

РОЗДІЛ «ПРИКЛАДНА МАТЕМАТИКА»

УДК 519.8

КАДОЧНИКОВА Я.Е., к.ф.-м.н, ст. преподаватель

Днепродзержинский государственный технический университет

ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ ДЛЯ РЕШЕНИЯ НЕПРЕРЫВНЫХ ЗАДАЧ
ОПТИМАЛЬНОГО РАЗБИЕНИЯ МНОЖЕСТВ

Введение. Развитие теории непрерывных задач оптимального разбиения множеств (ОРМ) представляет как практический, так и теоретический интерес. Обусловлено это тем, что к задачам разбиения множеств сводятся следующие актуальные прикладные задачи [1, 2]: размещения-распределения (location-allocation problem), оптимального покрытия (covering problem), диспетчеризации (scheduling problem), сегментации изображений (image segmentation), классификации и кластеризации, а также некоторые теоретические проблемы из различных научных областей.

Задачи разбиения множеств принято классифицировать на дискретные и непрерывные в зависимости от структуры исследуемого множества [1]. При этом дискретными считаются те задачи, у которых множество, подлежащее разбиению, состоит из конечного числа элементов. Соответственно, к непрерывным задачам относят задачи, в которых разбиваемое на подмножества множество континуально по своей структуре.

Отметим, что дискретные задачи разбиения являются широко изученными, в то время как исследования класса непрерывных задач разбиения множеств, т.е. задач, в которых разбиваемое множество континуально по своей структуре, проводились в куда меньшем масштабе. При этом для теоретических и прикладных задач, у которых подлежащее разбиению множество оказалось континуальным по своей природе, построенные дискретные модели оказались не адекватными, или же нецелесообразными из-за трудностей, связанных с решением задач чрезмерно большой размерности.

На сегодняшний день в связи с развитием электронно-вычислительной техники и появления мощных источников статистических данных появилась возможность построения более адекватных непрерывных моделей ОРМ для широкого класса реальных задач, что в свою очередь требует дальнейшего развития теории непрерывных задач ОРМ: разработки новых методов и алгоритмов решения непрерывных задач ОРМ, а также создания программных продуктов для решения непрерывных задач ОРМ.

Постановка задачи. Целью данной работы является разработка программного продукта для решения непрерывных задач оптимального разбиения множеств как в условиях полной определённости, так и в условиях неполной информации о некоторых исходных данных, а именно, в условиях риска.

При этом программный продукт должен решать следующие классы непрерывных задач ОРМ:

- задачи оптимального разбиения множеств из n -мерного евклидова пространства E_2 на N непересекающихся подмножеств (среди которых могут быть и пустые) с заданным положением центров τ_1, \dots, τ_N этих подмножеств (без размещения их центров) без ограничений, где N – количество размещаемых центров;
- задачи оптимального разбиения множеств из E_2 на N непересекающихся подмножеств $\Omega_1, \dots, \Omega_N$ без размещения их центров при ограничениях;
- задачи ОРМ из E_2 на N непересекающихся подмножеств с заранее неизвестными координатами их центров τ_1, \dots, τ_N (с размещением их центров) без ограничений;

- задачи ОРМ из E_2 на N непересекающихся подмножеств с размещением их центров при ограничениях.

Результаты работы. Разработан программный продукт, позволяющий решать все перечисленные классы непрерывных задач ОРМ. Программный продукт реализован на языке “С++” в среде “Borland Builder С++ 6” для операционной системы Windows на основе алгоритмов изложенных в [2, 3]. На рис.1 представлено основное окно программного продукта.

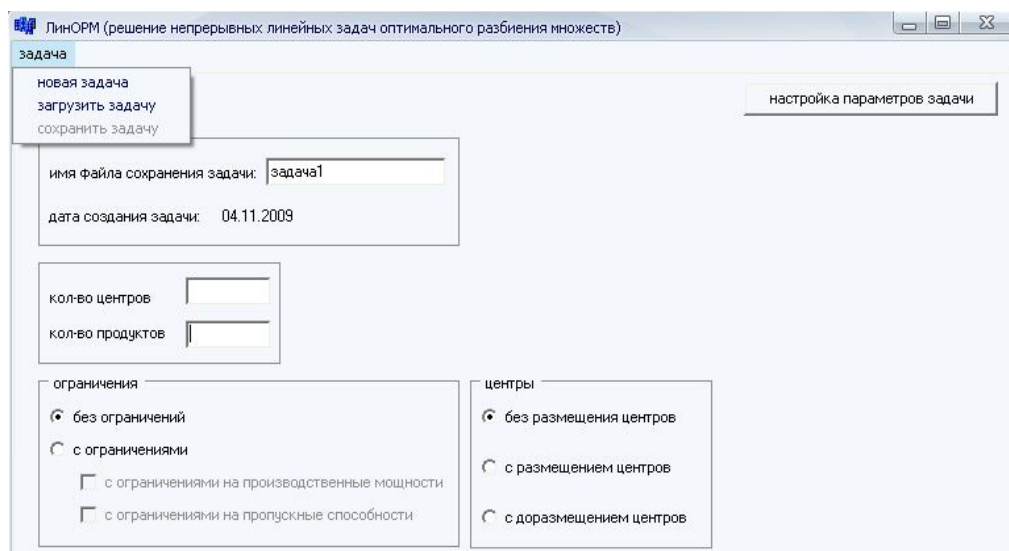


Рисунок 1 – Основное окно программного продукта

Следует отметить, что ограничения в задачах ОРМ могут быть следующих видов: ограничения-равенства, ограничения-неравенства, дополнительные ограничения типа ограничений на пропускные способности коммуникаций.

