировании каждой фазы выходного напряжения.

Задача управления фазой входного тока НПЭ при произвольной фазе выходного тока состоит в синтезе управляющих воздействий в виде переключающих функций, обеспечивающих заданное положение интервалов проводимости относительно кривой выходного тока.

Нулевой фазовый сдвиг на входе НПЭ может быть получен при симметричном расположении участков положительного и отрицательного типов относительно отрицательных и положительных полуволн выходного тока, когда опережающие и отстающие фазовые углы на отдельных участках кривой компенсируются.

Анализ результатов моделирования НПЭ с выходным напряжением смешанного типа, один полупериод которого формируется по кривой положительного типа, а второй – по кривой отрицательного типа, показывает, что такие НПЭ позволяют получать на входе как отстающий, так и опережающий фазовый сдвиг.

Выходное напряжение НПЭ с однократной модуляцией формируется таким образом, что входной фазовый угол всегда противоположен углу нагрузки. Управляющие воздействия в этом случае обеспечивают инверсию фазы выходного напряжения НПЭ.

Вышеизложенное приводит к выводу о возможности формирования с помощью переключающих функций регулируемого сдвига фаз на входе преобразователя при любом характере нагрузки. Результаты моделирования различных НПЭ подтверждают это положение.

Таким образом, как следует из анализа результатов моделирования НПЭ, управление с помощью переключающих функций фазы $H^2[t]$ положением участков кривой выходного напряжения положительного и отрицательного типов относительно кривой выходного тока обеспечивает управление углом сдвига фаз на входе в диапазоне от $-\pi/2$ до $\pi/2$, а следовательно и управление потоком реактивной мощности на входе НПЭ независимо от реактивной составляющей мощности на выходе.

Управление выходным напряжением НПЭ также определяется законами изменения переключающих функций амплитуды $H^1[t]$ и фазы $H^2[t]$. Применительно к НПЭ с искусственной коммутацией принцип ШИМ состоит в периодическом подключении с частотой $f = 1/T$ к управляемому техническому объекту на активный интервал времени T_a входного напряжения заданной фазы, и в периодическом отключении на время пассивного интервала $T_{\text{п}} = T - T_a$ технического объекта (однополярная ШИМ) или подключении к техническому объекту входного напряжения обратной полярности (двухполярная ШИМ). В течение пассивного интервала при однополярной ШИМ обеспечивается обходной путь для выходного тока.

Сущность двухфазного принципа ШИМ состоит в управлении выходным напряжением НПЭ путем подключения к выходу НПЭ на время $T_{\text{п}}$ другого входа. Это обеспечивается выполнением опережающих шагов, т.е. перед каждым активным интервалом внутри каждого периода дискретности к выходу НПЭ подключается входная фаза, используемая в течение активного интервала на следующем периоде дискретности. Учитывая, что напряжение обратной полярности может рассматриваться как синусоидальное напряжение, сдвинутое по фазе на π , то двухполярная ШИМ по сути является частным случаем двухфазной ШИМ. Управляя относительной продолжительностью активных и пассивных интервалов в пределах периода T несущей частоты, можно непрерывно изменять выходное напряжение НПЭ от максимального значения до нуля независимо от входной частоты.

Математическая модель выходного напряжения с ШИМ на основе предложенного подхода описывается тем же выражением (3). При этом изменяется закон управления переключающей функции фазы.

$$h^2 [t] = i \left[(t_k^i) - 1(t_{k+1}^i) \right]_{i \in [0, m-1]} \cdot \quad (4)$$

Управление величиной выходного напряжения на основе однополярной ШИМ обеспечивается формированием переключающей функции амплитуды в соответствии с выражением

$$h^1[t] = \left[\left(t_k^i + T_{\Pi}^i \right) - 1 \left(t_{k+1}^i \right) \right]_{i \in [0, m-1]} \cdot \quad (5)$$

При управлении выходным напряжением НПЭ на основе двухфазной ШИМ переключающая функция амплитуды равна единице, α -фазы задается выражением

$$h^2[t] = (i+1) \left[\left(t_k^i \right) - 1 \left(t_k^i + T_{\Pi}^i \right) \right] + i \left[\left(t_k^i + T_{\Pi}^i \right) - 1 \left(t_{k+1}^i \right) \right]_{i \in [0, m-1]} \cdot \quad (6)$$

Начальные значения переключающих функций фазы $i = h^2[0]$ определяют фазовое положение отдельных участков входных напряжений отдельных фаз в каждой фазе выходного напряжения, а следовательно, и фазовое положение основной составляющей выходного напряжения.

Результаты моделирования НПЭ с однократной модуляцией при использовании для регулирования напряжения НПЭ однополярной и двухфазной ШИМ для $m=3$ и $m=6$, показывают, что при однополярной ШИМ во время пассивного интервала переключающая функция $h^1[t]$ равна нулю, для активного интервала – принимает значение равное единице (5). Значение переключающей функции фазы определяется номером участка (4). Переключающая функция фазы на пассивном интервале при двухфазной ШИМ принимает на единицу большее значение, чем на активном интервале (6). Этим обеспечивается опережающее подключение на время пассивного интервала входной фазы, включаемой на активном интервале следующего цикла. Значения пассивного и активного интервалов задаются числами n_{Π} и n_a , цикла – параметром n_1 .

Сравнение применения традиционного и предложенного математического описания НПЭ при синтезе управляющих сигналов показывает на высокую эффективность предложенной модели. Действительно, при формировании управляющих воздействий по предложенной ММ, независимо от количества фаз входного напряжения НПЭ, используется всегда один управляющий сигнал, соответствующий переключающей функции фазы, по которому и формируются управляющие воздействия на ПЭ, в то время как формирование управляющих сигналов на основе традиционной модели приводит к необходимости синтеза при $m=3$ девяти дополнительных импульсных последовательностей, а при $m=6$ – восемнадцати.

1. Прошин И. А. Теоретические основы моделирования управляемых вентильно-электромеханических систем // Информационные технологии в проектировании и производстве. № 4. 2000.

Программа моделирования электропривода
постоянного тока с произвольно
задаваемым регулятором
Костенич В. В.

Ростовская-на-Дону государственная академия сельскохозяйственного машиностроения

Для имитационного моделирования электропривода нами создан программный модуль со следующими возможностями: моделирование двигателя постоянного тока с различными собственными параметрами; моделирование электропривода с произвольно заданным регулятором и различными отрицательными обратными связями; построение графиков переходных процессов и фазовых портретов; конфигурирование отображаемой информации для анализа, масштабирование, детализация, поддержка сравнения результатов; сохранение полученных данных для обмена с другими приложениями.

Программный продукт представлен в виде исполняемого модуля `privod.exe`, работает в среде операционной системы Windows 32-bit, обладая характерным для такого приложения графическим интерфейсом. Благодаря тому, что математическая модель привода заложена в модуль вычисления, работа с программой не требует ее программирования. Изменение модели осуществляется заданием численных параметров и аналитических выражений.

Моделирование двигателя постоянного тока осуществляется полной системой дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned} \dot{\phi} &= \omega; & \dot{\omega} &= (cF(i_B)i_z - M_c) / J; \\ \dot{i}_я &= (U_я - i_z R_я - cF(i_B)\omega) / L_я; & \dot{i}_B &= (U_B - i_B R_B) / L_B, \end{aligned}$$

где φ – угол поворота вала; ω – его скорость; J – момент инерции ротора; c – постоянная двигателя; F – магнитный поток; $i_{\text{я}}$ и $i_{\text{в}}$ – токи якоря и возбуждения; $M_{\text{с}}$ – момент сопротивления; $L_{\text{я}}$ и $L_{\text{в}}$ – индуктивности цепей якоря и возбуждения; $U_{\text{я}}$ и $U_{\text{в}}$ – напряжения питания этих цепей; $R_{\text{я}}$ и $R_{\text{в}}$ – их активные сопротивления.

ДИНАМИЧЕСКИЙ НАБЛЮДАТЕЛЬ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ВОССТАНОВЛЕНИЕМ НЕКОНТРОЛИРУЕМОГО ВОЗМУЩЕНИЯ

Куклин Д. Б.

Ухтинский государственный технический университет,

kuklindb@online.ru

Для совершенствования системы управления электроприводом постоянного тока в ее состав введен динамический наблюдатель состояния Калмана формирующий оценку координаты тока якорной цепи. Проведено имитационное моделирование динамических режимов работы такой системы, показавшее эффективность использования наблюдателя вместо инерционного и дорогостоящего датчика тока.

Объект управления (ОУ) – двигатель постоянного тока в пространстве состояний описывается системой дифференциальных уравнений в матричной форме:

$$\dot{x} = Ax + Bx + F_{\text{в}}\lambda; \quad y = Cx, \quad (1)$$

где A , B , C , $F_{\text{в}}$ – соответственно матрицы: системная (2×2), входная (2×1), наблюдения (1×2) и возмущения (2×1); (в скобках указаны размерности матриц).

В скалярной форме система (1) имеет вид:

$$\dot{x}_1 = a_{11}x_1 + b_1u; \quad \dot{x}_2 = a_{12}x_1 + f_{B2}\lambda; \quad y = x_2.$$

где x_1 – ток якорной цепи, x_2 – угловая частота вращения вала двигателя, u – управляющее воздействие (напряжение якоря), λ – возмущающее воздействие (момент сопротивления), a_{11} , a_{12} , b_1 , f_{B2} – соответственно коэффициенты матриц A , B , C , $F_{\text{в}}$, рассчитываемые по формулам: $a_{11} = -1/T_{\text{яц}}$, $a_{12} = c/J$, $b_1 = 1/(T_{\text{яц}}R_{\text{яц}})$, $f_{B2} = cK$, где $T_{\text{яц}}$ – постоянная времени двигателя, $R_{\text{яц}}$ – сопротивление якорной цепи, c – конструктивная постоянная двигателя, K – коэффициент масштабирования возмущения, J – момент инерции ротора.

Для более качественного наблюдения переменных состояния синтезирован астатический наблюдатель, имеющий нулевую статическую ошибку оценки переменных состояния и позволяющий оценить внешнее возмущение, действующее на объект. Блочная структура такого наблюдателя представлена на рис. 1 (* означают, что матрицы приведены в транспонированную сопровождающую форму), а его уравнение имеет вид

$$\dot{x}_{\text{н}} = Ax_{\text{н}} + Bu + F_{\text{н}}(y - y_{\text{н}}) + F_{\text{в}} \int_0^t (y - y_{\text{н}}) dt, \quad y_{\text{н}} = Cx_{\text{н}},$$

где $F_{\text{н}}$ – матрица наблюдателя (индексы "н" обозначают наблюдаемые переменные).

Исследование работы системы показало, что наличие в ее составе наблюдателя Кальмана повышает качество управления рассматриваемым объектом. Диаграммы изменения ошибки определения тока для пускового режима работы, представлены на рис. 2, а, б. Из диаграмм видно, что максимальное значение отклонения тока от истинного значения для наблюдателя пренебрежимо мало (не превышает 20 мкА), а для датчика тока, имеющего в составе фильтр нижних частот, составляет 1,5 А, при этом статическая ошибка в обоих случаях нулевая.

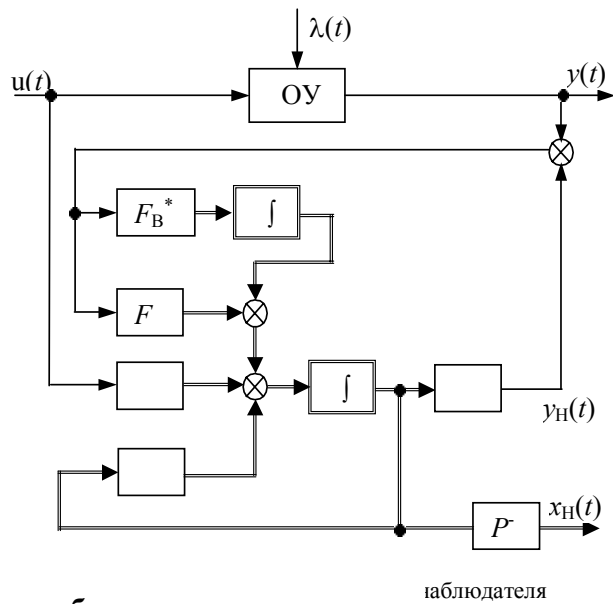
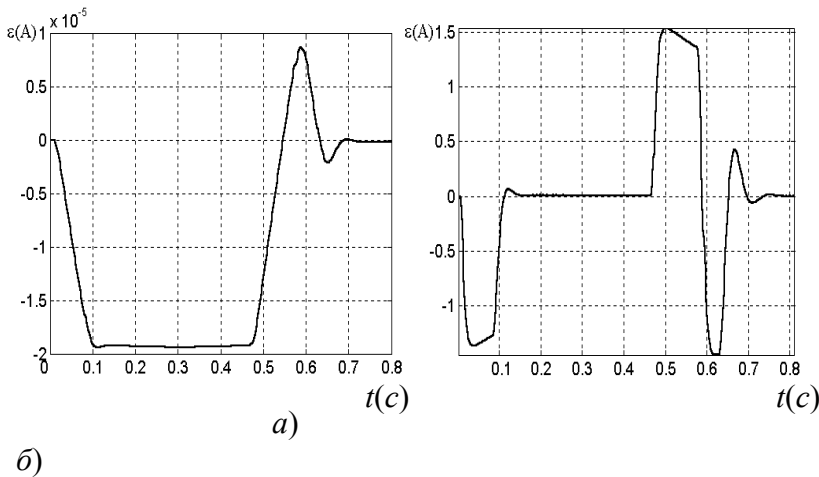


Рис. 1. Блочная структура наблюдателя состояния

Эффективность работы системы подтверждена и при таком возмущающем воздействии, как ступенчатое изменение момента сопротивления на валу двигателя.



ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Молькова Е. Е., Христофоров А. И., Христофорова И. А.
Владимирский государственный университет, kanch@vladimir.su

Широкое использование пенопластов в качестве теплоизоляционных строительных материалов обуславливает снижение потерь энергии при эксплуатации зданий и сооружений. Одним из распространенных полимерных теплоизоляционных материалов является пенопласт на основе поливинилхлорида (ПВХ). Однако существующие пенопласты на основе ПВХ имеют относительно высокую плотность и, следовательно, недостаточно низкую теплопроводность. Вследствие этого возникает задача получения (синтеза) пенопластов на основе ПВХ с заданными теплофизическими свойствами и характеристиками. Приемлемое решение данной задачи обычно находят эмпирическим подбором состава исходной композиции для определения оптимальной, обеспечивающей получение пенопластов с желаемыми теплофизическими свойствами. Нами предложено для синтеза пенопластов использовать теорию планирования эксперимента.

Предварительными исследованиями установлено, что теплофизические показатели качества ПВХ-материалов на стадии синтеза зависят, в основном от концентрации газообразователя – углекислого аммония, метилметакрилата и пластификатора ЭДОС. На технологической стадии производства пеноматериала в качестве основных значимых факторов рассматриваются температуры получения и вспенива-

ния, а также длительность выдержки и время вспенивания (однако, при экспериментировании варьируются только три фактора).

При экспериментировании мы реализовали *D*-оптимальный план Бокса-Бенкина размерностью $k = 3$, обладающий свойством рототабельности, минимизирующий максимальную дисперсию в заданной области плана [1]. По результатам активного эксперимента получено адекватное по Фишеру уравнение регрессии для определения плотности формируемого пенопласта.

$$Y = 116,40 - 16,75x_1 - 8,00x_2 + 9,50x_3 + 22,80x_1^2 - 1,70x_2^2 - 51,20x_3^2 + 10,50x_1x_2 + 12,00x_1x_3 + 4,00x_2x_3,$$

где x_1, x_2, x_3 – факторы, Y – плотность, кг/м^3 .

Полученное уравнение регрессии позволило определить оптимальную композицию для получения пенопласта с плотностью 42 – 48 кг/м^3 .

1. Вознесенский В. А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. М.: Финансы и статистика, 1981.

АНАЛИЗ ПЕРЕДАЧИ И ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ В СЛОЖНОЙ СИСТЕМЕ С ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ СТЕПЕНИ ЕЕ ОРГАНИЗОВАННОСТИ

Артюхов А. В., Дорохов И. Н., Смирнов В. Н.

Российский государственный университет нефти и газа им. И. М. Губкина

Обобщенной формой описания функционирования химико-технологических систем (ХТС) является их информационно-энтропийное представление в терминах статистической теории информации, где прямая связь энтропии и информации совмещает пространственно-временную и вещественно-энергетическую форму представления процессов. Такой подход позволяет определить информационную структуру и характеристики ХТС, по которым становятся сопоставимыми системы, не обладающие физической эквивалентностью параметров, т.е. целенаправленность, внутренняя организованность, управляемость, энтропийная устойчивость, количество генерируемой информации и т.д. Как правило, внутренние связи ХТС не являются абсолютно стабильными и зависят от значений режимных параметров, условий внешней среды, взаимодействия составных элементов, среди которых строгая определенность одних не исключает изменение характеристик других частей. Информационные операторы интегральных характеристик неопределенности входных и выходных координат могут быть выражены аналитически, если заданы уравнения связи между основными входными и выходными параметрами ХТС. В работе показано, что необходим учет влияния нестационарности при решении поставленной проблемы. Для расчета информационных характеристик сигналов ХТС необходимо: 1) получить записи реализации случайного процесса по данной координате; 2) установить закон распределения вероятности случайных значений выходных координат по критериям соответствия; 3) путем статистической обработки реализаций получить с заданной степенью приближения оценки корреляционных функций спектральных плотностей; 4) по частоте среза спектральной мощности оценить полосу частот сигналов и интервал квантования по времени; 5) по оценкам корреляционных функций сигналов определить коэффициенты корреляции между отсчетами; 6) рассчитать дисперсии выходных координат; 7) по классу точности и ширине шкалы регистрирующего прибора оценить относительную ошибку вторичного прибора; 8) на основе вышешприведенных этапов получить необходимые информационные характеристики по формулам, выведенным в работе. Полученные информационные характеристики позволяют решить ряд вопросов, связанных с оптимальным выбором режимных условий функционирования промышленных систем.

Предложенные методы анализа передачи и преобразования информации в сложных ХТС с целью повышения их организованности опробованы на примере статистического анализа сигналов промышленной системы цеха очистки сырого отсепарированного газа от H_2S и CO_2 растворами этаноламинов на Астраханском газоперерабатывающем заводе.