Все перечисленные задачи могут быть решены в условиях неполной информации о некоторых начальных данных: функция метрики является функцией, зависящей от некоторых случайных параметров; функция спроса является функцией от случайного параметра; функции метрики и спроса – функции от случайных параметров.

При этом получают детерминированные решения стохастических аналогов перечисленных детерминированных задач ОРМ, для нахождения которых достаточно знания лишь субъективно заданных математических ожиданий и дисперсий некоторых случайных параметров задач.

Чтобы приступить к решению задачи ОРМ, относящейся к одному из вышеперечисленных классов задач, необходимо, прежде всего, задать начальные данные. Сделать это можно двумя способами:

- 1) вручную заполнить все поля данными (пункт меню «задача / новая задача»);
- 2) загрузить файл, в котором уже содержится вся исходная информация о решаемой задаче (пункт меню «задача / загрузить задачу»).

Опишем действия пользователя при выборе первого способа – ручного задания начальных данных, которым придётся воспользоваться, если задача решается впервые.

В поля окна, изображённого на рис.1, **Ошибка! Источник ссылки не найден**, вводится имя файла («имя файла сохранения задачи»), в который можно сохранить всю введенную информацию о задаче для последующего использования, выбрав пункт меню «сохранить задачу» (станет доступным после завершения ввода всех данных). Далее задаётся количество размещаемых центров («кол-во центров») и количество продуктов, производимых каждым центром («кол-во продуктов»).

С помощью вкладок «ограничения» и «центры» пользователь идентифицирует тот класс задач ОРМ, к которому относится решаемая задача. Так, например, для решения однопродуктовой задачи ОРМ с размещением пяти центров при ограничениях на производственные мощности, но без ограничений на пропускные способности коммуникаций, необходимо ввести данные, отображённые на рис.2, а затем нажать кнопку «настройка параметров задачи».

Screenshot of the software interface showing task parameters. The 'ограничения' (constraints) tab is active, with 'с ограничениями' selected. Under it, 'с ограничениями на производственные мощности' is checked. The 'центры' (centers) tab is also visible, with 'с размещением центров' selected. Input fields show 5 centers and 1 product.

Рисунок 2 – Пример заполненного основного окна программы

Настройка параметров задачи осуществляется в два шага. Поля данных, которые необходимо заполнить на первом шаге, отображены на рис.3. Пользователь может задавать следующие параметры задачи:

- «метрика» – выбор функции метрики из выплывающего списка, которая может быть евклидовой, чебышевской или манхэттенской метрикой;
- «весовая функция го» – выбор функции спроса в виде непрерывной функции из выплывающего списка. При выборе опции «задать таблично», можно считать из заранее созданного файла значения функции спроса, которая задана дискретно;
- «координаты покрывающего прямоугольника» – задаются координаты X_{min} , X_{max} , Y_{min} , Y_{max} прямоугольника, который содержит область, подлежащую разбиению;
- «количество узлов по оси X» – задаёт покрывающую сетку (количество узлов сетки) по оси X, которая необходима для численного расчёта интегралов, входящих в целевой функционал и ограничения задачи;
- «количество узлов по оси Y» – задаёт покрывающую сетку по оси Y;
- «весовые коэффициенты» – определяют затраты на производство i -ым производителем единицы продукции j -го вида, $i = 1, \dots, N$, $j = 1, \dots, M$. Номер строки идентифицирует производителя, номер столбца соответствует номеру продукта;
- «координаты центров» – в случае решения задачи ОРМ на подмножества без размещения их центров, в соответствующей таблице задают координаты существующих центров подмножеств, которые не меняются в ходе решения задачи. Если же рассматривается задача ОРМ на подмножества с размещением их центров, то таблицу «координаты центров» заполняют начальными значениями координат центров, которые уточняются при решении задачи;

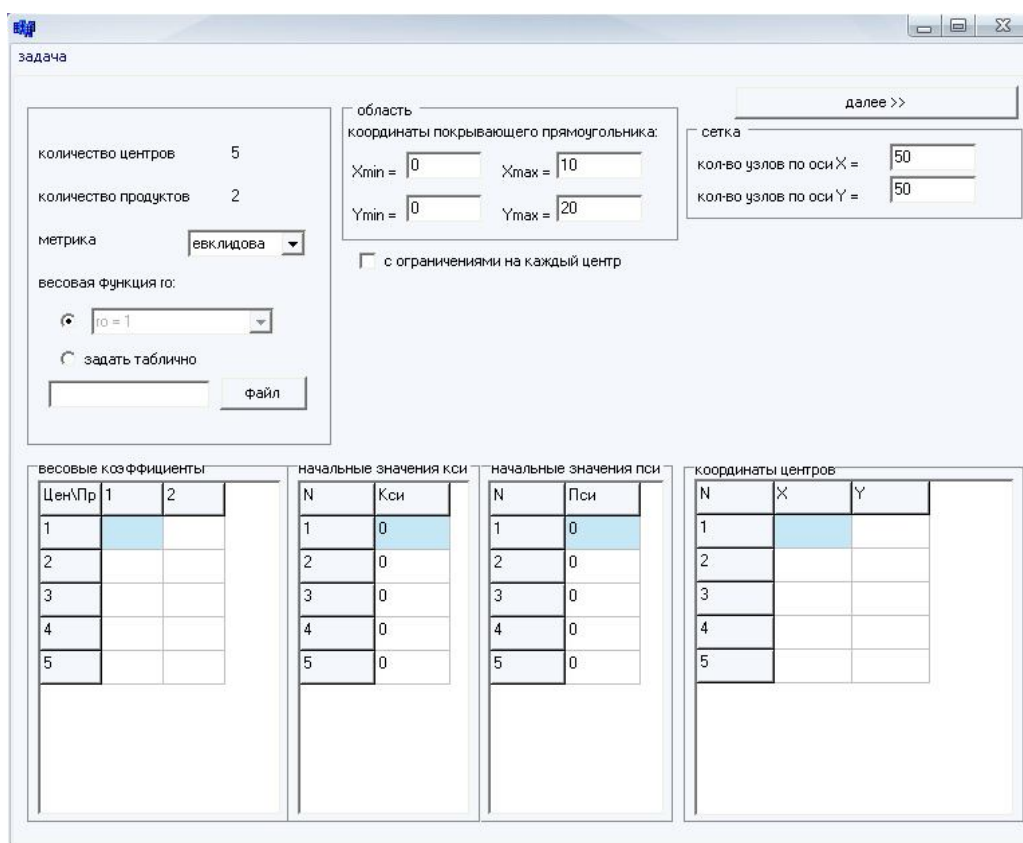


Рисунок 3 – Окно настройки параметров задачи программы для решения непрерывных задач ОРМ (шаг 1)

- «начальные значения пси» – таблица для ввода начальных значений двойственных переменных ψ_i , $i = 1, \dots, N$, при основных ограничениях;
- «начальные значения кси» – таблица для ввода начальных значений двойственных переменных ξ_i , $i = 1, \dots, N$ при дополнительных ограничениях;

По нажатию кнопки «далее >>», осуществляется переход на второй, и заключительный, шаг настройки параметров задачи. В окне, изображенном на рис.4, пользователь может:

- задать правые части b_i ограничений-равенств и ограничений-неравенств на вкладке «ограничения на мощность», при этом тип ограничения задаётся звёздочкой в соответствующем столбце;
- задать правые части l_i дополнительных ограничений на вкладке «ограничения на пропускные способности»;
- задать параметры $r(\alpha)$ -алгоритма: коэффициент растяжения пространства α , начальный пробный шаг h_0 , коэффициент уменьшения шага q_1 , коэффициент увеличения шага q_2 , при этом натуральное число n_h задаёт количество шагов одномерного спуска, после которых шаг увеличится в q_2 раз;
- задать параметры «Eps_x» и «Eps_g», задающие условия останова алгоритма по отклонению аргумента и по норме обобщённого псевдоградиента соответственно;
- задать максимальное количество итераций алгоритма «max итераций» и количество итераций, после выполнения которых производится печать в файл.

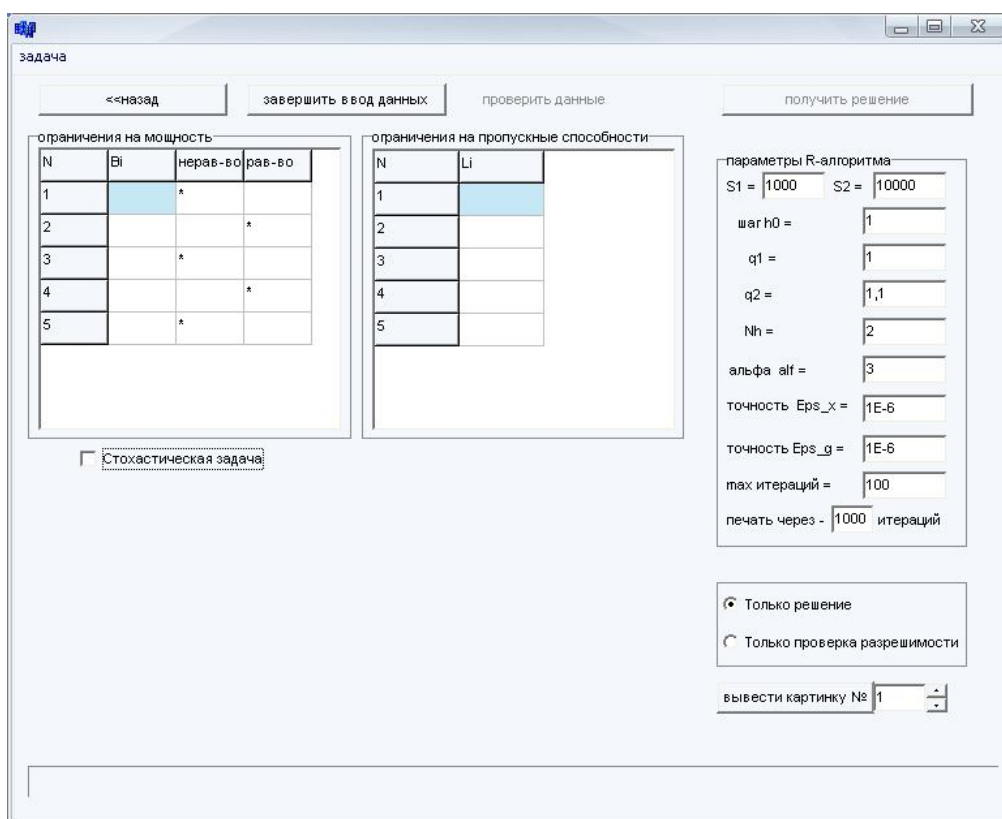


Рисунок 4 – Окно настройки параметров задачи программы (шаг 2)