Развитие химико-технологических систем (ХТС) связано с усложнением структуры их внутренних и внешних связей, увеличением количества генерируемой и перерабатываемой информации, повышением степени структурной организации. Усложнение структуры химического производства требует разработки и применения специальных методов исследования технологических систем, обладающих общностью основных результатов и понятий и вносящих целостность представлений об исследуемом объекте. В данной работе предпринята попытка проанализировать работу отдельного химического производства при помощи математического аппарата теории информации и показать целесообразность применения информационных характеристик систем с целью их оптимизации и решения задач управления ими. Объектом исследования является система аппаратов отделения моноэтаноламиновой очистки сырого промыслового отсепарированного газа от H_2S и CO_2 на Астраханском газоперерабатывающем заводе (АГПЗ). Разрабатывается общая методика информационного анализа промышленных комплексов в химической технологии и дается общее математическое описание операций преобразования производственной информации. Формулируются основные требования для нормального функционирования и эффективного управления такими системами. Выводятся и предлагаются критерии структурной организованности ХТС как оценки степени совершенства технологической и технической реализации промышленных процессов. Показывается целесообразность применения информационных характеристик при проектировании ХТС и систем управления ими. В качестве основных характеристик принимаются: информационная емкость сообщений по выходным координатам в режимах нормальной эксплуатации; пропускная способность ХТС по управляющим воздействиям; структурная и целевая статистическая организованность ХТС. Вводится понятие информационной модели технологического комплекса отдельного химического производства как структурной схемы информационных потоков, включающей в себя основные информативные признаки ХТС, на основе которых могут быть рассчитаны предельно достижимые показатели целевой статистической организованности процессов и формулируются общие условия организации управления. Дается методика расчета информационных характеристик сигналов ХТС на основе статистического анализа случайных изменений выходных координат в условиях нормальной эксплуатации. Проводится информационный анализ структурной и статистической целевой организованности технологической схемы промышленного процесса МЭА-очистки на АГПЗ. Полученные информационные характеристики рекомендуются в качестве исходной научной основы для синтеза структурно организованной системы управления процессом очистки промыслового газа от H_2S и CO_2 растворами этаноламинов на АГПЗ.

ИНФОРМАЦИОННО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРНО ОРГАНИЗОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЭТАНОЛАМИНОВОЙ ОЧИСТКИ ПРОМЫСЛОВЫХ ГАЗОВ

Артюхов А. В., Дорохов И. Н., Смирнов В. Н.
Российский государственный университет нефти и газа им. И. М. Губкина

Информационно-статистический анализ проводился в применении к системе очистки сырого отсепарированного газа раствором этаноламина на Астраханском газоперерабатывающем заводе (АГПЗ). В настоящее время контроль и ведение процесса ЭВМ-очистки АГПЗ осуществляется с помощью ЭВМ и оператора, корректирующего работу системы при отклонении степени очистки от технологической нормы. В условиях нормальной эксплуатации проведен пассивный эксперимент с целью получения статистических характеристик параметров работы отделения в процессе неуправляемого режима, т.е. без вмешательства оператора. Для этого из ряда реализаций, определяющих выходные координаты (процент содержания H_2S и CO_2 в очищенном газе) взяты те временные интервалы работы цеха, когда расход газа был приблизительно постоянным (одно из основных возмущений), чтобы можно было избежать обязательного вмешательства оператора в процесс с целью его корректировки. В результате обработки реализаций общей продолжительностью 15 суток получена оценка математического ожидания выходных координат процесса. По характеру этой оценки можно заключить, что процесс существенно нестационарен. Для учета влияния нестационарности на степень структурной организованности системы проведен статистический и информационный анализ случайных изменений выходных координат системы, позволяющих производить обобщенную оценку качества работы технологической схемы в це-

лом. По результатам информационного анализа можно заключить, что процесс характеризуется большой остаточной неопределенностью. Уровень статистической целевой организованности комплекса очистки приблизительно оценен значением информационной избыточности выходного сигнала, которое оказалось равным $R \approx 0,11$. Сильная корреляция и значительная избыточность создают хорошие предпосылки для стабилизации процесса с помощью прямого цифрового управления. На основе машинного эксперимента показано, что введение прямого цифрового управления в комплекс аппаратов системы очистки промышленного газа позволяет значительно повысить уровень целевой статистической организованности процесса (с $R = 0,11$ до $R = 0,7$), при этом средний квадрат отклонения степени очистки промышленного газа от технологической нормы уменьшается более чем в 3 раза. Например, по CO_2 от $\sigma_y = 0,44\%$ до $\sigma_y = 0,13\%$. Этим определяется предел динамической точности управления в условиях нормальной эксплуатации при реальных пропускных способностях контуров управления.

Таким образом, нами показано, что прямое цифровое управление цеха очистки промышленного газа целесообразно строить по двухконтурной схеме с передачей управляющей информации по каналам интенсивности орошения и тепловой нагрузки регенератора. Данные рекомендации по улучшению работы цеха очистки сырого отсепарированного газа от H_2S и CO_2 раствором этаноламина и выданы АГПЗ.

СИСТЕМА ИНФОРМАЦИОННЫХ БАЗ ДАННЫХ "BANID"

Меньшутина Н. В., Гончарова С. В., Цуканов В. А., Старченко О. В.
Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева

Разработанная нами система баз данных "BANID" предназначена для информационного обеспечения научных и прикладных разработок в области сушки материалов. В системе баз данных (СБД) наряду с традиционной задачей обеспечения пользователей оперативным доступом к библиографической, реферативной и полнотекстовой, мультимедийной информации предусмотрена система выборки информации. Информация, собранная в этой СБД, относится к множеству отраслей промышленности: фармацевтика, деревообрабатывающая промышленность, неорганическая химия, полимеры и керамика, красители и пигменты и т.д. Система способствует экономии трудовых затрат, технических ресурсов и времени, необходимых для разработки новых сушильных технологий успешного внедрения сушильных процессов.

Создание эффективной системы информационных баз данных в области сушки выполнено на основе реляционной структуры данных в сочетании с принципом объектно-ориентированного проектирования и технологии Internet. В реляционной модели данных объекты и взаимосвязи между ними представляются с помощью таблиц. Разработанная СБД "BANID" реализована в интегрированной среде программирования Delphi.

Весь объем информации в СБД разделен на четыре направления, представляющие интерес для специалистов в области сушки: база данных (БД) по программному обеспечению и существующим моделям процесса сушки; база данных по сушильным технологиям и оборудованию, включающая БД по производителям сушилок как у нас в стране, так и за рубежом, с основными спецификациями производимого оборудования; БД по методам контроля и автоматизации процессов сушки; БД по аспектам и методам безопасности и охраны окружающей среды в сушильной технологии.

В БД взаимосвязаны между собой, а также с подсистемой интерфейса пользователя. Перечень источников информации для формирования основного информационного ресурса включает данные, полученные по: публикациям; результатам и трудам конференций, симпозиумов и выставок; диссертациям; патентам и авторским свидетельствам; информации, распространяемой разработчиками и производителями.

БАЗА ДАННЫХ ТИТАНСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ

Жевтивская Ю. В., Королев Д. В., Суворов А. К., Суворов К. А.
Санкт-Петербургский государственный технологический институт

В последнее время появилось значительное количество баз данных научно-технической информации, каталогов статей и патентов. Такое представление материалов удобно для поиска необходимой информации и облегчает работу специалистов в конкретной области знаний.

Целью данной работы являлось создание базы данных (БД) по синтезу титансодержащих соединений. Для систематизации собранных данных о статьях и патентах по титансодержащим соединениям

нами создана БД с помощью программы Microsoft Access, которая объединяет сведения из разных источников в одной реляционной БД. Создаваемые формы, запросы и отчеты позволяют быстро и эффективно обновлять данные, получать ответы на вопросы, осуществлять поиск нужных данных, анализировать данные, печатать отчеты и диаграммы.

БД состоит из основной формы (Главная), форм просмотра/редактирования таблиц патентов (Патенты) и статей (Статьи), формы запроса (Запрос) и таблицы результатов запроса Query. Формы "Патенты" и "Статьи" связаны с соответствующими таблицами. Таблица "Патенты" состоит из следующих полей: номер патента; название; класс МКИ; страна; авторы; патентовладелец; заявлен; ключевые слова; реферат. Таблица "Статьи" состоит из следующих полей: номер патента; название; авторы; название; реферат; ключевые слова; название журнала; год; том; номер; выпуск; страницы. Запрос позволяет производить поиск необходимой информации в БД по следующим полям: авторы; название; ключевые слова; реферат. Запрос реализован при помощи структурированного языка запросов SQL.

База данных в настоящее время содержит сведения о 36 патентах и 108 статьях.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В ПЕРИОД ИНКУБАЦИИ ГВЕТАДЗЕ С. В.

Южно-Российский государственный технический университет, gvetg@mail.ru

Для реализации принципиально нового термодиагностического режима инкубации, позволяющего в полной мере воспроизвести условия, существенно влияющие на развитие эмбриона при насиживании, надо, прежде всего, определить вид тепловых возмущений, которые птица-наседка наносит на яйца. Однако в связи с трудностями, возникающими при проведении исследований изменения температуры под курицей, решению поставленной задачи препятствует недостаточный объем наблюдений. Поэтому для дополнения экспериментальных данных возникла необходимость использовать методы предсказания будущих значений температуры на основе прошлых наблюдений, которые позволяют оценить значения функции вне заданной области.

В работе приведены результаты прогнозирования изменений внутрияйцевой температуры в гнезде наседки. Так, учитывая характер изменения рассматриваемых воздействий под курицей, для прогнозирования поведения указанного процесса нашел применение метод авторегрессии – скользящего среднего, заключающийся в статистическом анализе выборочной и частной автокорреляционных функций [1]. При этом, предварительно выбрав модель и задав степень ее полинома, а также уровень доверия прогноза и количество шагов прогнозирования, определяются коэффициенты прогнозируемой модели. Следует отметить, что для реализации указанного метода выбрана модель линейной регрессии, которая может быть описана следующим выражением

$$br_t = b_0 + b_1t + \dots + b_n t^n,$$

где b_0, \dots, b_n – коэффициенты модели; t – текущее время; $1, \dots, n$ – значения степени полинома, $n < 5$.

При оценке указанных коэффициентов использовался алгоритм Бурга, заключающийся в решении системы уравнений Юла-Уолкера с использованием рекурсии. Графики обрабатываемой $Y_1(t)$ и полученной прогнозируемой периодической $Y_2(t)$ зависимостей представлены на рис. 1.

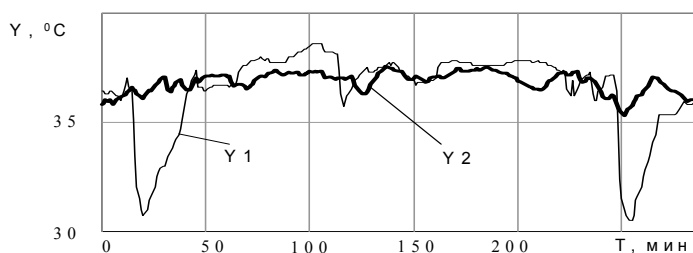


Рис. 1. Графики экспериментальной и прогнозируемой температурных зависимостей

Результаты проведенных исследований позволяют более обосновано выбрать параметры термоконтрастного режима инкубации.

1. Бриллиндер Д. Временные ряды. М.: Мир, 1980.

**СИНТЕЗ АЛГОРИТМА ГАРАНТИРОВАННОГО
ОБНАРУЖЕНИЯ ПЕРИОДИЧНОСТЕЙ В СЛУЧАЙНЫХ
ТЕМПЕРАТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ
ГВЕТАДЗЕ С. В., МИХАЙЛОВ А. А.**

Южно-Российский государственный технический университет, gvetg@mail.ru

Для реализации нового термоконтрастного режима инкубации, обеспечивающего высокую выводимость яиц и жизнеспособность молодняка сельскохозяйственной птицы, необходимо создать специальную систему автоматического управления температурой инкубируемых объектов. При этом, прежде всего, требуется, используя известные методы обработки стохастических экспериментальных характеристик, определить вид и параметры оптимальных тепловых возмущений, наносимых на яйца птиц-наседкой.

Рассматриваются подходы к обнаружению некоторой периодической зависимости в информации, полученной в результате измерений. При этом необходимо, чтобы используемый алгоритм обеспечивал изоморфность получаемой модели и экспериментальных данных. Для этого выбранный алгоритм обнаружения заданной функциональной зависимости $s(t)$ в смеси "сигнал-шум" $\xi(t)$ должен обеспечивать максимум функции правдоподобия, которая может быть представлена в виде

$$q = \frac{2}{N} \int_0^T \xi(t) s(t) dt \begin{cases} H_1 > \\ H_0 < \end{cases} \frac{E}{N} + \ln h_0 = h,$$

где H_0, H_1 – соответственно гипотезы отсутствия и наличия зависимости; T – период изменения зависимости и рассматриваемого сигнала; t – текущее время.

Как показал опыт исследований данного объекта, одним из наиболее легко реализуемых видов воздействий для обеспечения термоконтрастного режима инкубации являются периодические изменения температуры воздуха в инкубационном шкафу. Поэтому возникла задача установления формы и параметров периодического компонента в стохастических температурных изменениях и использования его в качестве входного воздействия в системе управления тепловыми режимами при инкубации. В связи с этим проведен анализ экспериментальных данных, снятых в гнезде наседки, в соответствии с алгоритмом, использующим функцию максимального правдоподобия. Приведены результаты расчета функции правдоподобия для заданной функциональной зависимости $s(t) = \sin \omega t$ (рис. 1), которые подтвердили предположение их наличия в апостериорной информации с периодом $T = 2,7$ ч, так как в этом случае концентрация энергетического спектра наиболее вероятна в частотном диапазоне, соответствующем указанному значению.

сировался 21 показатель, остальные показатели или имели низкую вариабельность, или сильно коррелированы с одним из оставшихся параметров. Кроме того, оставшиеся показатели имеют низкие значения парной корреляции. Рассматриваемые показатели опытов следующие: прибавка урожая (x_1), %; биологическая активность почвы (x_2), %; объема гумуса (x_3), %; удельные затраты (x_4), р./га; мелиоративная основа $\text{CaS}_4\text{O} \times 2\text{H}_2\text{O}$ в почве (x_5), %; мелиоративная основа $\text{FeS}_4\text{O} \times 7\text{H}_2\text{O}$ (x_6), %; мелиоративная основа $\text{Al}(\text{S}_4\text{O})_3 \times 2\text{H}_2\text{O}$ (x_7), %; мелиоративная основа в пересчете на чистый гипс (x_8), %; питательная основа P_2O_3 (x); питательная основа K_2O (x_{10}); минимальная и максимальная щелочность (x_{11} , x_{12}); питательно-пищевой комплекс (ППК) с Ca^{2+} (x_{13}), %; ППК с Mg^{2+} (x_{14}), %; ППК с Na^+ (x_{15}), %; содоустойчивость почвы (x_{16}), экв / 100 г; сумма солей в почве (x_{17}), %; кислотная реакция почв (x_{18}); коэффициент дисперсии почв (x_{19}); объемная масса почвы (x_{20}), %; удельный доход (x_{21}), р./га.

Для оценки эффективности внесения мелиорантов использовался метод главных компонент над показателями разной физической природы. В результате выполненных расчетов получена главная компонента, которая характеризует проведенные опыты с достоверностью 99,97 %.

Упорядочение по убыванию значений главной компоненты для различных опытов позволяет расположить их в порядке снижения эффективности: внесение глауконита; навоза и терриконовой породы; навоза и глауконита; навоза и фосфогипса; терриконовой породы; фосфогипса; навоза. Предлагаемая статистическая модель оценивания дает возможность судить об эффективности мелиорантов как с экологической, так и с экономической точки зрения. Используя значения коэффициентов в формуле главной компоненты, можно выделить основные показатели, которые вносят существенный вклад в оценку проведенных опытов. Упорядочение показателей по степени уменьшения влияния следующее. Наибольший вес имеет показатель удельного дохода. Далее следуют показатели - удельные затраты, прибавка урожая, мелиоративная основа $\text{FeS}_4\text{O} \times 7\text{H}_2\text{O}$ в слое почвы, мелиоративная основа $\text{CaS}_4\text{O} \times 2\text{H}_2\text{O}$ в слое почвы, биологическая активность почв, мелиоративная основа в почве в пересчете на чистый гипс, объем слоя гумуса, x_{13} , x_{16} , x_{14} , x_7 , x_{10} , x_{19} , x_{18} , x_{15} , x_{11} , x_9 , x_{20} , x_{12} , x_{17} .

Таким образом, предложенная модель статистического оценивания показателей, которые характеризуют внесение мелиорантов в черноземы, позволяет выявить основные показатели и результирующий показатель, а также оценивать опыты по внесению мелиорантов. Результирующим показателем был выбран удельный доход. В качестве исходных показателей рекомендуется взять: удельные затраты, прибавку урожая, биологическую активность почв, мелиоративную основу в почве в пересчете на чистый гипс и объем слоя гумуса.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА ПРИ ЭКСТРУЗИИ ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ ПЛЕНКИ

ОТЕКИН Р. В., САЖИН С. Г.

Дзержинский филиал Нижегородского государственного
технического университета

Основным методом получения полиэтиленовых пленок является экструзия полиэтилена с формированием пленки рукавным способом (выдавливание расплава через кольцевой зазор с растяжением сжатым воздухом и отводом рукава вверх).

Наиболее актуальной проблемой при производстве полиэтиленовых пленок является поддержание одинаковой толщины получаемой пленки на всех ее участках, т.е. проблема разнотолщинности. Для избежания разнотолщинности экструзионные головки должны обеспечивать равномерный подвод расплавленного полиэтилена к кольцевому формирующему зазору. Предложено много конструктивных вариантов выравнивания потока в головке, описанных в многочисленных патентах.

Однако на разнотолщинность пленки также сильно влияет воздушный поток обдувочного кольца в момент ее кристаллизации. Во многих работах описано влияние температуры на образовании зародышей кристаллов при кристаллизации полимеров. В связи с чем можно говорить о влиянии температуры воздушного потока в зоне кристаллизации на интенсивность кристаллизации полиэтилена. Изменяя интенсивность кристаллизации расплава на различных его участках, можно добиться изменения толщины пленки.

На рис. 1 и 2 отображены результаты опыта проведенного при получении полиэтиленовой пленки толщиной в 100 мкр. В один из участков воздушного потока был помещен нагревательный элемент мощностью 400 W, на который подавалось напряжение в течении 10 с.

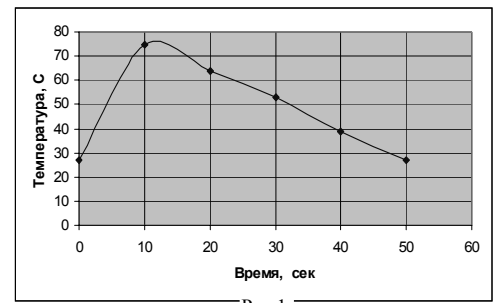


Рис. 1

На рис. 1. приведен график изменения температуры нагревательного элемента с момента подачи на него напряжения до возвращения температуры к начальным значениям.

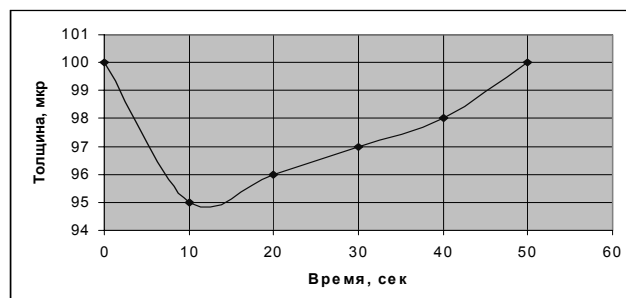


Рис.2.