Чтобы получить решение стохастического аналога некоторой детерминированной задачи, в котором метрика является функцией, зависящей от случайных параметров, необходимо выбрать «Стохастическая задача». Тогда появятся дополнительные вкладки (рис.5), в которых можно задать субъективные математические ожидания и дисперсии, необходимые для решения стохастической задачи непрямом методом.

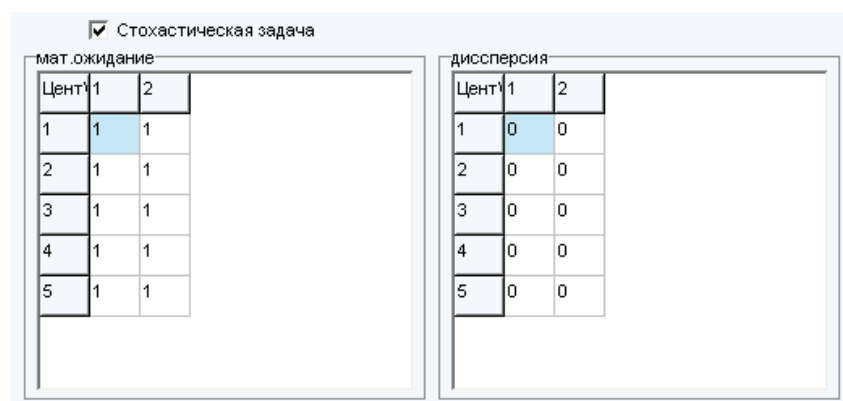


Рисунок 5 – Окна настройки параметров стохастической задачи

После того, как все данные введены, необходимо нажать кнопку «завершить ввод данных». Для проверки введенных данных нужно нажать «проверить данные». Если данные введены неверно, можно вернуться на предыдущий шаг нажатием кнопки «<<< назад». Нажатием кнопки «получить решение» осуществляется получение решения. При этом результаты решения задачи сохраняются в файл, имя которого состоит

из имени задачи и слова «Result», а расширение файла – «.txt». Также результаты решения выводятся на экран в следующем виде (рис.6).