Рис. 2

Изменения температуры нагревателя привели к изменению температуры участка воздушного потока, влияние которого отразилось на толщине производимой пленки.

На рис. 2 приведен график отклонения толщины участка полиэтиленовой пленки на который был направлен более горячий поток воздуха.

Основываясь на результаты опыта можно сказать, что влияние изменения температуры воздушного потока на толщину пленки имеет качественное значение, достаточное для изменения толщины пленки в узком диапазоне.

Таким образом, ориентируясь на приведенные выше условия переработки полиэтилена можно создать простое устройство, не требующее больших капиталовложений, для автоматической регулировки толщины пленки при ее производстве.

АНАЛИЗ ТОПЛИВОСЖИГАЮЩИХ УСТАНОВОК ТЕРМИЧЕСКОГО ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

Сажин С. Г., Царапкин А. В.

Дзержинский филиал Нижегородского государственного
технического университета

ТОПЛИВОСЖИГАЮЩИЕ УСТАНОВКИ ТЕРМИЧЕСКОГО ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ (ДАЛЕЕ ПСО-ПЕЧИ СЖИГАНИЯ ОТХОДОВ) ПРИМЕНЯЮТСЯ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВ. В НИХ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВЫСОКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛАМЕНИ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ РАЗЛОЖЕНИЕ СЛОЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ОТХОДОВ ДО ЭЛЕМЕНТАРНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ (CO_2 , H_2O , NO_x И Т.Д.). ЗДЕСЬ БУДУТ РАССМОТРЕНЫ ПСО, РАБОТАЮЩИЕ НА ПРИРОДНОМ ГАЗЕ КАК НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЕННЫЕ.

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ОТХОДЫ, ПОДЛЕЖАЩИЕ ТЕРМИЧЕСКОМУ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЮ, КАК ПРАВИЛО, НАХОДЯТСЯ В ЖИДКОЙ ФАЗЕ И СОДЕРЖАТ: ОРГАНИЧЕСКИЕ

СОСТАВЛЯЮЩИЕ, НЕОРГАНИЧЕСКИЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ, ВОДУ. ЧТО КАСАЕТСЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ И ВОДЫ, ТО ЗДЕСЬ ВСЕ ПРЕДЕЛЬНО ПРОСТО. ВОДА ИСПАРЯЕТСЯ В ПЕЧИ, А НЕОРГАНИЧЕСКИЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ ВЫПАРИВАЮТСЯ ИЗ РАСТВОРА И ВЫБРАСЫВАЮТСЯ В ВИДЕ ПЫЛИ С ОТХОДЯЩИМИ ГАЗАМИ. С ОРГАНИЧЕСКИМИ СОСТАВЛЯЮЩИМИ ДЕЛО ОБСТОИТ СЛОЖНЕЕ. ВЕДЬ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К НИМ И ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ ТЕРМИЧЕСКОЕ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ. В ПСО ОРГАНИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ НЕОБХОДИМО РАЗЛОЖИТЬ НА ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ВО ИЗБЕЖАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ. ТЕРМИЧЕСКОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ПРОИЗВОДИТСЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ (КАК ПРАВИЛО ОКОЛО 1000 °С). ТЕМПЕРАТУРА РАЗЛОЖЕНИЯ ОТХОДОВ ЯВЛЯЕТСЯ ОПРЕДЕЛЯЮЩИМ ФАКТОРОМ ПРИ ВЫБОРЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПСО.

НАИБОЛЕЕ ВАЖНОЙ КООРДИНАТОЙ РЕГУЛИРОВАНИЯ В ПСО ЯВЛЯЕТСЯ ТЕМПЕРАТУРА ПЛАМЕНИ, ПОСКОЛЬКУ НЕОБХОДИМО ПОДДЕРЖИВАТЬ РЕЖИМ ЗАДАННОЙ СТЕПЕНИ РАЗЛОЖЕНИЯ ОТХОДОВ ПРИ МИНИМАЛЬНО ВОЗМОЖНОМ РАСХОДЕ ГАЗА. ЕСЛИ ТЕМПЕРАТУРА НИЖЕ НЕОБХОДИМОЙ, ТО ИМЕЕМ НЕДОСТАТОЧНУЮ СТЕПЕНЬ РАЗЛОЖЕНИЯ, ЕСЛИ ВЫШЕ – БЕСПОЛЕЗНЫЙ ПЕРЕРАСХОД ГАЗА. В СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛАМЕНИ В ПСО РЕАЛИЗУЕТСЯ ПРИНЦИП РЕГУЛИРОВАНИЯ ПО ОТКЛОНЕНИЮ. ОДНАКО ЗДЕСЬ БОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНО БЫЛО БЫ ИСПОЛЬЗОВАТЬ ПРИНЦИП УПРАВЛЕНИЯ ПО ВОЗМУЩЕНИЮ. ОСНОВНЫМ ВОЗМУЩАЮЩИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ В ПСО ЯВЛЯЕТСЯ ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА СТОКОВ, ПОСТУПАЮЩИХ НА СЖИГАНИЕ. ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА ЗДЕСЬ ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ ГЛАВНЫМ ОБРАЗОМ ИЗМЕНЕНИЕМ ОБЪЕМА НЕГОРЮЧЕЙ ФАЗЫ В ОБЩЕЙ МАССЕ СТОКОВ. ПОЭТОМУ, АНАЛИЗИРУЯ СОСТАВ ПОСТУПАЮЩИХ СТОКОВ (ДОЛЮ НЕГОРЮЧЕЙ ФАЗЫ), МОЖНО КОРРЕКТИРОВАТЬ РАБОТУ ПСО, НЕ ДОЖИДАЯСЬ ОТКЛОНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА.

ДЛЯ ТОГО, ЧТОБЫ ОБЕСПЕЧИТЬ ОПТИМАЛЬНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ПСО, НЕДОСТАТОЧНО ТОЛЬКО КОНТРОЛИРОВАТЬ ТЕМПЕРАТУРУ ПЛАМЕНИ. НЕОБХОДИМО ОТСЛЕЖИВАТЬ ЕЩЕ ОДНУ ПЕРЕМЕННУЮ, ПО КОТОРОЙ МОЖНО СУДИТЬ УЖЕ О РЕЗУЛЬТАТАХ УТИЛИЗАЦИИ, Т.Е. О СТЕПЕНИ РАЗЛОЖЕНИЯ ОТХОДОВ. ЭТОЙ ПЕРЕМЕННОЙ ЯВЛЯЕТСЯ СОДЕРЖАНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ОТХОДЯЩИХ ГАЗАХ. ПОЭТОМУ В ПСО НАРЯДУ С ТРАДИЦИОННЫМ ДЛЯ ТОПЛИВОСЖИГАЮЩИХ УСТАНОВОК КОНТРОЛЕМ СОДЕРЖАНИЯ CO_2 , CO , O_2 , H_2 И CH_4 В ОТХОДЯЩИХ ГАЗАХ НЕОБХОДИМО АНАЛИЗИРОВАТЬ ЕЩЕ И СОДЕРЖАНИЕ ОРГАНИКИ С ЦЕЛЬЮ КОРРЕКЦИИ РЕЖИМА РАЗЛОЖЕНИЯ ДО ОПТИМАЛЬНОГО.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
СИСТЕМЫ ТЕПЛООБМЕНА УСТАНОВКИ ПЕРВИЧНОЙ
ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ

АНУФРИЕВ А. В., ВИКТОРОВ В. К., ЛИСИЦЫН Н. В.

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ,
FIRST@PISEM.NET

ОДНИМ ИЗ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ ЯВЛЯЕТСЯ ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВТОРИЧНЫХ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ, МАКСИМАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕКУПЕРАЦИИ ТЕПЛОТЫ И ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК. В ДАННОЙ РАБОТЕ НАМИ ПРОВЕДЕН АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ТЕПЛООБМЕНА УСТАНОВКИ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ АТ-6.

ОСНОВНАЯ РЕКУПЕРАЦИЯ ТЕПЛОТЫ ПРОИСХОДИТ В БЛОКЕ ПЕРВИЧНОГО ПОДОГРЕВА НЕФТИ. КОЛИЧЕСТВО РЕКУПЕРИРОВАННОЙ ТЕПЛОТЫ СОСТАВЛЯЕТ 144,307 МВт ПРИ СУММАРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ТЕПЛООБМЕНА 26 859 М². СУММАРНАЯ ТЕП-

ЛОТА ГОРЯЧИХ ПОТОКОВ (ОТДАЮЩИХ ТЕПЛОТУ) СОСТАВЛЯЕТ 200,484 МВт, А ХО- ЛОДНЫХ ПОТОКОВ (ВОСПРИНИМАЮЩИХ ТЕПЛОТУ) 271,602 МВт.

Из анализа температурно-энтальпийной диаграммы (рис. 1) для потоков установки АТ-6 при $\Delta t_{\min} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ следует, что количество рекуперативной теплоты на действующей установке составляет 87 % от теоретически возможного, поэтому представилась целесообразным перестроить топологию тепловой сети.

ДЛЯ СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛООБМЕНА ИСПОЛЬЗОВАЛИ КОМ- БИНАЦИЮ ЭВРИСТИЧЕСКОГО И КОМБИНАТОРНОГО МЕТОДОВ, ОПИСАННЫХ РАНЕЕ В [1], [2].



Рис. 1. Композиционные кривые потоков:

1 — горячих; 2 — холодных

В эвристический метод [1] внесены следующие изменения: величина Δt_{\min} варьировалась в диапазоне $\Delta t_{\min} = 30 \text{ }^\circ\text{C} \pm \Delta Q$, $\Delta Q = \gamma 20 \text{ }^\circ\text{C}$, где γ — псевдослучайное число в диапазоне от 0 до 1; использовались три эвристических правила: среди возможных вершин дерева вариантов следует выбирать вершину, соответствующую максимальному эксергетическому КПД; среди возможных вершин дерева вариантов выбирать вершину из которой в будущем при разбиении данного варианта схемы теплообмена может быть передано максимальное количество теплоты; среди возможных вершин дерева вариантов выбрать вершину случайным образом.

Правила выбирали случайным образом с весовыми коэффициентами 0,3; 0,6 и 0,1. Общее число попыток синтеза достигало 2000.

В связи с тем, что устойчивая работа ректификационных колонн во многом определяется параметрами дефлегматора, то для исключения обратных тепловых связей горячие потоки не были интегрированы в синтезируемую систему теплообмена.

Синтез тепловой системы проводили следующим образом. Сначала проводили сравнение результатов, полученных комбинаторным и эвристическим методами. Далее выбирали решение с наименьшими приведенными затратами. В синтезированной схеме присутствовали теоретические теплообменники, в которых температуры изменяются незначительно. Поэтому далее такие теплообменники, у которых $t_{\Gamma}^H - t_{\Gamma}^K < 5 \text{ }^\circ\text{C}$ и $t_x^K - t_x^H < 5 \text{ }^\circ\text{C}$ исключались из системы и температуры потоков пересчитывали при ограничениях $\Delta t_{\min} > 15 \text{ }^\circ\text{C}$. Если это условие не выполнялось, то проводили повторный синтез тепловой системы, при этом вершина дерева вариантов для которой $t_{\Gamma}^H - t_{\Gamma}^K < 5 \text{ }^\circ\text{C}$ и $t_x^K - t_x^H < 5 \text{ }^\circ\text{C}$ исключалась из рассмотрения.

Приведенные затраты составляют 9,06 млн. усл. ден. ед./год (для сравнения приведенные затраты действующей системы — 11,24 млн. усл. ден. ед./год) Суммарная поверхность теплообмена 33 520,9 м². Величина теплоты рекуперации увеличилась на 24,25 МВт.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о целесообразности реконструкции тепловой системы установки первичной переработки нефти.

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОМПЛЕКСНОГО
ОЦЕНИВАНИЯ ЗДОРОВЬЯ РАЗЛИЧНЫХ ГРУПП НАСЕЛЕНИЯ
КЛИМОВА Е. С.**

ТУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ, ELKLIMOVA@MAIL.RU

**ЗДОРОВЬЕ ЯВЛЯЕТСЯ КОМПЛЕКСНОЙ, МНОГОСТОРОННЕЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ
ЧЕЛОВЕКА, ПОЭТОМУ ЕСТЕСТВЕННЫМ ПРЕДСТАВЛЯЕТСЯ ЕГО ОЦЕНКА ПО МНОГИМ
ПРИЗНАКАМ ОДНОВРЕМЕННО.**

Сущность комплексной оценки здоровья заключается в получении некоторого обобщенного показателя, который интегрирует большое количество частных факторов. Однако до сих пор отсутствует строгий математический подход, позволяющий автоматизировать процедуры получения обобщенных показателей здоровья. Между тем такой подход экономически выгоден для профилактических обследований больших масс людей без привлечения специалистов. Кроме того, широкое распространение геоинформационных систем (ГИС) также ставит актуальную проблему включения в их состав процедур формирования обобщенных показателей здоровья различных социальных групп населения различных районов территории.

Основной целью данной работы является формулировка задачи комплексного оценивания здоровья различных групп населения, в частности слабо защищенных слоев, как задачи распознавания образов и ее решение на основе математической модели молекулярного узнавания.

Комплексные оценки, учитывающие в каком-либо общем виде все важнейшие показатели здоровья, в значительной степени влияют на качество и результативность работы управляющих структур, выявляя районы, требующие первоочередного реагирования. Отсутствие или искаженность информации может привести к отклонению от поставленной цели или даже к отрицательным результатам. При этом специальные показатели не могут быть использованы в качестве общей оценки здоровья, а применение показателей-суррогатов порождает некачественную информацию о здоровье, способную в лучшем случае имитировать обоснование решений, а в худшем – обосновывать неверные решения врача или администратора [1].

Важность комплексных оценок здоровья определяется также и в контексте необходимого перевода управления здравоохранением на уровень современных компьютерных технологий, в особенности ГИС-технологий и телемедицины. Имеющиеся компьютерные сети могут дать управляющим структурам быстрый доступ к любым серьезным данным, в том числе к данным медицинской статистики по различным группам населения. Отсюда возникает проблема создания достаточно гибкого математического обеспечения, позволяющего формировать комплексные оценки в процессе принятия управленческих решений.

Оценки станут более полными и объективными, если помимо собственно медицинских показателей, в них будут включены факторы, воздействующие на здоровье населения – состояние окружающей среды, социальные факторы и др. При этом математический аппарат дает принципиальную возможность ставить и решать конкретные задачи медицинской диагностики, задачи в области социологии и экологии. За счет распознавания сходства в разнородных данных развитие такого подхода позволит выявить конкретные связи между состоянием окружающей среды и здоровьем населения. Также привлекательной особенностью развиваемого подхода является то, что он основан на математическом моделировании молекулярного узнавания как одного из ключевых молекулярно-биологических механизмов обработки информации.

1. Власов В. В. Возможен ли индекс здоровья? // Военно-медицинский журнал. № 2. 1998.

**СИТУАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ПРЕДПРИЯТИЙ
ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Мешалкин В. П., Клименкова Л. А., Клименков А. В.

Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева

Метод ситуационного управления предприятиями химической промышленности как организационно-ситуационными объектами требует проведения ситуационного анализа с целью выявления возни-

кающих ситуаций, классификации ситуаций и их преобразования.

Усложнение самого объекта управления, необходимость учета экономических и экологических факторов не позволяет обеспечить требуемое качество управления традиционными методами. В условиях рынка предприятию для получения прибыли необходимо учитывать возможности изменения производительности, возможности поставок сырья различного качества и реализации продукции. Многие объекты химической технологии спроектированы с учетом получения продукции различного качества, что приводит к использованию различных режимов эксплуатации технологического оборудования, изменению расходов материальных и энергетических потоков.

Системы ситуационного управления, относящиеся к классу интеллектуальных систем, имеют многоуровневую иерархическую структуру. Ситуационный анализ проводится в соответствии с выбранной иерархической структурой системы управления:

- функционирование объектов управления осуществляется, как правило, в режимах, соответствующих технологическому регламенту (эксплуатационных), предаварийных и аварийных. В ряде случаев особо выделяются оптимальные режимы функционирования;

- классификация ситуаций, характеризующих функционирование объекта управления, проводится с учетом возможностей изменения, в соответствии с требованиями рынка (производительность, требуемое качество продукции, цена, характеристики поставляемого сырья, и т.д.). При использовании различных вариантов технологических схем, классификация включает их возможные варианты;

- проводится анализ технологических и экологических параметров объекта управления (диапазоны изменения переменных, тенденции изменения параметров при различных сроках эксплуатации оборудования, причинно-следственные связи между входными и выходными координатами, физико-химическая сущность явлений и т.д.);

- анализ предприятия как объекта ситуационного управления (выявление возмущающих, управляемых и управляющих воздействий для каждого уровня иерархической системы управления, анализ статических и динамических характеристик, выбор критериев эффективности и т.д.);

- анализ нарушений, связанных с возможными отказами технологического оборудования, контрольно-измерительных приборов и сбоев в функционировании комплекса технических средств, на которых реализована система ситуационного управления.

Далеко неполный перечень всех возможных задач, возникающих при разработке системы ситуационного управления, свидетельствует о сложности проблемы ситуационного управления химическим предприятием в условиях рыночной экономики.

При разработке иерархической структуры системы ситуационного управления и определении принадлежности задач к различным иерархическим уровням широко используются методы экспертных оценок.

Результатом ситуационного анализа предприятия химической промышленности является формирование базы знаний, используемой при создании системы ситуационного управления. При этом даже в процессе промышленной эксплуатации процесс формирования и коррекции базы знаний продолжается.

Для описания предприятия химической промышленности как объекта ситуационного управления используются как декларативные (типы сырья, продукции, характер возмущений, структура и параметры системы управления), так и процедурные (технологические регламенты, инструкции, причинно-следственные диагностические модели, эвристики и др. знания).

В состав базы знаний входят типовые математические модели процессов и аппаратов химической технологии, структурно-лингвистические, логические, продукционные модели представления знаний, а также искусственные нейронные сети.

При описании функционирования объектов управления в режимах, соответствующих технологическому регламенту, целесообразно использовать модели представления знаний в виде фреймов, т.е. осуществляется переход от фреймов-прототипов к фреймам-объектам. Для работы с экспертами на основе лексического анализа знаний предметной области разрабатывается ограниченный естественный язык. Предаварийные и аварийные ситуации могут быть представлены продукционными моделями. Для разработки моделей представления знаний об объектах химической технологии, обладающих многими свойствами, необходимо использовать теорию нечетких множеств. Применение искусственных нейронных сетей основывается на способности нейронных сетей к обобщению информации, позволяющему проводить прогнозирование изучаемого объекта. Такие свойства нейронных сетей как параллельная обработка, обучение на примерах и высокая отказоустойчивость способствуют их успешному применению для решения задач управления на разных уровнях иерархии системы ситуационного управления химическим предприятием. В случае неполноты информации могут быть использованы стохастические модели для аварийного, предаварийного и номинального режимов функционирования объекта управления.