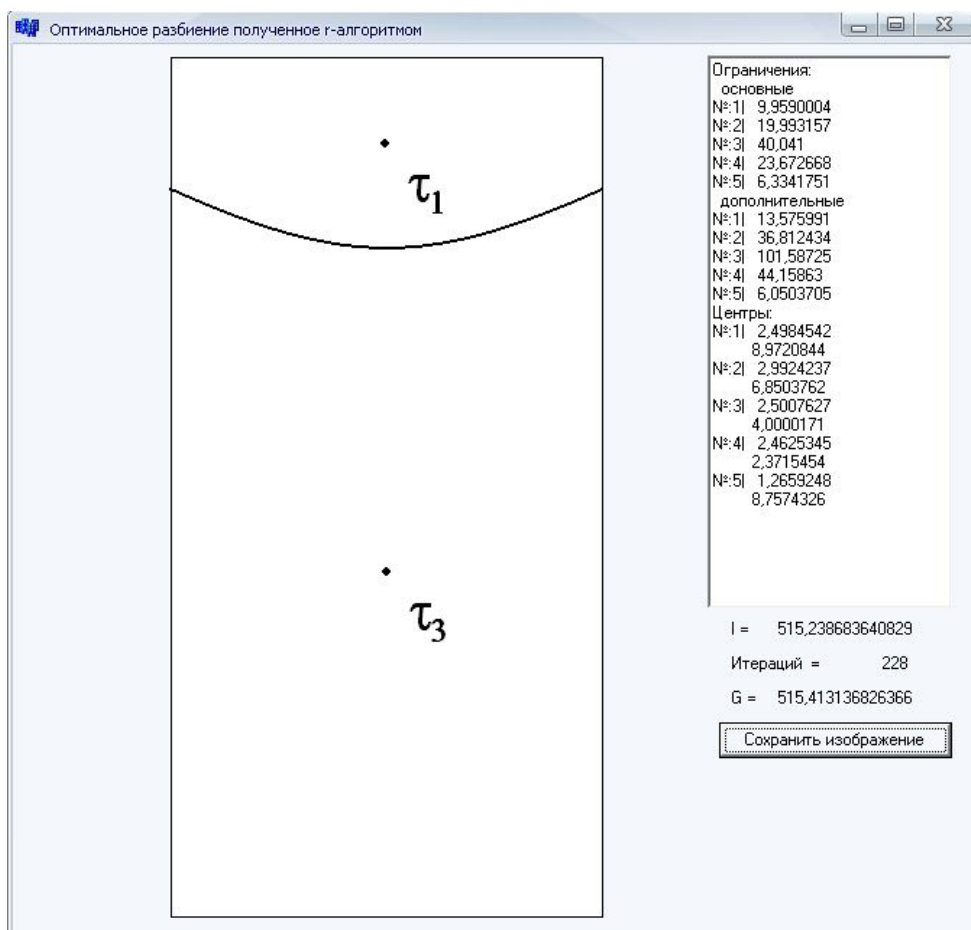


Рисунок 6 – Окна для отображения результатов решения задачи

Выводы. Разработанный программный продукт для решения широкого класса непрерывных задач ОРМ (в условиях определенности и неопределенности) успешно протестирован на ряде модельных бесконечномерных задач размещения предприятий с одновременным разбиением данного региона, непрерывно заполненного потребителями, на области потребителей, каждая из которых обслуживается одним предприятием, с целью минимизации транспортных и производственных затрат.

ЛИТЕРАТУРА

1. Borndorfer R. Aspects of set packing, partitioning and covering / R. Borndorfer. – Dissertation, Technical University of Berlin, Germany. – 1998.
2. Киселёва Е.М. Непрерывные задачи оптимального разбиения множеств: теория, алгоритмы, приложения: монография / Е.М.Киселёва, Н.З.Шор. – К.: Наук. думка, 2005. – 564 с.
3. Киселёва Е.М. Обоснование метода решения многопродуктовой задачи оптимального разбиения множеств при дополнительных ограничениях / Е.М.Киселёва, Я.Е.Кадочникова // Питання прикладної математики і математичного моделювання: збірник наукових праць. – Д.: ДНУ. – 2008. – С.92-107.

Днепродзержинский государственный технический университет

РЕШЕНИЕ ОДНОЙ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО РАЗБИЕНИЯ МНОЖЕСТВ ПРИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОГРАНИЧЕНИЯХ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ

Введение. Ранее в работе [1] рассмотрена непрерывная линейная однопродуктовая задача оптимального разбиения множеств (ОРМ) при дополнительных ограничениях, которая представляет собой детерминированную модель некоторых реальных проблем. В построенной модели не учитывается тот факт, что большинство практических задач, которые могут быть сведены к такого рода моделям, характеризуются некоторой степенью неопределённости, влияющей на качество принимаемых решений.

В данной работе рассмотрена однопродуктовая задача ОРМ на подмножества с размещением их центров при дополнительных ограничениях в условиях неопределённости, которая является стохастическим аналогом детерминированной задачи из [1].

Постановка задачи. Пусть Ω – ограниченное, замкнутое, выпуклое, измеримое по Лебегу множество в n -мерном евклидовом пространстве E_n .

Введём в рассмотрение функционал

$$F_M(\{\Omega_1, \dots, \Omega_N\}, (\tau_1, \dots, \tau_N)) = M \sum_{i=1}^N \int_{\Omega_i} [c(x, \tau_i, \eta_i) + a_i] \rho(x, \eta_0) dx.$$

Здесь и в дальнейшем интегралы понимаются в смысле Лебега. Будем считать, что мера множества граничных точек Ω_i , $i = 1, \dots, N$, равна нулю.

Здесь $\eta_i = \eta_i(\theta) : \Theta \rightarrow R$ ($i = 0, 1, \dots, N$) – случайные величины на вероятностном пространстве $(\Theta, \mathfrak{F}, P)$ с заданными конечными математическими ожиданиями $\bar{\eta}_0, \dots, \bar{\eta}_N$ и дисперсиями $\check{\eta}_0, \dots, \check{\eta}_N$.

Функции $c(x, \tau_i, y_i)$ – действительные, ограниченные, измеримые по аргументу x на некотором открытом, ограниченном, выпуклом множестве W из E_n , содержащем Ω , выпуклые по τ_i на W и борелевские по y_i на множестве значений случайной величины $\eta_i(\theta)$ для всех $i = 1, \dots, N$; функция $\rho(x, y_0)$ – действительная, ограниченная, неотрицательная, измеримая по аргументу x на Ω , и борелевская по y_0 на множестве значений случайной величины $\eta_0(\theta)$; $\tau_i = (\tau_i^{(1)}, \dots, \tau_i^{(n)})$ – некоторая неизвестная заранее точка подмножества Ω_i , называемая центром этого подмножества; a_1, \dots, a_N – заданные действительные неотрицательные числа.

Тогда под M -моделью стохастической однопродуктовой задачи оптимального разбиения множества Ω из E_n на подмножества с размещением их центров с ограничениями в форме равенств и неравенств при дополнительных ограничениях, типа ограничений на пропускные способности коммуникаций, будем понимать следующую задачу.

Задача 1. Найти
$$\min_{(\{\Omega_1, \dots, \Omega_N\}, (\tau_1, \dots, \tau_N))} F_M(\{\Omega_1, \dots, \Omega_N\}, (\tau_1, \dots, \tau_N))$$

при ограничениях

$$\begin{aligned} M \int_{\Omega_i} \rho(x, \eta_0) dx &= b_i, \quad i = 1, \dots, p, \\ M \int_{\Omega_i} \rho(x, \eta_0) dx &\leq b_i, \quad i = p+1, \dots, N, \\ M \int_{\Omega_i} c(x, \tau_i, \eta_i) \rho(x, \eta_0) dx &\leq l_i, \quad i = 1, \dots, N, \\ \{\Omega_1, \dots, \Omega_N\} &\in \{(\Omega_1, \dots, \Omega_N) : \bigcup_{i=1}^N \Omega_i = \Omega, \\ \text{mes}(\Omega_i \cap \Omega_k) &= 0, \quad i \neq k, \quad i, k = 1, \dots, N\}, \\ \tau &= (\tau_1, \dots, \tau_N) \in \Omega^N, \end{aligned}$$

где $x = (x^{(1)}, \dots, x^{(n)}) \in \Omega$, $\tau_i = (\tau_i^{(1)}, \dots, \tau_i^{(n)}) \in \Omega$; $b_1, \dots, b_N, l_1, \dots, l_N$ – заданные действительные числа.

Результаты работы. Для решения задачи 1 предлагается непрямой метод решения, основанный на замене исходной стохастической задачи детерминированным эквивалентом, который является обобщением метода из [2]. Отметим, что при использовании такого подхода отыскивается детерминированное оптимальное разбиение.

Введём обозначения:

$$\begin{aligned} f^0(\{\Omega_1, \dots, \Omega_N\}, \tau, \eta) &= \sum_{i=1}^N \int_{\Omega_i} [c(x, \tau_i, \eta_i) + a_i] \rho(x, \eta_0) dx, \\ f^i(\{\Omega_1, \dots, \Omega_N\}, \tau, \eta) &= \int_{\Omega_i} \rho(x, \eta_0) dx, \quad i = 1, \dots, N, \\ f^{i+N}(\{\Omega_1, \dots, \Omega_N\}, \tau, \eta) &= \int_{\Omega_i} c(x, \tau_i, \eta_i) \rho(x, \eta_0) dx, \quad i = 1, \dots, N, \end{aligned}$$

где $\eta = (\eta_0, \dots, \eta_N)$, $\tau = (\tau_1, \dots, \tau_N)$.

Для замены исходной стохастической задачи 1 её детерминированным эквивалентом разложим функции $f^0(\{\Omega_1, \dots, \Omega_N\}, \tau, \eta)$, $f^i(\{\Omega_1, \dots, \Omega_N\}, \tau, \eta)$, $f^{i+N}(\{\Omega_1, \dots, \Omega_N\}, \tau, \eta)$, $i = 1, \dots, N$, в ряд Тейлора в окрестности $\bar{\eta} = (\bar{\eta}_0, \dots, \bar{\eta}_N)$.

Необходимо отметить, что далее рассматривается случай, когда случайные величины η_0 и η_i , $i = 1, \dots, N$, попарно некоррелированные.

Оставляя в разложении члены до второго порядка включительно и применяя к обеим частям полученного разложения операцию математического ожидания, получаем

$$\begin{aligned} Mf^0(\{\Omega_1, \dots, \Omega_N\}, \tau, \eta) &\approx \sum_{i=1}^N \int_{\Omega_i} \left\{ \left[c(x, \tau_i, \bar{\eta}_i) + a_i + \frac{1}{2} c''_{\eta_i \eta_i}(x, \tau_i, \bar{\eta}_i) \overset{\vee}{\eta}_i \right] \rho(x, \bar{\eta}_0) + \right. \\ &\left. + \frac{1}{2} [c(x, \tau_i, \bar{\eta}_i) + a_i] \rho''_{\eta_0 \eta_0}(x, \bar{\eta}_0) \overset{\vee}{\eta}_0 \right\} dx, \end{aligned} \quad (1)$$

$$Mf^i(\{\Omega_1, \dots, \Omega_N\}, \tau, \eta) \approx \int_{\Omega_i} \left[\rho(x, \bar{\eta}_0) + \frac{1}{2} \rho''_{\eta_0 \eta_0}(x, \bar{\eta}_0) \overset{\vee}{\eta}_0 \right] dx, \quad (2)$$

$$\begin{aligned} Mf^{i+N}(\{\Omega_1, \dots, \Omega_N\}, \tau, \eta) &\approx \int_{\Omega_i} \left\{ \left[c(x, \tau_i, \bar{\eta}_i) + \frac{1}{2} c''_{\eta_i \eta_i}(x, \tau_i, \bar{\eta}_i) \overset{\vee}{\eta}_i \right] \rho(x, \bar{\eta}_0) + \right. \\ &\left. + \frac{1}{2} c(x, \tau_i, \bar{\eta}_i) \rho''_{\eta_0 \eta_0}(x, \bar{\eta}_0) \overset{\vee}{\eta}_0 \right\} dx. \end{aligned} \quad (3)$$

Очевидно, что приближённые равенства в (1)-(3) будут точными для линейных и квадратичных относительно случайной величины η функций $f^i(\{\Omega_1, \dots, \Omega_N\}, \tau, \eta)$, $i = 0, \dots, 2N$, и тогда точный детерминированный эквивалент задачи 1 имеет следующий вид.