Заключительным этапом ситуационного анализа химического предприятия как объекта ситуационного управления является разработка классификации ситуаций и вызывающих их причин. Ситуационное управление – это управление функционированием технической или организационно-технической системы на основе результатов интерпретации ситуаций, прогнозирования, планирования и выработки управляющих решений для технических систем, структура, свойства и основные процессы функционирования которых не могут быть полностью формально описаны с использованием разнообразных математических моделей.

РАСЧЕТ МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД С ПРИМЕНЕНИЕМ БАЗ ДАННЫХ

Колесников С. В., Меньшутина Н. В., Гордеев Л. С.

Российский химико-технологический университет им. Д. Н. Менделеева

Одним из основных методов очистки сточных вод [1] является реагентный или химический метод. В его основе лежат химические реакции, которые переводят вредные загрязнители в воде из раствора в нерастворимый осадок с последующим извлечением осадка из стока. Для проведения таких химических реакций в сточных водах необходимы соответствующие условия. Так, например, в гальванических производствах несколько типов стоков: цианосодержащие; хромсодержащие; содержащие соли тяжелых металлов; кислотнo-щелочные. Поэтому при реагентной очистке того или иного типа стоков требуется предварительная подготовка воды, заключающаяся, как правило, в коррекции рН среды. Затем проводятся химические реакции, которые переводят металлы в нерастворимую форму, что позволяет удалить гальваноосадки из жидкой фазы.

Многостадийный механизм очистки сточных вод гальванотехнических производств имеет следующий вид: коррекция рН – на этой стадии по известным величинам концентрации кислых и щелочных компонентов проводится расчет количества кислоты или щелочи, которую добавляют для достижения нужного значения рН стока; химические реакции для осаждения – на этой стадии рассчитывается расход реагента для осаждения металлов и др. вредных соединений по известным концентрациям; самопроизвольные процессы – на этой стадии смешивают стоки (например, кислотный с щелочным), в результате происходит частичная нейтрализация компонентов; химические реакции для обезвреживания Cr(VI), CN – на этой стадии в сток добавляются специальные реагенты (например, бисульфит натрия), а результате протекания химической реакции образуется нерастворимый осадок.

В соответствии с описанной схемой очистки гальваностоков нами разработан алгоритм и программный комплекс для расчета материального баланса и определения количества каждого компонента на всех стадиях процесса очистки. Ядром программной системы является реляционная база данных, содержащая следующие сущности: катион, анион, вещество или соединения, реакция, реагент. Программный комплекс состоит из ряда прикладных модулей и допускает расширение своих расчетных функций применительно к разнообразным химико-технологическим процессам очистки сточных вод.

1. Беличенко Ю. П. и др. Замкнутые системы водообеспечения химических производств. М.: Химия, 1996.
2. Колесников В. А. Экология и ресурсосбережение электрохимических производств. М.: МХТИ, 1989.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЭКСТРАПОЛЯЦИИ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ СОСТАВА ПОЛИКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМ

Родионова Н. С.

Воронежская государственная технологическая академия

Интенсивное развитие новых технологий поликомпонентных систем обусловлено объективной потребностью в экологически чистых функциональных материалах и продуктах, снижением их себестоимости, более широким использованием сырьевых ресурсов. Важная особенность технологии поликомпонентных систем – их вариантность, которая заключается в возможности получения одинакового результата различными сочетаниями ингредиентов, разнообразными технологическими приемами и физико-химическими способами воздействия на сырье.

Большое количество технологических операций, возможных рецептов и их вариативность приводят к необходимости аналитического сравнения значительно большего числа потенциальных технологических решений, что определяет целесообразность их автоматизированной оптимизации. В отношении поликомпонентных композиционных пищевых систем такой подход, основанный на математическом и системном моделировании, экономически эффективен за счет уменьшения стоимости и сокращения сроков изыскательских работ.

Цель данной работы состоит в оценке применимости метода экстраполяции экспертных оценок для оптимизации состава при автоматизированной разработке рецептов пищевых композиционных систем.

Алгоритм оптимизации состава методом экстраполяции экспертных оценок представляет собой итерационную процедуру, на каждом шаге которой реализуются два этапа численного нахождения множества проектных вариантов, оптимальных по Парето; и сужение этого множества по различным принципам отбора, например, по совокупности дополнительных критериев или функции полезности. Каждый качественный признак композиционной системы (q) имеет некоторую количественную меру – масс. %, рН, балльную оценку органолептических свойств, степень тиксотропии, вязкость, Пас и др., что позволяет экспериментально определять и оценивать эти признаки. Ранжирование проектных вариантов системы связано с некоторой целевой функцией $f(Q) = F(q_1, q_2, q_3, \dots, q_n)$, простейший вид которой представляет собой многочлен первой степени

$$U = \alpha_1 q_1 + \alpha_2 q_2 + \dots + \alpha_n q_n, \quad (1)$$

где α_n – весовые коэффициенты при q .

В НАШЕМ СЛУЧАЕ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИЕЙ ЯВЛЯЕТСЯ СООТНОШЕНИЕ ПРОТЕИНОВОГО И УГЛЕВОДНОГО КОМПОНЕНТОВ В РЕЦЕПТУРЕ КОМБИНИРОВАННЫХ ПРОДУКТОВ НА ОСНОВЕ ДИАФИЛЬТРАЦИОННОГО ПРОТЕИНОВОГО КОНЦЕНТРАТА И ИНУЛИНСОДЕРЖАЩЕГО РАСТИТЕЛЬНОГО ЭКСТРАКТА, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ПИТАНИЯ БОЛЬНЫХ С НАРУШЕНИЯМИ УГЛЕВОДНОГО ОБМЕНА. ДИАФИЛЬТРАЦИОННЫЙ КОНЦЕНТРАТ – РАСТВОР ПРОТЕИНОВ МОЛОКА, ОЧИЩЕННЫЙ ОТ УГЛЕВОДНО-МИНЕРАЛЬНОЙ ФРАКЦИИ С СОДЕРЖАНИЕМ ПРОТЕИНОВ ДО 8 МАСС. %. ИНУЛИНСОДЕРЖАЩИЙ РАСТИТЕЛЬНЫЙ КОМПОНЕНТ ПОЛУЧАЮТ ИЗ СУХОГО КОНЦЕНТРАТА ТОПИНАМБУРА ИЛИ НАТУРАЛЬНОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ – УГЛЕВОДНО-МИНЕРАЛЬНОЙ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНОЙ ПИЩЕВОЙ ДОБАВКИ, УСВАИВАЕМОЙ ОРГАНИЗМОМ БЕЗ УЧАСТИЯ ИНСУЛИНА.

ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ КОНТРОЛИРОВАЛИ СЛЕДУЮЩИЕ ПАРАМЕТРЫ: СООТВЕТСТВИЕ ТРЕБОВАНИЯМ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫМ К ПРОДУКТАМ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ И ФОРМУЛЕ СБАЛАНСИРОВАННОГО ПИТАНИЯ; ОБРАЗОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО КАРКАСА БЕЛКОВЫХ МИЦЕЛЛ ПРИ ПЕРЕХОДЕ СИСТЕМЫ ИЗ ЗОЛЯ В ГЕЛЬ И ФОРМИРОВАНИЕ КОНСИСТЕНЦИИ; СКОРОСТЬ ФЕРМЕНТАТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ И КОАГУЛЯЦИИ; СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОНЕЧНОГО ПРОДУКТА.

В результате экспертной оценки получена ранжировка

$$U_1 \} U_2 \} U_3 \} \dots \} U_n, \quad (2)$$

где U_n – n -й альтернативный проектный вариант, символ $\}$ означает степень превосходности по экспертной оценке.

Далее задача сводилась к определению направления вектора α_n , при котором проекции вектора U_n на вектор α_n упорядочены, как и вектор U_n согласно экспертному ранжированию (2). Дальнейшее ранжирование сводится к расположению всех векторов в порядке возрастания функции $f(U)$, что эквивалентно некоторому набору парных сравнений. Каждое парное сравнение определяет определенную гиперплоскость, отделяющую допустимые векторы α_n от тех, которые противоречат экспертной оценке. Полная информация об экспертном ранжировании адекватна внутренней части соответствующего многогранного конуса с вершиной в нуле. Любой вектор из этого конуса приемлем для выбора его в качестве вектора α_n . Существуют различные алгоритмы для нахождения граней конуса. Искомый вектор α_n должен обеспечивать наиболее устойчивое ранжирование, т. е. максимальный угол со всеми гранями конуса. Для решения этой задачи применимы методы случайного поиска или линейного программирования.

При сравнении органолептических свойств поликомпозиционных систем оценивались три критерия по десятибальной системе: q_1 – степень соответствия требований к продуктам специального назначения (допустимая массовая доля инулин-углеводной фракции); q_2 – комплекс органолептических показателей; q_3 – вязкость.

Для поиска оптимальных вариантов необходимо иметь непрерывные зависимости критериев q_i от основных входных параметров процесса. Получены эмпирические зависимости между критериями q_1 , q_2 , q_3 с последующим выражением q_2 и q_3 через q_1 . При параметрической идентификации функции (1) принято, что критерий q_1 более значим, чем q_2 , а q_2 важнее, чем q_3 . Это означает, что колебания наиболее значимого критерия от минимального до максимального значения оказывают более существенные влияния на качество продукта, чем аналогичное изменение менее важного критерия. Образцы, имеющие органолептическую оценку (q_2) 7 баллов и ниже, считали неприемлемыми.

Для различных вариантов сочетания молочно-растительных ингредиентов получены значения весовых коэффициентов α_1 и аппроксимирующие уравнения компонент эффективных вариантов (табл. 1).

Таблица 1

Значения весовых коэффициентов и аппроксимирующие уравнения компонент q_2 и q_3 для критерия оптимизации молочно-топинамбуровых компонентов

Варианты композиционной системы	α_1	α_2	α_3	q_2	q_3
УФ-концентрат и сухой концентрат	0,586 1	0,280 6	0,133 3	$10,6467 - 0,0707 q_1^2$	$7,5122 - 21,4893/q_1^2$
УФ-концентрат и натуральное растительное сырье	0,500 0	0,366 7	0,133 3	$11,4884 - \frac{12,8146}{12 - q_1}$	$1,2027 q_1 - 0,7212 q_1^2 + \frac{21,0764}{q_1}$
УФ-концентрат и водный инулин содержащий экстракт растительного сырья	0,470 6	0,311 8	0,217 6	$4,9762 + 3,0574 q_1 - 0,5325 q_1^2 - 0,0227 q_1^3$	$3,8918 q_1 - 0,4358 q_1^2 + 0,0097 q_1^3$

В результате решения задачи установлены предельные значения соотношения растительного углеводного и молочного протеинового компонентов, максимально отвечающие требованиям функциональности и сбалансированности состава композиции при сохранении комплекса органолептических свойств и вязкости.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ЭКСТРУДЕРА ПРИ ВЫХОДЕ ИЗ СТРОЯ ДАТЧИКОВ НЕКОТОРЫХ ЗОН

Магергут В. З., Вент Д. П., Аль Таамнех М.

Новомосковский институт РХТУ им. Д. И. Менделеева

Одной из центральных задач при управлении экструдером является поддержания в нем требуемого температурного поля, зависящего от характеристик полимерного материала и конструкции экструдера. От точности поддержания поля зависит качество получаемого конечного продукта. Для достижения цели по пути усовершенствования контроля температуры и, в частности, увеличения числа датчиков температуры в зонах экструдера.

Увеличение числа датчиков информации безусловно повышает надежность и точность измерения температурного поля экструдера, но одновременно увеличивает стоимость системы контроля и не позволяет интерполировать значения температуры в промежуточных точках зон при выходе из строя отдельных термодатчиков.

Нами предлагается осуществлять распределенный контроль температурного поля $T(l)$ экструдера по его аппроксимационной зависимости.

$$T(l) = \sum_{\lambda=0}^k b_{\lambda} y_{\lambda}(l), \quad (1)$$

где $y_{\lambda}(l)$ – некоторые известные базисные функции; l – пространственная переменная (длина); коэффициенты b_{λ} , $\lambda = \overline{0, k}$, $k+1 \leq m$ – определяются по экспериментальным данным $T_{ij}^{\circ} = T^{\circ}(l_j)$; j – номер датчика температуры T , $j = \overline{1, m}$ m – число датчиков; i – номер измерения. Если датчики температуры достаточно точны их количество невелико, то $k+1 = m$ и зависимости (1) превращается в интерполяционную; при использовании датчиков температуры с большой погрешностью и $m > k+1$ в качестве базисных функций $y_{\lambda}(l)$ следует применять ортогональные многочлены или степенные полиномы. Вектор коэффициентов $b = \{b_0, b_1, \dots, b_k\}$ и натуральное число k идентифицируются методом наименьших квадратов либо при каждом i -ом измерении температур T_{ij}° , либо (что более реально) при нарушении хотя бы одного неравенства $[T_{ij}^{\circ} - T_{i-1,j}^{\circ}] < \Delta T_j$, $j = \overline{1, m}$; ΔT_j – заданная (допустимая) погрешность.

В качестве примера рассмотрим задачу определения температурного поля семизонного экструдера, оборудованного пятью датчиками температуры в шнековой части и двумя – в головной части. Для измерения температуры здесь применяют достаточно точные термодатчики класса 1,0, поэтому для оценки температуры в произвольных точках l используют интерполяционную формулу

$$T^p(l) = \sum_{\lambda=0}^b y_{\lambda}(l, l_{\lambda}) T_{\lambda i}^{\circ}; \quad (2)$$

где $y_{\lambda}(l, l_{\lambda})$ – интерполяционные полиномы Лагранжа в точках l_{λ} установки температурных датчиков в семизонном экструдера, $T_{\lambda i}^{\circ}$ – значение температуры в момент времени t_i в точке $T_{\lambda i}^{\circ}$ $\lambda = \overline{0, 6}$.

Имитационное моделирование температурного поля семизонного экструдера и исследование точности (2) показали, что максимальная относительная погрешность интерполяционной зависимости не превышает 1,0 %. Так, например, при выходе из строя датчиков в точках l_2 и l_4 (т. е. при $T_{2i}^{\circ} = 0$, $T_{4i}^{\circ} = 0$) расчетные значения температур для зон 2 и 4 равны 183,02 °С и 177,48 °С, а фактические температуры в этих зонах таковы: 182,5 °С, б 178,0 °С. Приведенный пример показывает возможность исключения двух датчиков (из семи) температуры в шнековой части экструдера.

Предложенный подход может быть использован в промышленности для распределенного контроля и регулирования тех или иных технологических величин, например, температуры в различного типа сушильных установок (печей) и температурного поля ректификационных колонн, т.е. там, где необходим распределенный контроль и нет существенных помех при измерениях технологических координат.

При этом метод позволяет как сократить число используемых для контроля объекта датчиков, так и сохранить управляемость объектом при аварийном выходе датчиков из строя.

Естественно, можно дискутировать о целесообразности использования того или иного полинома или МНК для решения задачи, выбора места исключаемого датчика или о создании в базе знаний того или иного набора полиномов в зависимости от места датчика, аварийно вышедшего из строя.

В то же время для решения задач можно использовать те или иные интерполяционные полиномы (Лагранжа, Чебышева, Ньютона и др.) или применить метод наименьших квадратов (МНК) для расчета значений температурного поля в точках исчезновения информации или отсутствие датчиков по информации от имеющихся. Расчетные значения температур используются в качестве их текущих значений в названных точках.

В качестве примера рассмотрим семисезонный экструдер, пять зон которого расположены в шнековой части, а две в головке, при расположении датчиков в середине зон. Температуры в зонах шнека должны поддерживаться посредством АСР на уровнях $\bar{\Theta}_1 = 182,5$ °С, $\bar{\Theta}_2 = 182,5$ °С, $\bar{\Theta}_3 = 182,5$ °С, $\bar{\Theta}_4 = 178$ °С, $\bar{\Theta}_5 = 174,5$ °С, соответственно, от первой до пятой, а в головочных зонах на значениях $\bar{\Theta}_{6,7} = 176$ °С. Исходное значение температуры сырья составляет $\bar{\Theta}_0 = 50$ °С, а длина зон – 0,5 м.

Приведем решение задачи для случая обрыва линии или отсутствия датчиков в зонах 2 и 4 путем использования интерполяционного полинома Лагранжа.

Пусть измеренные значения температур в зонах 1, 3, 5 составляют, соответственно, $\Theta_1 = 180$ °С; $\Theta_3 = 181$ °С; $\Theta_5 = 176$ °С, т.е. в зоне 1 недогрев на 2,5 °С по отношению к $\bar{\Theta}_1$, в зоне 3 недогрев на 1,5 °С, а в зоне 5 – перегрев на 1,5 °С по отношению к $\bar{\Theta}_5$. Найдем расчетные значения температур в точках экструдера с координатами $\ell_2 = 0,75$ м (зона 2) и $\ell_4 = 1,75$ м (зона 4). Для повышения точности интерполяции и упрощения вычислений введем значение температуры при $\ell = 0 - \Theta_0 = 175,5$ °С = const. Тогда интерполяционный полином Лагранжа запишется в виде:

$$\begin{aligned} \Theta^p(\ell) &= \frac{(\ell - 0,25)(\ell - 1,25)(\ell - 2,25)}{(0 - 0,25)(0 - 1,25)(0 - 2,25)} \cdot 175,5 + \frac{\ell(\ell - 1,25)(\ell - 2,25)}{0,25(0,25 - 1,25)(0,25 - 2,25)} \cdot 180 + \\ &+ \frac{\ell(\ell - 0,25)(\ell - 2,25)}{1,25(1,25 - 0,25)(1,25 - 2,25)} \cdot 181 + \frac{\ell(\ell - 0,25)(\ell - 1,25)}{2,25(2,25 - 0,25)(2,25 - 1,25)} \cdot 176 = \\ &= 175,5 + 22,872222\ell - 20,666666\ell^2 + 4,711111\ell^3, \end{aligned} \quad (3)$$

а расчетные значения температур для зон 2, 4 будут равны

$$\Theta_2^p = 183,017 \text{ и } \Theta_4^p = 177,483.$$

Выражения, аналогичные (1), будем получать и при других значениях измеренных значений температур.

Учитывая, что измерение температуры происходит с определенной точностью, более целесообразным для определения температурного профиля может оказаться применение МНК. Например, если в тех же точках измеренные значения температур будут соответствовать их значениям требуемого профиля, то профиль шнековой части можно представить двумя уравнениями для зон 1 – 3 и 4,5

$$\hat{\Theta}_1(\ell) = k_1(1 - e^{-\ell/T_1}) + k\bar{\Theta}_0, \quad (4)$$

$$\hat{\Theta}_2(\ell) = k_3\bar{\Theta}_3 - k_2 \left(1 - \frac{T_3}{T_3 - T_2} e^{-\frac{\ell - 1,25}{T_3}} + \frac{T_2}{T_3 - T_2} e^{-\frac{\ell - 1,25}{T_2}} \right) - a, \quad (5)$$

где ℓ – координата длины экструдера по шнековой части; 1,25 – значение координаты (в метрах) места установки датчика третьей зоны.

Значения коэффициентов в (4), (5), полученные МНК, равны: $k = 1$; $k_1 = 132,5$; $T_1 = 0,07$; $k_2 = 1$; $k_3\bar{\Theta}_3 = 182,5$; $T_2 = 0,29$; $T_3 = 0,46$; $a = 0,55$. При этом расчетные значения температур для зон 2, 4 соответствуют:

$$\Theta_2^p = 182,5 \text{ °С; } \Theta_4^p = 178,05 \text{ °С.}$$

Таким образом, в рассматриваемом экструдере могут быть при предлагаемом подходе исключены два (40 %) датчика в шнековой части.

При использовании расчетных значений профиля для целей регулирования большой интерес представляет учет динамики изменения температуры. Это можно сделать зная знак приращения (производной) температуры и его величину. При этом для участка с противоположными знаками приращений на концах можно ввести, например, треугольную поправку с высотой равной среднему значению приращений на концах участка, со знаком "+" при изменении знаков приращения на концах с "+" на "-" и со

знаком "-" при противоположных, и с расположением этой высоты в точке основания треугольника, разделяющей его на отрезки пропорциональные приращениям на концах.

АЛГОРИТМ СГЛАЖИВАНИЯ ГРАФИКОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ

Бородин Д. Н., Кравчук К. Н., Чередниченко О. П.

Ростовская-на-Дону государственная академия сельскохозяйственного машиностроения

В процессе экспериментальных исследований в качестве устройства для снятия и обработки сигналов с аналоговых индуктивных датчиков все чаще используется персональный компьютер, оснащенный аналогово-цифровым преобразователем (АЦП). Такая методика позволяет производить замеры автоматически с записью оцифрованных сигналов в файл с последующей аппроксимацией экспериментальных данных аналитическими зависимостями и их визуализацией посредством графиков.

Аналого-цифровое преобразование сигналов реализуется в рассматриваемой системе с помощью дополнительной платы ввода-вывода данных в компьютер.

Используемая нами плата включает в себя 12-разрядный АЦП с программируемым входным диапазоном сигнала и 12-разрядным ЦАП с временем установления 10 мкс и выходным диапазоном сигнала от -5 V до $+5\text{ V}$.

Проведенные предварительные исследования платы АЦП показали, что большая чувствительность (с дискретностью $0,0025\text{ В}$), сравнительно большая амплитуда измерения (до 10 В), а также высокая частота дискретизации (до 100 кГц на канал) приводит к появлению помех, влияющих на точность измерения экспериментальных данных. Помехи зависят от типа используемых датчиков. Индуктивные датчики имеют высокочастотный задающий генератор с множеством гармоник, тензодатчики – температурную нестабильность. Помехи обусловлены также наводками и искажениями сигнала усилительной аппаратурой датчиков, источников питания, взаимными помехами при многоканальных измерениях и другими причинами.

Для устранения помех необходимо использовать современные цифровые датчики, осуществить заземление контура измерительного комплекса, уменьшить количество промежуточных приборов (усилителей); использовать фильтры.

Программная обработка сигналов позволяет устранить оставшиеся помехи и случайные погрешности измерений. Полученные оцифрованные значения для отсеивания случайных выбросов подвергались усреднению (сглаживанию) различными способами. Простейшим является линейное сглаживание по N -очередным отсчетам последовательности экспериментальных данных. Возможно использование и других методов сглаживания: метод наименьших квадратов, сглаживающие сплайны, функции Безье и Би-сплайны. Наиболее эффективным оказался метод сплайнов, позволяющий уменьшить помехи за счет учета влияния на результирующие (сглаженные) значения соседних опорных точек с весом влияния, пропорциональным расстоянию до них. Использование сплайнов целесообразно также потому, что системы линейных уравнений для нахождения коэффициентов сплайна оказываются сравнительно простыми для вычисления.

Для сглаживания списка с результатами замеров S_i и P_i , полученного посредством программы АСП, использован метод Би-сплайна. Суть сглаживания данным методом [1] заключается в том, что из списка файла последовательно выбираются по две точки (начиная со второй), и между ними строится кривая кубического полинома по четырем точкам – двум ранее принятым S_i и S_{i-1} и двум соседними с ними S_{i+1} , S_{i+2} (i изменяется от 2 до $n - 2$, где n – количество элементов в списке). Расчет сглаженных значений S_{is} и P_{is} осуществляется по формулам:

$$S_{is} = A_0 + (A_3 t + A_2) t + A_1, \quad P_{is} = B_0 + (B_3 t + B_2) t + B_1, \quad (1), (2)$$

где $A_0 = (S_{i-1} + 4S_i + S_{i+1})/6$; $A_1 = (S_{i-1} + S_{i+1})/2$; $A_2 = (S_{i-1} - 2S_i + S_{i+1})/2$; $A_3 = (-S_{i-1} + 3S_i - 3S_{i+1} + S_{i+2})/6$; $t = (S_i - S_{i+1})/n$ – шаг между сглаживаемыми точками; n – количество сглаженных точек в диапазоне от S_i

до S_{i+1} . Коэффициенты уравнения (2) B_0, B_1, B_2, B_3 вычисляются по значениям $P_{i-1}, P_i, P_{i+1}, P_{i+2}$ аналогичным образом.

Приведенный выше алгоритм сглаживания реализован программой, разработанной на языке Паскаль. Программа *INTERPOL.pas* загружается следующим образом: *INTERPOL <имя>.txt N*, где: *<имя>.txt* – имя исходного файла со сглаживаемым сложным списком, формируемым программой *ACP.PAS*; N – коэффициент сглаживания, задающий количество повторных проходов по списку в процессе сглаживания. Программа включает следующие процедуры: *LoadstrX (i_op_kol)* – загружает исходный файл и определяет по структуре сглаживаемого списка (по количеству открывающихся и закрывающихся скобок) количество повторностей опыта, которое записывается в переменную *i_op_kol*; *Load (i_op_tek)* – загружает исходный файл *<имя>.txt* и преобразует список в два массива: *datX_0* – аргумент, *datY_0* – исследуемая функция; *Save (i_op_tek)* – преобразует массивы со сглаживаемыми данными *datX_1* и *datY_1* в сложный список; *SaveScr (i_op_tek)* – формирует скрипт-файл для визуализации результатов сглаживания данных.

Головной модуль программы реализует следующие функции:

1) Проверяет наличие файла с параметрами *<имя>.txt* и в случае его отсутствия запрашивает его имя у пользователя, предлагая по умолчанию файл *P01.txt*. 2) Запрашивает у пользователя номер повторности опыта для сглаживания. 3) Загружает список со сглаживаемыми данными в массив. 4) В цикле с количеством повторений равным коэффициенту сглаживания N , рассчитывает сглаженные значения по формулам (1) – (2) и помещает их в список. При задании N следует учитывать, что при большом числе повторений устраняются не только случайные погрешности, но и изменяется характер закономерности исследуемого процесса. 5) Записывает список со сглаженными значениями в файл *<имя>.DOT*, размещая его в текущем каталоге. 6) Формирует скрипт-файл *<имя>.SCR* для визуализации результатов сглаживания посредством графической системы *AutoCAD*.

Учитывая, что наводимые помехи, как правило, имеют гармоническую структуру, представляется возможным, проанализировав цифровые значения сигналов на начальном (статическом) участке эксперимента, определить функцию помехи (разложением в ряд Фурье) с последующим пересчетом результатов всего эксперимента.

Достоверность сглаженных оцифрованных экспериментальных данных повышается с увеличением количества повторений опытов, приведенных к одинаковому количеству замеров методами интерполяции и аппроксимации.

1. Амирал Л. Принципы программирования в машинной графике. М.: СолСистем, 1992.

Применение систем коллективного доступа
при диспетчеризации удаленных объектов
Фролов С.В., Трофимов А.В.

Тамбовский государственный технический университет,
frolov@ahp.tstu.ru

Для эффективной работы таких отраслей промышленности как электроснабжение, газоснабжение, теплоснабжение, требуется своевременный и точный учет параметров транспортировки и расхода ресурсов, сигналов об аварийных ситуациях, тревог систем безопасности объектов. Для получения такой информации необходимо построение автоматизированной диспетчерской системы управления. Для указанных отраслей характерно наличие объектов диспетчеризации находящихся на большом удалении от населенных пунктов и центрального диспетчерского пульта. В данное время информация передается в основном по радиоканалу с применением радиостанций или радиомодемов. Радиопередача имеет ограниченную дальность, при этом, как правило, система работает в направлении от объекта к диспетчерскому пульта, а многие объекты требуют наличия обратной связи. Однако обратная связь является дорогостоящей.

В связи с вышесказанным, нами предлагается использование систем коллективного доступа, которые характеризуются тем, что они уже созданы провайдером, рассчитаны на большое количество поль-

зователей и соответственно обходятся более дешево, обладают многими способами защиты передаваемой информации. Организация платит только за эксплуатацию постоянного выделенного канала или за тарифицируемое время. Примером перспективной системы коллективного доступа является сотовая связь с технологией SMS (служба коротких сообщений). В простейшем случае это выглядит так: оконечное оборудование (датчики, контроллеры, сотовый терминал); сама система сотовой связи; аппаратура диспетчерского пункта (сотовый терминал, диспетчерский пульт). Характерна небольшая стоимость оборудования, низкая тарификация за услуги.

Все больший интерес вызывают комплексные системы передачи информации. Весь путь информации от источника до конечного пункта можно разбить на отрезки, на которых уже существуют определенные системы передачи (сотовая связь, оптоволоконная линия, линия электропередачи, радиосеть, другие виды телекоммуникаций), и соединить их в единый информационно-передающий канал.

При комбинированных системах передачи данных встает вопрос о выборе оптимального набора составляющих канала, обеспечивающего при минимальной стоимости соответствие критериям надежности и качества информации.

Нами ведется работа по созданию экспертной системы разработчика автоматизированных комплексов диспетчеризации, помогающей в принятии решений об оптимальном выборе информационно-измерительного канала или составляющих канала в комбинированной системе передачи данных. Работа основана на построении математических моделей каждого вида связи, модели комбинированной системы для каждого конкретного случая, построение модели системы диспетчеризации, постановке и решении задачи оптимизации по заданным критериям.

СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ НАГРЕВА ЧАСТИЦЫ В ПОТОКЕ ГАЗА ПЕРЕМЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

Зуева Г. А., Падохин В. А., Блиничев В. Н.

Институт химии растворов РАН, ИГХТУ, vap@ihnr.polytech.ivanovo.su

В СООТВЕТСТВИИ С МЕТОДОЛОГИЕЙ СИСТЕМНО-СТРУКТУРНОГО ПОДХОДА К АНАЛИЗУ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ, ПОСТРОЕНА СТРУКТУРНАЯ СХЕМА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СФЕРИЧЕСКОЙ ЧАСТИЦЫ С ГРАНИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ ТРЕТЬЕГО РОДА ПРИ ОТСУТСТВИИ И НАЛИЧИИ В НЕЙ ВНУТРЕННИХ ИМПУЛЬСНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛОТЫ.

ЭЛЕМЕНТАМИ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ЯВЛЯЮТСЯ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОПЕРАТОРЫ – ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ФУНКЦИИ. ОНИ УСТАНОВЛИВАЮТ ПРАВИЛА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЧАСТИЦУ В ПОРОЖДАЕМУЮ ИМИ РЕАКЦИЮ. ОПЕРАТОРНЫЕ ФУНКЦИИ, ОПИСЫВАЮЩИЕ ЗВЕНЬЯ СХЕМЫ, ЯВЛЯЮТСЯ ПРОСТЫМИ ПО СВОЕМУ ВИДУ, А ВХОДЫ И ВЫХОДЫ ИМЕЮТ НАГЛЯДНУЮ ФИЗИЧЕСКУЮ ИНТЕРПРЕТАЦИЮ. СОСТАВЛЕННАЯ ТАКИМ ОБРАЗОМ СХЕМА ПРЕДСТАВЛЯЕТ СОБОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИЮ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОТОКОВ ТЕПЛОТЫ НА ГРАНИЦЕ И ВНУТРИ ЧАСТИЦЫ, ЯВЛЯЯСЬ, ПО СВОЕЙ СУТИ, ОБОБЩЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛЬЮ ПРОЦЕССА НАГРЕВА.

С помощью структурной схемы проведен качественный анализ формирования температурного поля частицы. Показано, что выражение для изображения приращений температуры как на поверхности, так и внутри частицы представляет собой сумму двух слагаемых: одно из них отражает влияние конвективного потока на границе частица-среда, второе – влияние действия внутренних импульсных источников теплоты.

Появление замкнутого контура в схеме, образующего обратную связь, отражает специфику граничных условий третьего рода. Чем выше температура поверхности, тем меньше конвективный поток поступающий на эту поверхность, ибо он пропорционален разности приращений температур среды и поверхности частицы.

На структурной схеме обозначены промежуточные координаты. Они могут быть использованы для построения схемы идентификации теплофизических параметров. Показано, как с помощью структурной

схемы решения данной задачи, по результатам измерения приращений температуры среды и поверхности частицы можно идентифицировать коэффициент теплоотдачи. С помощью системно-структурного подхода построена схема идентификации коэффициента теплоотдачи. Продемонстрирована методология нахождения коэффициента теплоотдачи из условия минимума среднеквадратичного функционала, образованного разностью температуры измеренной в эксперименте и полученной расчетным путем по модели.

Обсуждены преимущества системно-структурного подхода к моделированию процессов теплопереноса. Показано, что он особенно эффективен при решении широкого круга инженерных задач, таких как: проектирование информационно-измерительных систем, включающих элементы различной физической природы (например, тепловой и электрической); управление процессом теплопереноса; синтез сложных тепловых систем с наперед заданными процессами формирования температурных полей; разработка нестационарных методов теплофизических измерений.

СИСТЕМНАЯ МОДЕЛЬ СИНТЕЗА ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

Золотарев Ю. Н.

Воронежская государственная технологическая академия,
kafasu@vgta.vrn.ru

С системных позиций рассматривается синтез обеспечения термодинамического состояния воздуха. Системная модель отражает взаимодействие элементов и выступает планом проектирования элементов предлагаемой концепции

$$\text{СКВ} < \text{ЦН, ОБ, ВС} >, \text{ЦН} < \text{Т, Д, Ч} >, \text{ОБ} < \text{ФВ, АФ, СТ, ЭФ} >, \quad (1)$$

$$\text{ФВ} < \text{ПФ, состояния РРФ} >, \text{АФ} < \text{ЛСА РРФ, условия ПТР} >, \quad (2) \\ \text{СТ} < \text{Агрегаты, РЭС} >,$$

где СКВ – система кондиционирования воздуха; ЦН – целевое назначение; ОБ – обеспечение; ВС – воздушная среда; ФВ – функциональные воздействия на ВС; АФ – алгоритм функционирования системы; СТ – структура; ЭФ – эффективность кондиционирования, ПФ – процессы функционирования; ЛСА – логическая схема алгоритма; РРФ- расчетный режим функционирования; ПТР – переключение технологических режимов; РЭС- ресурсы энергии и сред; Т – тепловлажностное состояние ВС в обслуживаемом пространстве (ОП); Д – подвижность ВС в ОП; Ч – чистота и газовый состав ВС в ОП.

Среда ВС характеризуется параметрами тепловлажностного состояния (например, температурой и влажностью), а также их плотностями распределения вероятности.

Понятие РРФ отражает моментное термодинамическое состояние ВС в СКВ, которое соответствует технологическому режиму в условиях текущего состояния наружного воздуха (НВ) и воздуха в ОП. Оно достигнуто благодаря текущим значениям мощности источников тепла, холода, воды и импульса воздуха. Понятие РЭС включает оценки последних параметров за некоторый временной период функционирования СКВ, например, за год.

В основе предлагаемой концепции (1), (2) предметной области лежит не ключевой признак, например, ФВ, а взаимодействие составляющих ОБ СКВ – ФВ, АФ, СТ и ЭФ.

В результате иерархической декомпозиции концептуальной модели (1), (2) выделены два уровня. Нижний уровень образуют ПФ агрегатов, реализующих ФВ на ВС при ее кондиционировании. Верхний уровень представляет информационно-структурная модель кондиционирования (ИСМК), отображающая СТ и АФ СКВ. Задача верхнего уровня заключается в координации моделей нижнего уровня и достижении качества, оцениваемого степенью реализации ЦН в показателе ЭФ.

Локальная оптимизация подсистем СКВ на нижнем уровне системной модели ограничена множеством состояний расчетного режима функционирования в соответствии с логической схемой АФ.

Степень влияния уровня моделей ПФ агрегатов на уровень ИСМК (нижнего на верхний) зависит от объема имеющейся информации. Задача синтеза системной модели может быть представлена как: 1) определение неизвестной структуры; 2) нахождение параметров ОБ СКВ, при которых справедлива гипотеза, принятая относительно структуры. Первый подход ведет к оценке оператора связи случайных процессов с позиций теории случайных функций. Представленная в виде табл. 1 системная модель опи-

рается на второй подход, для которого характерно определение параметров объекта как результата подстройки модели прототипа.

В табл. 1 уровень моделей нижнего уровня отражает строка 3 (определение ФВ системы). Уровень ИСМК представляют строки 2, 4 и 5.

Таблица 1

Синтез обеспечения термодинамического состояния СКВ			
Процедуры	Операции		
	Синтез перспективного множества	Анализ связей	Принятие решения
1. Оценка показателя ЦН	1.1. Синтез структур параметров нормативного состояния ВС в ОП	1.2. Анализ влияния НВ на сезонную производительность СКВ	1.3. Проверка гипотезы о необходимости перехода к СКВ
2. Определение АФ системы	2.1. Синтез множества базовых РРФ и условий ПТР	2.2. Оценка соответствия вероятной траектории изменения состояния НВ и РРФ	2.3. Выбор паспортного РРФ и определение условий его оптимальности
3. Определение ФВ системы	3.1. Синтез множества ПФ соответствующего состояниям РРФ	3.2. Анализ РЭС в условиях РРФ	3.3. Установление паспортных мощностей источников тепла, холода, воды и импульса воздуха

Продолжение табл. 1

Синтез обеспечения термодинамического состояния СКВ			
Процедуры	Операции		
	Синтез перспективного множества	Анализ связей	Принятие решения
4. Определение СТ системы	4.1. Синтез характерных множеств технологических параметров агрегатов	4.2. Анализ капитальных затрат	4.3. Выбор структуры удовлетворяющей минимуму капитальных затрат
5. Оценка эффективности	5.1. Генерация слагаемых приведенных затрат	5.2. Анализ меры отклонения от известных	5.3. Оценка риска и выбор путей улучшения полученно-

системы	на элементы системы	технических решений	го решения
---------	---------------------	---------------------	------------

Концептуальная модель (1), (2) объединяет ключевые понятия рассматриваемой предметной области и раскрывает направления поиска эффективных проектных решений. Системная модель синтеза обеспечения термодинамического состояния пневмосистемы объясняет суть проектирования процессов, алгоритмов и структур, а также их взаимодействие в комплексе обеспечения.