Задача 2. Найти
$$\min_{(\{\Omega_1, \dots, \Omega_N\}, (\tau_1, \dots, \tau_N))} \bar{F}_M(\{\Omega_1, \dots, \Omega_N\}, (\tau_1, \dots, \tau_N))$$

при ограничениях

$$\int_{\Omega_i} \left[\rho(x, \bar{\eta}_0) + \frac{1}{2} \rho''_{\eta_0 \eta_0}(x, \bar{\eta}_0) \check{\eta}_0 \right] dx = b_i, \quad i = 1, \dots, p,$$

$$\int_{\Omega_i} \left[\rho(x, \bar{\eta}_0) + \frac{1}{2} \rho''_{\eta_0 \eta_0}(x, \bar{\eta}_0) \check{\eta}_0 \right] dx \leq b_i, \quad i = p+1, \dots, N,$$

$$\int_{\Omega_i} \left\{ \left[c(x, \tau_i, \bar{\eta}_i) + \frac{1}{2} c''_{\eta_i \eta_i}(x, \tau_i, \bar{\eta}_i) \check{\eta}_i \right] \rho(x, \bar{\eta}_0) + \frac{1}{2} c(x, \tau_i, \bar{\eta}_i) \rho''_{\eta_0 \eta_0}(x, \bar{\eta}_0) \check{\eta}_0 \right\} dx \leq l_i, \quad i = 1, \dots, N,$$

$$\{\Omega_1, \dots, \Omega_N\} \in \Sigma_{\Omega}^{MN}, \quad \tau = (\tau_1, \dots, \tau_N) \in \Omega^N,$$

где

$$\bar{F}_M(\{\Omega_1, \dots, \Omega_N\}, (\tau_1, \dots, \tau_N)) = \sum_{i=1}^N \int_{\Omega_i} \left\{ \left[c(x, \tau_i, \bar{\eta}_i) + a_i + \frac{1}{2} c''_{\eta_i \eta_i}(x, \tau_i, \bar{\eta}_i) \check{\eta}_i \right] \cdot \rho(x, \bar{\eta}_0) + \frac{1}{2} \left[c(x, \tau_i, \bar{\eta}_i) + a_i \right] \rho''_{\eta_0 \eta_0}(x, \bar{\eta}_0) \check{\eta}_0 \right\} dx.$$

Введём характеристическую функцию подмножества Ω_i , $i = 1, \dots, N$, в виде

$$\lambda_i(x) = \begin{cases} 1, & x \in \Omega_i, \\ 0, & x \in \Omega \setminus \Omega_i. \end{cases} \quad (4)$$

Рассмотрим функционал

$$I_M(\lambda(\cdot), \tau) = \int_{\Omega} \sum_{i=1}^N \left\{ \left[c(x, \tau_i, \bar{\eta}_i) + a_i + \frac{1}{2} c''_{\eta_i \eta_i}(x, \tau_i, \bar{\eta}_i) \check{\eta}_i \right] \rho(x, \bar{\eta}_0) + \frac{1}{2} \left[c(x, \tau_i, \bar{\eta}_i) + a_i \right] \rho''_{\eta_0 \eta_0}(x, \bar{\eta}_0) \check{\eta}_0 \right\} \lambda_i(x) dx,$$

где вектор-функция $\lambda(x) = (\lambda_1(x), \dots, \lambda_N(x))$, $x \in \Omega$, вектор $\tau = (\tau_1, \dots, \tau_N) \in \Omega^N$.

Очевидно

$$I_M(\lambda(\cdot), \tau) = \bar{F}_M(\{\Omega_1, \dots, \Omega_N\}, \tau).$$

Перепишем задачу 2 в терминах характеристических функций.

Задача 3. Найти
$$\min_{\{\lambda(\cdot), \tau\}} I_M(\lambda(\cdot), \tau)$$

при ограничениях

$$A_i(\lambda(\cdot)) = \int_{\Omega} \left[\rho(x, \bar{\eta}_0) + \frac{1}{2} \rho''_{\eta_0 \eta_0}(x, \bar{\eta}_0) \check{\eta}_0 \right] \lambda_i(x) dx - b_i = 0, \quad i = 1, \dots, p, \quad (5)$$

$$A_i(\lambda(\cdot)) = \int_{\Omega} \left[\rho(x, \bar{\eta}_0) + \frac{1}{2} \rho''_{\eta_0 \eta_0}(x, \bar{\eta}_0) \check{\eta}_0 \right] \lambda_i(x) dx - b_i \leq 0, \quad i = p+1, \dots, N, \quad (6)$$

$$\Phi_i(\lambda(\cdot), \tau) = \int_{\Omega} \left\{ \left[c(x, \tau_i, \bar{\eta}_i) + \frac{1}{2} c''_{\eta_i \eta_i}(x, \tau_i, \bar{\eta}_i) \overset{\vee}{\eta}_i \right] \rho(x, \bar{\eta}_0) + \frac{1}{2} c(x, \tau_i, \bar{\eta}_i) \rho''_{\eta_0 \eta_0}(x, \bar{\eta}_0) \overset{\vee}{\eta}_0 \right\} \lambda_i(x) dx - l_i \leq 0, \quad i=1, \dots, N, \quad (7)$$

$$\lambda(\cdot) \in \Gamma'_1, \quad \tau \in \Omega^N,$$

где $\Gamma'_1 = \{ \lambda(x) : \lambda_i(x) = 0 \vee 1 \text{ п.в. для } x \in \Omega, \quad i=1, \dots, N,$

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i(x) = 1 \text{ п.в. для } x \in \Omega \}.$$

Задача 3 является задачей бесконечномерного математического программирования с булевыми значениями переменных $\lambda(\cdot)$. От задачи 3 перейдём к соответствующей задаче со значениями $\lambda(\cdot)$ из отрезка $[0, 1]$.