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССОВ КАТАЛИТИЧЕСКОГО ГИДРИРОВАНИЯ

Сульман М. Г., Косивцов Ю. Ю., Блохина Ю. А.
Тверской государственный технический университет,
sulman@online.tver.ru

ОДНОЙ ИЗ ОСНОВНЫХ ПРОБЛЕМ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ КИНЕТИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВАХ, ЯВЛЯЕТСЯ ПРОБЛЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПУТЕЙ ПРОТЕКАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ. ДЛЯ ПРОЦЕССОВ ГИДРИРОВАНИЯ ЭТАП МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ИМЕЕТ ОСОБУЮ АКТУАЛЬНОСТЬ, ТАК КАК ЭТИ ПРОЦЕССЫ ПРОТЕКАЮТ С УЧАСТИЕМ ГЕТЕРОГЕННОГО КАТАЛИЗАТОРА, МЕХАНИЗМ ДЕЙСТВИЯ КОТОРОГО НЕ ВСЕГДА ИЗВЕСТЕН. ЭТО СВЯЗАНО С НЕДОСТАТОЧНОСТЬЮ ЗНАНИЙ ОБ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ АКТАХ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ, ПРОТЕКАЮЩИХ НА ПОВЕРХНОСТИ ГЕТЕРОГЕННОГО КАТАЛИЗАТОРА. В СВЯЗИ С ЭТИМ ШИРОКО ИСПОЛЬЗУЮТСЯ ЭМПИРИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ, НЕ ПРОТИВОРЕЧАЩИЕ ЗАКОНАМ ХИМИЧЕСКОЙ КИНЕТИКИ И ЯВЛЯЮЩИЕСЯ БАЗОЙ ДЛЯ ПОСТАНОВКИ И РЕШЕНИЯ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ КИНЕТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ.

Кинетические модели жидкофазных каталитических реакций в большинстве случаев формируются на языке дифференциальных уравнений. Это так называемые "стандартные динамические модели", которые при фиксированном значении группы независимых переменных (температуры, давления, концентрации катализатора и др.) записываются в виде

$$d\bar{C}/d\tau = \bar{f}(\bar{C}, \bar{K}), \quad \bar{C}(0) = \bar{C}_0, \quad (1)$$

где $\bar{C} = \bar{C}(\tau)$ – N -мерный вектор состояния (например, концентраций), \bar{K} – P -мерный вектор кинетических параметров. Вектор-функция $\bar{f}(\bar{C}, \bar{K})$, называемая кинетическим законом в общем случае является нелинейной функцией параметров. Из экспериментальных измерений, проводимых в ходе кинетических экспериментов в реакторе закрытого типа, могут быть получены дискретные значения вектора $\bar{C}(\tau)$, измеряемые с некоторой ошибкой в m различных моментах времени

$$\bar{C}_m = \bar{C}(\tau) + \bar{\varepsilon}_m, \quad (2)$$

где $\bar{\varepsilon}_m$ – вектор элементарных ошибок в m -ом измерении, $m = 1, 2, \dots, M$; M – число измерений.

Решение обратной задачи основано на минимизации некоторой подходящей меры отклонения расчетных данных по модели от экспериментальных данных. Хорошо известные методы решения обратных задач [1] основаны на минимизации целевой функции, построенной с использованием решения системы дифференциальных уравнений модели (1), например, в виде взвешенной суммы квадратов отклонений решения $\bar{C}(\tau_m, \bar{K})$ от соответствующей экспериментальной оценки вектора \bar{C}_m ($m = 1, 2, \dots, M$)

$$S = \sum_{m=1}^M (\bar{C}(\tau_m) - \bar{C}_m)^T Q_{3,m}^{-1} (\bar{C}(\tau_m) - \bar{C}_m), \quad (3)$$

где $Q_{3,m}$ – некоторая, подходящим образом выбранная матрица весов. Минимизация целевой функции S градиентными методами выполняется по ходу итерационной процедуры, на каждом шаге которой необходимо выполнять совместно численное интегрирование системы (1) и численное интегрирование

уравнений чувствительности, решение которых необходимо для построения вектора-градиента, указывающего направление продвижения к точке минимума. Данные процедуры численного интегрирования, определяют основные затраты машинного времени, хотя являются эффективными по конечным результатам. Поэтому для решения расчетных задач используют укороченные методы (short cut) [2]. Эти методы построены на некоторых приближениях, позволяющих избежать процедуру численного интегрирования системы дифференциальных уравнений исходной модели.

В СЛУЧАЕ ПОИСКА ПАРАМЕТРОВ КИНЕТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССОВ ГИДРИРОВАНИЯ, МИНИМИЗАЦИЮ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ ЦЕЛЕСООБРАЗНО ПРОВОДИТЬ МЕТОДОМ ЛЕВЕНБЕРГА-МАРКВАРДА, КОТОРЫЙ В ОТЛИЧИИ ОТ МЕТОДА НЬЮТОНА-ГАУССА, ИМЕЕТ ЗАЩИТУ ОТ ПЛОХОЙ ОБУСЛОВЛЕННОСТИ МАТРИЦЫ $(X_i^T X_i)$ ГДЕ X_i – МАТРИЦА ЯКОБИ, ПО ПАРАМЕТРАМ, ВЫСОКУЮ СКОРОСТЬ СХОДИМОСТИ, НЕ ТРЕБУЕТ ВЫЧИСЛЕНИЯ ВТОРЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ ПО ПАРАМЕТРАМ. ЭТО ДЕЛАЕТ МЕТОД ПРОСТЫМ ДЛЯ ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ, ТАК КАК ПРОГРАММА ПОИСКА ОЦЕНОК ПАРАМЕТРОВ БУДЕТ СОДЕРЖАТЬ ЕДИНУЮ КЛЮЧЕВУЮ ПРОЦЕДУРУ АППРОКСИМАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ КУБИЧЕСКИМ СПЛАЙНОМ, Т.Е ОТСУТСТВУЕТ НЕОБХОДИМОСТЬ НАПИСАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МОДУЛЕЙ ДЛЯ ПОИСКА ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ И ЕЕ ЧАСТНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ПО ПАРАМЕТРАМ.

1. ХИММЕЛЬБЛАУ Д. АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ СТАТИСТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ М.: МИР, 1973. 957 С.
2. СВИДЕТЕЛЬСТВО ОБ ОФИЦИАЛЬНОЙ РЕГИСТРАЦИИ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ № 200161158. Ю. А. БЛОХИНА, М. Г. СУЛЬМАН, 2001.

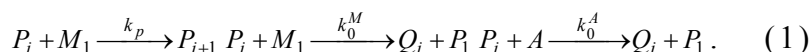
РАСЧЕТ КИНЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ДИЕНОВ

СПИВАК С. И., УСМАНОВ Т. С, МУСТАФИНА С. А, МАКСЮТОВА Э. Р.
СТЕРЛИТАМАКСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ,
MAKELLA@RAMBLER.RU

Рассмотрена модель процесса полимеризации на одной из каталитических систем и показано решение прямой и обратной задачи.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ СВОДИТСЯ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ КИНЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ, КОТОРЫЕ ПОЗВОЛЯЮТ ОПРЕДЕЛИТЬ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБРАЗУЮЩЕГОСЯ ПОЛИМЕРА, ТАКИЕ КАК СРЕДНЕЧИСЛЕННАЯ И СРЕДНЕВЕСОВАЯ МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МАССЫ ПОЛИМЕРА. ПОЛУЧИТЬ КИНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ В ХОДЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ДОСТАТОЧНО СЛОЖНО, В СВЯЗИ С ЭТИМ ВОЗНИКАЕТ НЕОБХОДИМОСТЬ СТРОИТЬ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ, ПОЗВОЛЯЮЩИЕ РАССЧИТЫВАТЬ КИНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ.

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПОЛИМЕРИЗАЦИИ БУТАДИЕНА НА КАТАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ $NDCl_3$ -ТРИБУТИЛФОСФАТ-ТРИИЗОБУТИЛАЛЮМИНИЙ ВКЛЮЧАЕТ В СЕБЯ РЕАКЦИЮ РОСТА ЦЕПИ И РЕАКЦИИ ОБРЫВОВ ЦЕПИ НА МОНОМЕР И АЛЮМИНИЙОРГАНИЧЕСКОЕ СОЕДИНЕНИЕ (АОС):



Математически эта схема описывается системой обыкновенных дифференциальных уравнений [1]. Полагая, что процесс образования макромолекул полимера не ограничен, число уравнений системы бесконечно. Прямая задача заключается в нахождении среднечисленной $Mn(t)$ и средневесовой $Mw(t)$ молекулярных масс полимера, а обратная задача сводится к поиску кинетических констант скоростей реакций процесса и концентрации активных центров. Применяя метод моментов [2], переходим от бесконечной системы дифференциальных уравнений к системе с конечным числом уравнений. Откуда получаем значения молекулярных характеристик

$$Mn(t) = M_n \frac{\mu_1(t) + \lambda_1(t)}{\mu_0(t) + \lambda_0(t)} \quad Mw(t) = M_n \frac{\mu_2(t) + \lambda_2(t)}{\mu_1(t) + \lambda_1(t)}. \quad (2)$$

Обратная задача сводится к поиску минимума функционала

$$R(z) = \sum_{i=1}^n \left(Mn(z)_{\text{эксп}}^{(i)} - Mn(z)_{\text{расч}}^{(i)} \right)^2, \quad (3)$$

в котором компонентами вектора-аргумента функции $R(z)$ являются оптимизируемые параметры k_p , $P_1^{(0)}$, k_0^M , k_0^A .

Построенный алгоритм и программа поиска кинетических параметров для (1), применены нами к модели полимеризации изопрена (TiCl₄-дифенилоксид-пиперилден-триизобутилалюминий). Рассчитанные кинетические параметры хорошо согласуются с экспериментальными данными.

1. Яблонский Г. С., Спивак С. И. Математические модели химической кинетики. М.: Знание, 1977.
2. Подвальный С. Л. Моделирование промышленных процессов полимеризации. М.: Химия, 1979.

ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В НЕОДНОРОДНОЙ ПОРИСТОЙ СРЕДЕ

Юмагузина А. Г.

Стерлитамакский государственный педагогический институт, aigul_str@mail.rb.ru

Экологическая чистота, а также возможность достаточно простых технических решений делают привлекательными термические методы обработки приквасинных зон горных пород с помощью акустических волн. При описании волновой и температурной задачи в системе нами приняты следующие допущения: температура жидкости и скелета пористой среды в каждой точке совпадают; пористый скелет несжимаемый. Полагается, что неоднородность температурного поля не влияет на акустическое поле давления.

Рассмотрена двухслойная пористая среда с пористостью m_1 и проницаемостью $k_{*(1)}$ в первой зоне ($0 < x \leq x_s$) и с пористостью m_2 и проницаемостью $k_{*(2)}$ во второй зоне. Для нестационарного течения жидкости в пористой среде используется система линеаризованных уравнений импульсов и уравнения состояния для каждой зоны.

Граничное условие при $x=0$ определяется по формуле $p = A_p \cos \omega t$, а для границы $x = x_s$ запишем условия отсутствия скачка давления и скорости движения жидкости $[p] = 0$, $[u] = 0$, $x = x_s$.

Для правой границы второй зоны рассмотрим два случая: она непроницаемая $u = 0$, $x = l$ или высокопроницаемая $p = 0$, $x = l$.

Основным механизмом, переводящим энергию волнового поля в пористой среде в тепло, является сила вязкого трения между насыщающей жидкостью и скелетом в пористой среде. Учитывая это обстоятельство, построена функция объемного источника тепла для процесса нагрева пористой среды с помощью акустического поля. Проанализированы зависимости мощности теплового источника от параметров волнового поля и параметров, определяющих состояние пористой среды.

Показано что увеличение частоты волны не дает желаемого эффекта. В этом случае основная часть затрачиваемой энергии уходит на нагрев ближней зоны. Максимум температуры наблюдается не на гра-

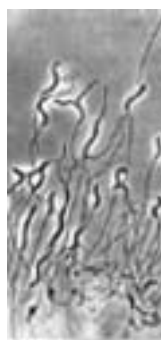
границе, а внутри пористой среды в зоне с меньшей проницаемостью. Это дает основание утверждать, что с подводом акустического поля можно добиваться эффективного воздействия на засоренные зоны.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФРАКТАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Арзамасцев А. А., Слетков Д. В., Ушакова Е. В.

Тамбовский государственный университет им. Г. Р. Державина, kmm@tsu.tmb.ru

Фрактальная геометрия и ее использование совместно с компьютерными технологиями дали новый импульс в решении проблем морфогенеза природных объектов и получения подобных форм в компьютерных средах. В настоящее время в указанном направлении сделаны существенные шаги, связанные в основном с компьютерным представлением форм, структур поверхностей, анимацией и др. [1] – [3]. Предпринимаются активные попытки привлечения фрактальной геометрии для объяснения формообразования пространственных объектов в биологии, минералогии, физике твердого тела. Однако, несмотря на значительные усилия, результаты касаются, как правило, лишь частных задач. При этом остаются невыясненными ответы на следующие вопросы. 1. Почему фрактальную геометрию можно считать адекватным формальным аппаратом для описания образования форм некоторых природных объектов? 2. Как конструировать фракталы, характеризующие ту или иную форму? 3. Какие природные механизмы могут порождать фрактальный характер форм объектов? 4. Как на основании экспериментальных данных (см. рис. 1) понять имеет ли объект фрактальную природу или нет?



Alysiaella filiformis
 $D = 1,7445$

Thiodendron sp.
 $D = 1,5271$

Azotobacter chroococcum
 $D = 1,789$

Рис. 1

Возможные подходы к решению указанных проблем обсуждаются в данном докладе. В качестве практических результатов проведен анализ изображений сообществ некоторых микроорганизмов [4] – [5] и подтвержден фрактальный характер изображений. Соответствующие фрактальные размерности D определены по формуле $N(q) \sim q^{-D}$ путем подсчета числа блоков точек, необходимых для покрытия множества в зависимости от размера блока. Данный алгоритм реализован в виде программы, которая позволяет производить расчет фрактальной размерности для монохромных изображений фракталов (формат *.BMP). Программа работает с изображениями любого разрешения. Фрактальная размерность вычисляется по точечному методу [5]. Программа подсчитывает и выводит не только результат подсчета фрактальной размерности, но и дополнительную информацию ($q, \alpha * N(q)$).

1. Mandelbrot B. B. The Fractal Geometry of Nature. San Francisco: Freeman, 1982.
2. Пайтген Х.-О., Рихтер П. Х. Красота фракталов. М.: Мир, 1993.
3. Федер Е. Фракталы. М.: Мир, 1991.
4. Краткий определитель бактерий Берги / Под ред. Дж. Хоулта. М.: Мир, 1980.
5. Кроновер Р. М., Фракталы и хаос в динамических системах. М.: Постмаркет, 2000.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИИ ЗРЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА

Мельник Ю. Б., Жигулина И. В.

Тамбовский военный авиационный инженерный институт

В норме при визуальном восприятии неподвижных объектов глаз может находиться только в одном из двух состояний: в состоянии фиксации или в состоянии смены точек фиксации.

Процесс зрения начинается и заканчивается скачком, т.е. перемещением глаз с одного объекта или скачком к началу, на объект последующего зрения. Этот скачок характеризуется геометрически углом поворота глаз на несколько градусов, а также цепью различного рода динамических колебаний последовательных процессов.

Принимая во внимание недостаточную разрешающую способность аппаратуры и имеющиеся знания, полученные при экспериментах, можно представить семейство кривых, описывающих скачок, в более конкретном виде. Если на осях координат отложить время и перемещения поворота глаза и вибрационных смещений, то малые амплитуды соответствуют колебаниям мышц в квазистатическом состоянии глаза. Увеличивающиеся амплитуды соответствуют началу вынужденных колебаний под воздействием мышечных сил биологического характера и началу резонансной раскачки, которая переходит в скачок соответствующий повороту глаза. При команде на переход в иное положение и в частности на прекращение зрения мыслительно-психический аппарат подает мышцам команду на выработку силы на переход в релаксационный режим, который завершается исходным процессом, т.е. наиболее малыми вибрациями мышц глаза (рис. 1, 2).

Математическая модель позволяет получить конкретные параметры функционирования глаз различных объектов и тем самым получать объективные характеристики, описывающие индивидуальные свойства операторов. Физическая и математическая модели представляют собой возможность составлять технические задания и тактико-технические требования к разрабатываемой оптической аппаратуре с индивидуальной технологией, заменяющей функции натурального глаза или улучшающей способность натурального глаза.

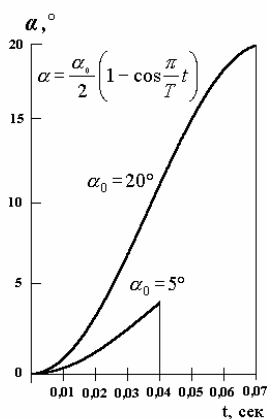


Рис. 1. График зависимости угла поворота от времени

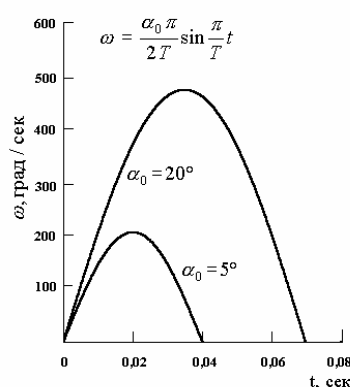


Рис. 2. График зависимости угловой скорости от времени

2. График зависимости угловой скорости движения глаза от времени в процессе скачка

Чрезвычайно важными движениями глаз являются сведение и разведение зрительных линий – конвергенция и дивергенция. Конвергенция обычно требуется при переходе взора с дальнего объекта на ближние. В обратном случае требуется дивергенция. Многочисленные записи показывают, что переход из состояния фиксации к скачку (для горизонтальных и вертикальных скачков, меньших 15° – 20°) может быть выражен формулой

$$\alpha = 0,5\alpha_0 (1 - \cos(\pi t/T))$$

где t – время, с ($0 \leq t \leq T$); α – угол поворота в процессе скачка в градусах ($0 \ll \alpha \leq \alpha_0$); T – продолжительность скачка, с; α_0 – величина скачка в градусах.

Всякое физическое явление происходит под действием сил, т.е. явление – это изменение. Следовательно, мы можем создать модель эффектов действующих сил, обуславливающих скачок и описать его начало и конец.

Уточнение математической модели развития скачка во времени позволяет построить более общую модель – модель поворота глаза из одного положения в другое, при котором человек сосредотачивает

свое зрение в течении длительного периода. Эта модель в аналитическом виде достаточно хорошо описывается функцией Ферми-Дирака

$$f(W) = 1 / (\exp(W - \mu_x) / kT + 1),$$

где W – энергия электронов среды; kT – энергия теплового движения электронов, μ_x – химический потенциал среды (рис. 3).

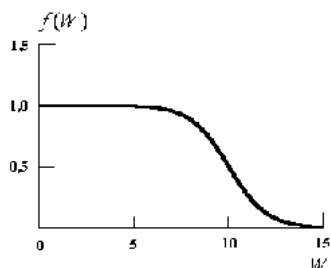


Рис. 3. График, описывающий поворот глаза

Полученная модель позволяет конкретизировать мышление при постановке экспериментов для более детального изучения прямого и обратного скачков и установления тех характеристик и величин параметров, которые необходимы для аналитического описания и для создания оптических систем с интеллектуальной технологией, расширяющих возможности зрения человека.

ОСОБЕННОСТИ ГАЗОДИНАМИКИ ИНДУКТИВНО СВЯЗАННОЙ ПЛАЗМЫ

Герасимов А. В., Зеленко О. В., Кирпичников А. П.

Казанский государственный технологический университет,
gerasimov@kstu.ru

В последнее время широко применяется проведение химических реакций в плазме высокочастотного индукционного (ВЧИ) разряда или индуктивно связанной плазме. Газодинамика ВЧИ-разряда оказывает большое влияние как на его электромагнитные параметры, так и на тепловой режим внутри разрядной камеры плазмотрона.

Рассмотрим уравнение, выражающее баланс энергии ВЧИ плазмы вблизи оси плазменного сгустка. Оно разрешено относительно осевой компоненты поля скорости.

$$v_z(0, z) = \lambda \left(2 \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \frac{\partial \lambda}{\partial z} \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)^2 - Q_r(0,0) \cos^2(bz) / \rho c_p \frac{\partial T}{\partial z}, \quad (1)$$

где v_z – скорость; T – температура; r, z – пространственные переменные; ρ, c, b, λ – параметры.

Определим точку z_0 на оси разряда, в которой значение осевой температуры $T(0, z)$ максимально $z_0 = z[T_{\max}(0, z)]$, и исследуем поведение вблизи нее всех составных частей (1). Знаменатель этого выражения в точке z_0 обращается в нуль, и при этом производная $\partial T / \partial z$ в этой точке меняет знак $\partial T / \partial z > 0$ при $z < z_0$, $\partial T / \partial z < 0$ при $z > z_0$, так что знаменатель стремится к нулю справа и слева от z_0 с разными знаками. Раз в точке z_0 обращается в нуль знаменатель (1), то для того, чтобы скорость $v_z(0, z)$, была всюду непрерывной, его числитель также должен обращаться в нуль в этой точке. Рассмотрим также вопрос о сходимости к нулю числителя (1) в окрестности точки z_0 . Вторая радиальная производная температуры в центральной области плазмоида положительна и не меняет свой знак при переходе через точку z_0 . Вторая аксиальная производная отрицательна и не меняет своего знака вдоль всей оси. Знак третьего слагаемого в числителе определяется знаком производной $\partial \lambda / \partial T$, которая в исследуемом диапазоне температур ($T > 7000$ К) знакопостоянна (например, для воздушной плазмы, отрицательна). Вклад четвертого слагаемого (ответственного за вынос энергии из центральной зоны разряда излучением) в общем балансе энергии всегда отрицателен. Видно, что ни одно из слагаемых числителя (1) для $v_z(0, z)$ не меняет свой знак при переходе через точку, в которой осевая температура максимальна и в силу симметрии последней относительно z_0 (что всегда выполняется для центральной зоны разряда) числитель сохраняет свой знак всюду в окрестности этой точки, т.е. стремится к нулю справа и слева от z_0 с одним и тем же знаком. Это означает, что продольная скорость плазмообразующего газа на оси плазмоида $v_z(0, z)$ меняет свой знак в точке z_0 , т.е. обращается в нуль в этой точке: $v_z(0, z_0) = 0$. Учитывая, что радиальная и азимутальная скорости газа на оси разряда в любом случае должны быть равны нулю в силу соображений симметрии, то отсюда можно сделать вывод, что внутри высокочастотного индукционного разряда существует по крайней мере одна точка, в которой все три компоненты скоро-

сти плазмобразующего газа обращаются в нуль, и эта точка соответствует той точке на оси разряда, в которой значение его осевой температуры максимально.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧЕГО ФЛЕГМОВОГО ЧИСЛА
КОЛОННЫ СТАБИЛИЗАЦИИ БЕНЗИНА

БЕЛЯЕВСКИЙ М. Ю., БЕЛЕНОВ Е. А., КОТЯХОВ И. В.

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ

Максимальная доля отбора дистиллята в ректификационной колонне может быть реализована при рабочем флегмовом числе R стремящимся к минимальному флегмовому числу. При этом высота колонны будет достаточно большой. Флегмовое число, как известно, стремится к значительной величине при очень малом отборе дистиллята и при большом количестве орошения, подаваемого в колонну.

При расчете колонны стабилизации бензина, варьируя долей отбора E_D и флегмовым числом, нами получены различные ее диаметры и число тарелок.

Результаты расчетов колонны приведены в табл. 1, где N – число тарелок в колонне, D – диаметр колонны (м).

Таблица 1

E_D	N/D					
	$R = 0,7$	$R = 0,8$	$R = 1$	$R = 2$	$R = 5$	$R = 10$
0,44	>100/	>100/	>100/	77 / 2,2	62 / 3,2	52 / 4
0,3	>100/	66/1,4	53 / 1,4	36 / 1,8	28 / 2,6	26 / 3,6
0,2	>100/	54/1,2	42 / 1,2	29 / 1,6	23 / 2,2	21 / 2,8
0,09	>100/	>100/	37 / 0,8	25 / 1	19 / 1,4	18 / 2

В программе расчета колонны предусмотрено ограничение числа тарелок в аппарате не более ста. В этом предельном случае диаметр колонны не рассчитывался.

Анализ полученных результатов позволяет сделать выводы о наиболее целесообразных режимах работы колонны, при которых получаются минимальные энергетические и капитальные затраты.

Отбором дистиллята в нефтепереработке задаются в зависимости от необходимой потребности в нем и получаемом при этом качестве остатка.

Например, при заданной доле отбора $E_D = 0,2$ при сравнении режимов с флегмовыми числами $R = 0,7$; $R = 0,8$; $R = 1$; $R = 2$ получается, число тарелок и диаметр колонны: >100/; 54/1,2; 42/1,2; 29/1,6. В первом режиме получается слишком большое число тарелок в колонне. Во втором режиме колонна имеет также большее число тарелок, чем в третьем при одном и том же ее диаметре. Расчеты показывают, что несмотря на большее количество тарелок в третьем режиме, по сравнению с четвертым, колонна имеет гораздо меньший диаметр и выигрывает по капитальным затратам более, чем на 20 %. При этом не учитывалась стоимость печей, теплообменного оборудования, трубопроводов и т.д. С их учетом капитальные затраты возрастают еще больше. Однако энергетические затраты при флегмовом числе $R = 1$ будут гораздо меньшими. Поэтому в нефтепереработке стараются держать режимы работы колонн при $R_{\text{раб}} \approx 1$.

Кибернетический подход определяет процесс управления предприятием как взаимосвязь объекта управления (производства), системы управления (СУ) и окружающей среды, основным элементом которой является рынок. Суть проблемы заключается в определении управляющих воздействий, поскольку традиционными методами теории оптимального управления (ТОУ) сделать это в полном объеме невозможно из-за слишком большой размерности системы моделей.

Альтернативой может служить применяемый авторами метод структуризации проблемы на отдельные этапы и задачи, для решения которых уже могут использоваться указанные методы ТОУ. Сущность нового подхода иллюстрируется на рис. 1, где компонентами вектор – функции $X(t)$ могут быть любые технико-экономические показатели (ТЭП), характеризующие ход производства и работу предприятия в целом.

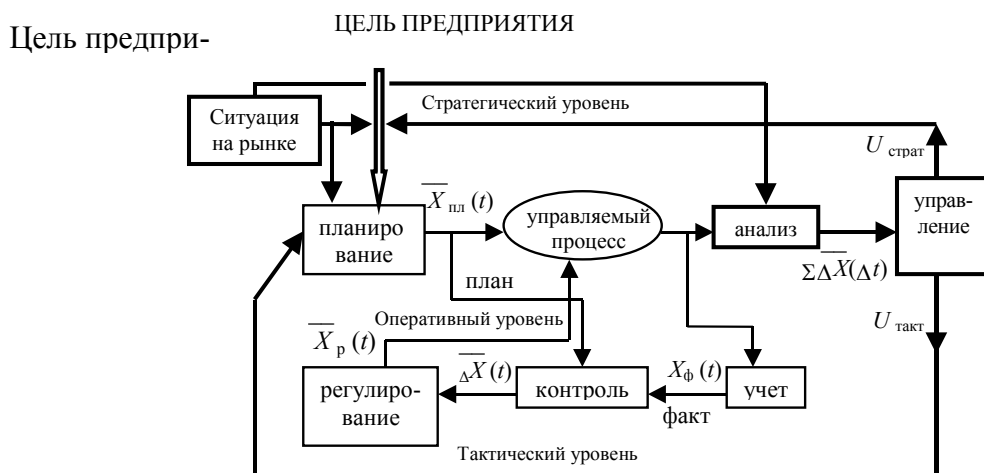


Рис. 1. Структурная схема системы управления предприятием

В основу подхода положен иерархический принцип принятия решений по управлению в зависимости от ситуаций, складывающихся внутри предприятия и на рынке его товаров и услуг. На нижнем (оперативном) уровне работает классическая схема (план, учет, контроль, регулирование) по оперативной ликвидации возможных отклонений отдельных фактических значений ТЭП от плановых, которая может быть реализована методами ТОУ, теории принятия решений и др. [1].

Принципиально новым является введение в систему принятия решений и управления тактического и стратегического уровней. Процедура выбора уровня может быть формализована в виде функции $\bar{U} = \max f[\sum \Delta x(\Delta t)]$ при следующих граничных условиях перехода к тактическому или стратегическому уровню $\sum \Delta X_{\text{такт}} \leq \sum \Delta \bar{X}(t) \geq \sum \Delta X_{\text{страт}}$, где \bar{U} – вектор оптимального управления в данный момент времени; $\Delta X(\Delta t)$ – вектор отклонений ТЭП за рассматриваемый период времени Δt .

Конкретные значения критериев перехода к стратегическому ($\sum \Delta X_{\text{страт}}$) или тактическому ($\sum \Delta X_{\text{такт}}$) уровням могут быть определены путем применения экономико-математических моделей взаимодействия товаропроизводителя с окружающей средой [2], предоставляя ему возможность на основе получаемой информации о векторе суммарных отклонений $\sum \Delta \bar{X}(t)$ за определенный период времени осуществлять динамичное изменение целей управления или планов и в зависимости от ситуации разрабатывать и внедрять соответствующие нововведения для обеспечения стабильного долгосрочного функционирования предприятия.

Предложенный подход является универсальным и применим ко всем производственным системам.

1. Баронов В. В. и др. Автоматизация управления предприятием. М.: ИНФРА-М, 2000.
2. Петраков В. А. Основы технологического предпринимательства. Ростов-н/Д: Изд-во СК НЦ ВШ, 2001.

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ФУНКЦИИ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Погонин В. А., Шиганцов В. А.

Тамбовский государственный технический университет

АНАЛИТИЧЕСКИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИМЕЮТ НЕДОСТАТКИ, СВЯЗАННЫЕ С НЕВОЗМОЖНОСТЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ИХ ПАРАМЕТРОВ. ТАКИЕ ПАРАМЕТРЫ НАЗОВЕМ НЕОПРЕДЕЛЕННЫМИ И ОХАРАКТЕРИЗУЕМ СООТВЕТСТВУЮЩИМИ ФУНКЦИЯМИ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ.

Рассмотрим случай, когда нечеткая выходная переменная объекта управления y , принадлежащая нечеткому подмножеству \tilde{Y} , может быть представлена в виде: $\mu_{\tilde{Y}}(y) = M(\mu_{\tilde{X}}(x), \mu_{\tilde{B}}(b))$, где M – оператор математической модели, $\mu_{\tilde{X}}(x), \mu_{\tilde{B}}(b)$ – функции принадлежности элементов соответствующих нечетких подмножеств \tilde{X}, \tilde{B} , $\mu_{\tilde{Y}}(y)$ – функция принадлежности нечеткого решения.

Определим оператор M , положив в основу определения функции принадлежности нечеткого решения принцип расширения Заде

$$\mu_{\tilde{Y}}(y) = \max_{x,b} \min(\mu_{\tilde{X}}(x), \mu_{\tilde{B}}(b)) | y = M(x, u, b),$$

где M – детерминированная математическая модель процесса, u – вектор управляющих воздействий.

Построение функции принадлежности решения уравнений математической модели осуществляется в соответствии с разработанным нами алгоритмом: 1) вводится значение управляющего воздействия u , для которого необходимо построить реакцию функции принадлежности $\mu(y)$; 2) на основе использования разностных схем вычисляется y ; 3) организуется перебор y_i и расчет для каждого y_i значение функции принадлежности $\mu(y_i)$; 4) для каждого y_i с помощью детерминированной модели $y_i = M(x, u, b)$ находятся все x_{ij} и b_{ij} , удовлетворяющие математической модели; 5) для каждой найденной пары x_{ij} и b_{ij} определяются соответствующие значения функции принадлежности $\mu(x_{ij})$ и $\mu(b_{ij})$ и значение $a_{ij} = \min[\mu(x_{ij}), \mu(b_{ij})]$; 6) определяется значение функции принадлежности $\mu(y_i)$ для рассматриваемого значения y_i ; 7) окончание цикла; если цикл окончен, то функция принадлежности $\mu(y)$ для заданного значения u построена, в противном случае переход к пункту 3.

МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ТРЕНИНГА ОПЕРАТОРОВ УСТАНОВКИ КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА

Сокорева Н. Ю., Крейдлин Е. Ю.

Институт проблем управления РАН, {nika|eugeny}@petrocom-jv.ru

Компьютерные тренажеры (КТ) для типовых технологических процессов (ТП) пользуются все большим спросом в подготовке оперативного персонала. Настоящая работа посвящена разработке методической базы тренинга операторов типовой установки каталитического риформинга (УКР) [1], [2]. Новым элементом в предлагаемой методике является использование компьютеризированной системы поддержки принятия решений (КСПП), которая реализует режимы тренировок и экзаменов по двум базовым навыкам, необходимым оператору для безопасного и эффективного управления ТП: навыку прогнозирования последствий вмешательств в нормальный ход процесса (методика "Что произойдет, если...") и навыку генерации возможных причин отклонений от нормального хода процесса (методика "Генерация возможных причин неисправностей") [3].

Обе методики основываются на базе знаний (БЗ), сформированной путем обобщения известных в литературе типовых нарушений хода процесса, анализа таких нарушений на многих реальных УКР, моделирования этих ситуаций на тренажере и привлечения экспертных оценок специалистов. БЗ представляет собой легко пополняемый список типовых нарушений процесса ("причин") с порождаемыми ими последствиями ("симптомами").

Типовые нарушения работы УКР классифицируются как: 1. Отказы элементов оборудования и систем управления. Колонны и емкости: разгерметизация; реакторы: разгерметизация, снижение активности катализатора; теплообменная аппаратура: прекращение подачи хладагента, остановка воздушных холодильников; печь: прогар змеевиков; насосы и компрессоры: отказ, отказ с разгерметизацией; КИ-ПиА: отказы сенсоров (завышенное, заниженное или текущие значения), отказы регулирующих клапанов в положении "открыт", "закрыт" или в текущем положении; засорение регулирующих клапанов. 2. Изменение внешних условий: изменение свойств сырья (состава, влажности); отключение высоковольтного и низковольтного оборудования.

Сеанс обучения оператора проводится следующим образом (рис. 1): Оператору предлагается выбрать вид тестирования (тренировка или экзамен). Затем производится выбор технологического блока установки и одной из двух вышеперечисленных методик.

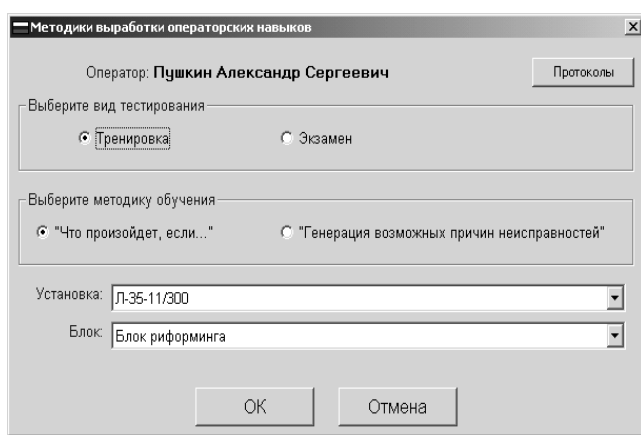


Рис. 1. Экран выбора методики обучения

Методика "Что произойдет, если..." (рис. 2). КСПП случайным образом выбирает причину неисправности для данного блока и по определенным правилам формирует множество предлагаемых оператору технологических параметров. Обучаемому показывается выбранная причина и предлагается оценить изменение параметров, принадлежащих сформированному множеству. Изменения могут принимать одну из следующих форм: Сильно уменьшился, Уменьшился, Не изменился, Увеличился, Сильно увеличился. Оператор может выбрать только одно значение симптома для каждого из параметров.

Система показывает правильный ответ и оценивает решение оператора. Для этого для каждого параметра вычисляется и оценивается в баллах по определенному правилу "удаленность" выбранного ответа от правильного.

Итоговый балл за задачу вычисляется как среднее значение баллов по отдельным параметрам.

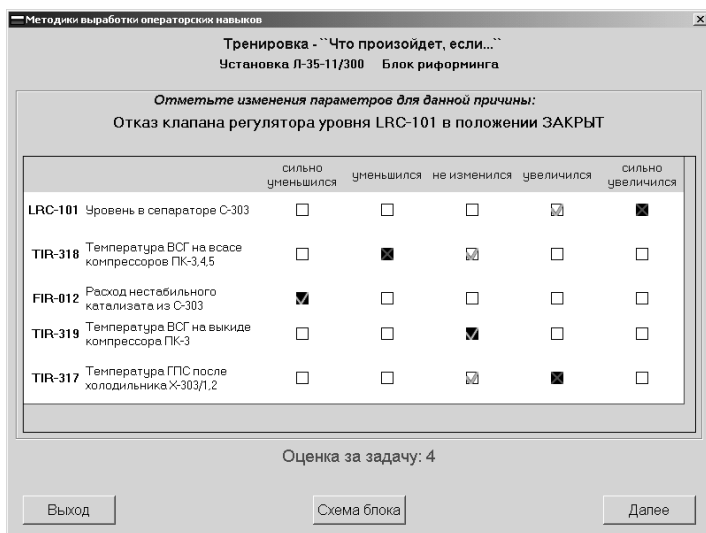


Рис. 2. Экран методики "Что произойдет, если..."

Методика "Генерация возможных причин неисправностей" (рис. 3). Оператору предлагаются случайно выбранные отклонения параметров процесса от нормы и список причин, из которых он должен выбрать те, которые порождают данную симптоматику.

Оценка строится на штрафах за неправильно выбранные и пропущенные оператором причины. По количеству набранных штрафных баллов вычисляется итоговый балл за задачу.

Режим экзамена отличается от тренировки возможностью формирования заданного набора задач. При этом правильные ответы не приводятся; выдается оценка за каждую задачу и итоговая оценка экзамена как средняя оценка по отдельным задачам.

Для лучшего понимания влияния причин неисправностей на изменения параметров оператор в любой момент может воспользоваться технологической схемой процесса.

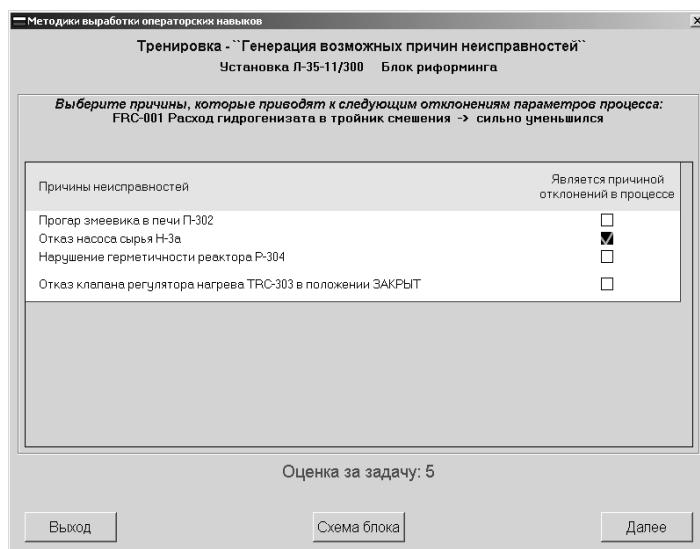


Рис. 3. Экран методики "Генерация возможных причин неисправностей"

Описанный подход может быть отнесен к "предтренажерным" методикам обучения и представляет чрезвычайно эффективным, поскольку позволяет приступить к формированию комплексного умения управления процессом с помощью КТ на основе уже сформированных и закреплённых базовых навыков поиска причин нарушений. Предлагаемое методическое обеспечение опробовано как в тренинге заводских операторов НПЗ (Установка Л-35-11/300 Хабаровский НПЗ), так и в вузовском учебном процессе (РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина).

1. ДОЗОРЦЕВ В. М., КНЕЛЛЕР Д. В. ТРЕНАЖЕРНАЯ МОДЕЛЬ УСТАНОВКИ КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА: СБ. ТР. МНК ММТТ-12. Т. 4, ВЕЛ. НОВГОРОД: НОВГУ, 1999.
2. КНЕЛЛЕР Д. В. КОМПЬЮТЕРНЫЙ ТРЕНАЖЕР ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ... / VIII МЕЖД. КОНФ. "ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ", М.: ИПУ, 2000.
3. Дозорцев В. М., Соркин Л. Р. Информационные технологии обеспечения... / VIII Межд. конф. "Проблемы управл. безопасностью сложных систем", М.: ИПУ, 2000.

Содержание

<i>Суханова Н. В., Дободейч И. А.</i> Оптимальное управление процессом культивирования микроорганизмов в условиях инфицирования	5
<i>Юсупов Т. А., Емельянов В. М., Дуев С. И.</i> Алгоритм многокритериальной оптимизации	6
<i>Супрунов Н. А., Лубянецкая Е. А.</i> Оптимизация многоступенчатого кристаллизатора	9
<i>Чохонелидзе А. Н., Луцук В. И., Григорьев В. И., Бобров И. В.</i> Оптимизация режима регенерации катионита при обессоливании воды	10
<i>Чохонелидзе А. Н., Луцук В. И., Бобров И. В.</i> Интенсификация процесса очистки воды	11
<i>Ефимов Н. Н.</i> Оптимизация тепловых схем использования газификации твердого топлива в энергоустановках	13
<i>Балакай В. И.</i> Оптимизация состава электролита по регрессионной модели процесса никелирования	16
<i>Богатырева Л. О., Грицук А. В., Рязанов И. Д.</i> Прогнозирование объема поставок дизельного топлива в регионы	17
<i>Грицук А. В., Тейтельбаум А. М.</i> Прогнозирование объемов поставки нефтепродуктов в регионы с использованием регрессионных моделей	19
<i>Ращаникова Н. В.</i> Сравнительный анализ расчетных зависимостей для оценки качества нефтепродуктов	22
<i>Ращаникова И. В.</i> Субоптимальное управление нестационарным нефтеперерабатывающим производством	23
<i>Юсупбеков Н. Р., Маннанов У. В., Бибик Р. В., Турпина Н. Н.</i> Устойчивая вычислительная схема решения уравнений совмещенных реакционно-ректификационных процессов	26
<i>Юсупбеков Н. Р., Маннанов У. В., Гулямов Ш. М., Турпина Н. Н.</i> Алгоритм коррекции составов и потоков	28

пара и жидкости реакционно-разделительных установок	
<i>Равилов Ш. М.</i> Прикладные программы оптимизации процесса предварительной дистилляции хлопковой мисцеллы	31
<i>Урусов А. М., Гордеев Л. С., Макаров В. В.</i> Параметрическая оптимизация химико-технологических систем методом Ψ – преобразования	32
<i>Гималеев М. К., Харитонов Е. А., Сафиуллина А. К., Анаников С. В.</i> Программный комплекс по моделированию и оптимизации процесса каландрования	33
<i>Селиванов Ю. Т., Орлов А. В.</i> Оптимизация процесса смешивания сыпучих материалов в барабанных смесителях непрерывного действия	34
<i>Третьяков А. А.</i> Постановка задачи оптимального управления процессом синтеза монометиланилина	35
<i>Литовка Ю. В., Голованов В. Ф.</i> Оптимизация процесса цветного оксидирования алюминия	36
<i>Юсупбеков Н. Р., Гулямов Ш. М., Зайнутдинова М. Б., Умарова Г. М.</i> Имитационное моделирование и оптимизация процесса экстрагирования растительных масел	38
<i>Леонов А. В.</i> Оптимальное управление электроприводом постоянного тока	41
<i>Елизаров И. А., Матвеев Ю. А.</i> Постановка задачи оптимального управления процессом производства акридила Б	44
<i>Сажин С. Г., Прокопчук В. Л.</i> Управление процессом разложения пентокарбонила железа	45
<i>Сотников В. В., Педро А. А., Меньшиков Д. В.</i> Алгоритм стабилизации мощности руднотермической печи	46
<i>Никитина Л. Н., Сотников В. В., Педро А. А.</i> Алгоритм управления процессом производства нормального электрокорунда	48
<i>Вент Д. П., Маслова Н. В., Пророков А. Е.</i> Выбор критерия при проектировании энергосберегающей системы автоматического управления	50
<i>Гладыш И. П.</i> Об использовании информационного критерия для оптимального управления процессом ректификации	52
<i>Сердобинцев С. П., Графова Е. Н.</i> Управление процессом посола рыбы	53

.....	
<i>Беднаржевский В. С.</i> Моделирование и автоматизированное проектирование паровых котлов	57
<i>Беднаржевский В. С.</i> Моделирование устойчивости работы паровых котлов в динамических режимах	58
<i>Чистякова Т. Б., Петухов А. А., Лисицын Н. В.</i> Разработка автоматизированной системы оперативного планирования на базе моделирующей системы PIMS	59
<i>Чистякова Т. Б., Кашимет В. В., Суворов М. В.</i> Автоматизированная обучающая система диспетчерского управления энергоресурсами электросети	60
<i>Халимон В. И., Педро А. А., Проститенко О. В.</i> К вопросу об управлении процессом получения белого электрокорунда	62
<i>Лисицын Н. В., Поздяев В. В., Кузичкин Н. В.</i> Оптимальное смешение дизельных топлив	63
<i>Кацюба О. А., Пахомов Ю. Ю.</i> Оценивание параметров линейной динамической модели прогнозирования	65
<i>Маринин В. И., Князев Д. Н.</i> Использование метода локальных вариаций при интерполяции сплайнами пятого порядка	66
<i>Гросман В. Р.</i> О применении вариационного исчисления к оптимизации параметров виброгасителей	70
<i>Дозорцев В. М., Крейдлин Е. Ю.</i> Об эталонных стратегиях эффективной диагностики неисправностей в системах поддержки принятия решений	71
<i>Новичков А. Ю., Крейдлин Е. Ю.</i> Имитационное моделирование для тестирования и настройки систем программно-логического управления	74
<i>Бернацкий Ф. И., Диго Г. Б., Диго Н. Б.</i> Распараллеливание вычислительного процесса при идентификации технологических объектов	77
.....	
<i>Кисаров О. П., Вильдяева Н. И.</i> Итерационная процедура решения двухэтапной стохастической задачи специализации агрофирмы	78
.....	
<i>Кисаров О. П., Вильдяева Н. И.</i> Упрощенная модель зависимости урожайности от водных ресурсов	81
<i>Каткульский Ю. Н.</i> Количественная оценка состояния организма животных в токсиколого-гигиеническом	84

эксперименте	
<i>Катильский Ю. Н.</i> Оценка вероятности заболевания при действии системных токсикантов	87
<i>Ивахно Н. В., Коржук Н. Л.</i> Метод последовательного анализа в искусственной вентиляции легких	88
<i>Благодарный Н. С., Литвинов А. В., Минеев А. А., Кривов М. В.</i> Оптимизация технологического режима сушки композиции синтетических моющих средств	90
<i>Михайлов Н. В., Рудь А. И., Каратунов Г. А.</i> Использование математических методов анализа продуктивных качеств птицы в практической селекции	93
<i>Молчанов В. П., Сульман Э. М., Косивцов Ю. Ю., Тактаров Э. А.</i> Исследование и поиск путей интенсификации микробной конверсии органического сырья и отходов животноводства	97
<i>Писаренко В. Н., Филиппова Е. Б.</i> Способ интенсификации процесса получения октанола	101
<i>Путин С. Б., Скворцов С. А.</i> Параметрическая идентификация равновесной математической модели процесса сорбции	101
<i>Матвеев С. В.</i> К вопросу моделирования и численного расчета математических моделей внутренних течений	103
<i>Панько М. А., Аракелян Э. К.</i> Нечеткие методы в оптимизационных задачах в энергетике	104
<i>Култаев Б. Б., Панько М. А.</i> Оптимизация управления воздушным конденсатором паровой турбины	105
<i>Никифоров А. Г., Яковлев А. В.</i> Нейросетевая модель оптимизации участка тепловой сети	107
<i>Бурында Д. А., Никулина Е. А., Дорохов И. Н.</i> Разработка логической схемы интеллектуальной системы поиска технологических решений сушки	109
<i>Бурында Д. А., Никулина Е. А., Дорохов И. Н.</i> Построение морфологического пространства технологических решений процесса сушки	110
<i>Таранцева К. Р., Пахомов В. С.</i> Основные этапы и особенности разработки экспертных систем по коррозии	111
<i>Букурако Ю. К., Мартемьянов Ю. Ф., Шамкин В. Н.</i> О разработке экспертной системы управления реального времени воздухоразделительной установки низкого давления	114

<i>Фролова Т. А., Козельцев М. М.</i> Фази- прогнозирование резервного фонда рабочего времени в гибких производствах	115
<i>Чохонелидзе А. Н., Фомичев А. Г., Копылова Т. С.</i> Ме- тодика оценки качества смесей на основе выбора объема и числа проб	116
<i>Соколов Г. А., Сягаев Н. А., Тугушев К. Р.</i> Моделиро- вание процессов переноса и деформации тепловой метки потоком газа	119
<i>Ремизова О. А., Иванова Г. В.</i> Система управления для процесса очистки сточных вод свинцовых акку- муляторных производств	120
<i>Мочалин В. П.</i> Анализ уравнений кинетики синтеза метанола с помощью математической модели в среде MATHCAD	121
<i>Таранцева К. Р., Лысенко К. Н.</i> Использование MATLAB для моделирования процессов коррозии	124
<i>Косимов С. С., Юсупов Ф. Ю., Шарипов М. С.</i> Сто- хастическая модель технологического процесса пере- работки зерна	126
<i>Иванов Б. А., Куклин Д. Б., Петраш С. П.</i> К проблеме автоматизированной генерации математических мо- делей асинхронных машин	129
<i>Гулямов Ш. М., Верлань А. А., Сагатов М. В.</i> Инте- гральные модели однопараметрических первичных преобразователей	131
<i>Шебуков А. В., Федосенков Б. А.</i> Формирование мо- дели блока дозаторов в терминах пространства со- стояний	135
<i>Федосенков Б. А., Назимов А. С.</i> Вопросы оценки влияния режимных параметров дозирования на фор- мирование структуры материалопотока	137
<i>Назимов А. С., Федосенков Б. А.</i> Оценка влияния па- раметров каналов направленного действия на качест- во приготавливаемой смеси	139
<i>Федосенков Б. А., Назимов А. С., Шебуков А. В.</i> Вэйв- лет управление в среде смесеприготовительного агре- гата	140
<i>Прошин И. А., Прошин Д. И., Прошин А. И., Усманов В. В.</i> Математическое описание управляемых вен- тильно-электромеханических систем	142
<i>Прошин И. А.</i> Синтез управляющих воздействий в системах с непосредственными преобразователями электроэнергии	145
<i>Костенич В. В.</i> Программа моделирования электро-	150

привода постоянного тока с произвольно задаваемым регулятором	
<i>Куклин Д. Б.</i> Динамический наблюдатель состояния электропривода с восстановлением неконтролируемого возмущения	150
<i>Молькова Е. Е., Христофоров А. И., Христофорова И. А.</i> Применение планирования эксперимента при производстве теплоизоляционного материала	153
<i>Артюхов А. В., Дорохов И. Н., Смирнов В. Н.</i> Анализ передачи и преобразования информации в сложной системе с целью повышения степени ее организованности	154
<i>Артюхов А. В., Дорохов И. Н., Смирнов В. Н.</i> Энтропийно-информационный анализ сложных химико-технологических систем	155
<i>Артюхов А. В., Дорохов И. Н., Смирнов В. Н.</i> Информационно-статистический анализ структурно организованной системы этаноламиновой очистки промышленных газов	156
<i>Меньшутина Н. В., Гончарова С. В., Цуканов В. А., Старченко О. В.</i> Система информационных баз данных "BANID"	157
<i>Жевтвская Ю. В., Королев Д. В., Суворов А. К., Суворов К. А.</i> База данных титансодержащих соединений	158
<i>Гветадзе С. В.</i> Прогнозирование изменения температурных зависимостей биологических объектов в период инкубации	159
<i>Гветадзе С. В., Михайлов А. А.</i> Синтез алгоритма гарантированного обнаружения периодичностей в случайных температурных изменениях	160
<i>Игнатъев В. М., Пелевина А. Б., Белова Т. Б.</i> Статистическое оценивание эффективности внесения мелиорантов в черноземы	162
<i>Оттекин Р. В., Сажин С. Г.</i> Влияние температуры воздушного потока при экструзии полиэтиленовой пленки	164
<i>Сажин С. Г., Царанкин А. В.</i> Анализ топливосжигающих установок термического обезвреживания промышленных отходов как объекта управления	166
<i>Ануфриев А. В., Викторов В. К., Лисицын Н. В.</i> Анализ эффективности функционирования системы теплообмена установки первичной переработки нефти	167
<i>Климова Е. С.</i> Математические методы комплексного оценивания здоровья различных групп населения	169

.....	
<i>Мешалкин В. П., Клименкова Л. А., Клименков А. В.</i> Ситуационный анализ предприятий химической промышленности	170
<i>Колесников С. В., Меньшутина Н. В., Гордеев Л. С.</i> Расчет материального баланса процесса очистки сточных вод с применением баз данных	173
<i>Родионова Н. С.</i> Применение метода экстраполяции экспертных оценок при оптимизации состава поликомпонентных систем	174
<i>Магергут В. З., Вент Д. П., Аль Таамнех М.</i> Определение температурного поля экструдера при выходе из строя датчиков некоторых зон	177
<i>Бородин Д. Н., Кравчук К. Н., Чередниченко О. П.</i> Алгоритм сглаживания графиков экспериментальных зависимостей	181
<i>Фролов С. В., Трофимов А. В.</i> Применение систем коллективного доступа при диспетчеризации удаленных объектов	183
<i>Зуева Г. А., Падохин В. А., Блиничев В. Н.</i> Структурная модель нагрева частицы в потоке газа переменной температуры	184
<i>Золотарев Ю. Н.</i> Системная модель синтеза обеспечения кондиционирования воздуха	186
<i>Сульман М. Г., Косивцов Ю. Ю., Блохина Ю. А.</i> Построение математических моделей процессов каталитического гидрирования	188
<i>Спивак С. И., Усманов Т. С, Мустафина С. А, Максютова Э. Р.</i> Расчет кинетических параметров полимеризации диенов	190
<i>Юмагузина А. Г.</i> Динамика температурного поля в неоднородной пористой среде	191
<i>Арзамасцев А. А., Слетков Д. В., Ушакова Е. В.</i> Использование фрактальной геометрии для моделирования формообразования природных объектов	192
<i>Мельник Ю. Б., Жигулина И. В.</i> Математическая модель функции зрения человека	194
<i>Герасимов А. В., Зеленко О. В., Кирпичников А. П.</i> Особенности газодинамики индуктивно связанной плазмы	196
<i>Беляевский М. Ю., Беленов Е. А., Котяхов И. В.</i> Определение рабочего флегмового числа колонны стабилизации бензина	197
<i>Кальницкий В. С., Куприкова А. В.</i> Моделирование процесса управления предприятием в условиях ры-	199

ночной экономики	
<i>Погонин В. А., Шиганцов В. А.</i> Алгоритм построения функции принадлежности решения уравнений математической модели ...	200
<i>Сокорева Н. Ю., Крейдлин Е. Ю.</i> Методическое обеспечение компьютерного тренинга операторов установки каталитического риформинга	201

СОПРЕДСЕДАТЕЛИ СЕКЦИИ: Д.Т.Н., ПРОФ. ЧИСТЯКОВА Т.Б., Д.Т.Н., ПРОФ. ЛИТОВКА Ю.В., Д.Т.Н., ПРОФ. АРЗАМАСЦЕВ А.А.

Заседание 1.

Заседание 2.

<i>Матвеев С. В.</i> К вопросу моделирования и численного расчета математических моделей внутренних течений	111
---	-----