Задача 4. Найти $\min_{\{\lambda(\cdot), \tau\}} I_M(\lambda(\cdot), \tau)$

при ограничениях (5)-(7),

$$\lambda(\cdot) \in \Gamma', \quad \tau \in \Omega^N,$$

где $\Gamma' = \{ \lambda(x) : 0 \leq \lambda_i(x) \leq 1 \text{ п.в. для } x \in \Omega, \quad i=1, \dots, N,$

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i(x) = 1 \text{ п.в. для } x \in \Omega \}.$$

Для решения задачи 4 применяется метод, аналогичный методу решения непрерывных линейных задач ОРМ, обоснование которого приводится в [2]. Идея метода заключается в сведении детерминированного эквивалента (задача 4) через функционал Лагранжа к двойственной конечномерной задаче с негладкой целевой функцией, для решения которой применяется алгоритм обобщённых псевдоградиентов с растяжением пространства, близкий к r -алгоритму Шора.

Отметим, что функционал Лагранжа для задачи 4 имеет вид:

$$\begin{aligned} h_M(\{\lambda(\cdot), \tau\}, \Psi) &= I_M(\lambda(\cdot), \tau) + \sum_{i=1}^N \psi_i A_i(\lambda(\cdot)) + \sum_{i=1}^N \xi_i \Phi_i(\lambda(\cdot), \tau) = \\ &= \int_{\Omega} \sum_{i=1}^N \left\{ \left[c(x, \tau_i, \bar{\eta}_i) + a_i + \frac{1}{2} c''_{\eta_i \eta_i}(x, \tau_i, \bar{\eta}_i) \overset{\vee}{\eta}_i \right] \rho(x, \bar{\eta}_0) + \right. \\ &+ \left. \frac{1}{2} \left[c(x, \tau_i, \bar{\eta}_i) + a_i \right] \rho''_{\eta_0 \eta_0}(x, \bar{\eta}_0) \overset{\vee}{\eta}_0 \right\} \lambda_i(x) dx + \\ &+ \sum_{i=1}^N \psi_i \left(\int_{\Omega} \left[\rho(x, \bar{\eta}_0) + \frac{1}{2} \rho''_{\eta_0 \eta_0}(x, \bar{\eta}_0) \overset{\vee}{\eta}_0 \right] \lambda_i(x) dx - b_i \right) + \\ &+ \sum_{i=1}^N \xi_i \left(\int_{\Omega} \left\{ \left[c(x, \tau_i, \bar{\eta}_i) + \frac{1}{2} c''_{\eta_i \eta_i}(x, \tau_i, \bar{\eta}_i) \overset{\vee}{\eta}_i \right] \rho(x, \bar{\eta}_0) + \right. \right. \\ &+ \left. \left. \frac{1}{2} c(x, \tau_i, \bar{\eta}_i) \rho''_{\eta_0 \eta_0}(x, \bar{\eta}_0) \overset{\vee}{\eta}_0 \right\} \lambda_i(x) dx - l_i \right) \end{aligned} \quad (8)$$

Здесь $\lambda(x) \in \Gamma'$ п.в. для $x \in \Omega$, $\tau = (\tau_1, \dots, \tau_N) \in \Omega^N$, переменные $\Psi = (\psi, \xi) \in K^* = K_1^* \times K_2^* \times K_3^*$, $\psi = (\psi^1, \psi^2) = (\psi^1_1, \dots, \psi^1_p, \psi^2_1, \dots, \psi^2_{N-p}) \in K_1^* \times K_2^*$, где $\psi^1 = (\psi^1_1, \dots, \psi^1_p) \in K_1^*$, $\psi^2 = (\psi^2_1, \dots, \psi^2_{N-p}) \in K_2^*$, $\xi = (\xi_1, \dots, \xi_N) \in K_3^*$, а

$$K_1 = \{0\} \in E_p,$$

$$K_2 = \{w = (w_1, \dots, w_{N-p}) \in E_{N-p} : w_i \geq 0, i = 1, \dots, N-p\},$$

$$K_3 = \{y = (y_1, \dots, y_N) \in E_N : y_i \geq 0, i = 1, \dots, N\}.$$

Пусть

$$G_M(\Psi) = \inf_{\{\lambda(\cdot), \tau\} \in \Gamma' \times \Omega^N} h_M(\{\lambda(\cdot), \tau\}, \Psi), \quad (9)$$

$$\psi^1 \in K_1^*, \psi^2 \in K_2^*, \xi \in K_3^*,$$

где K_1^*, K_2^*, K_3^* – сопряжённые конусы.

Определим задачу, двойственную к задаче 4, следующим образом:

$$G_M(\Psi) \rightarrow \sup, \quad (10)$$

при условиях

$$\psi^1 \in K_1^*, \psi^2 \in K_2^*, \xi \in K_3^*. \quad (11)$$

Приведём итоговую теорему.

Теорема 1. Оптимальное решение $\{\lambda_*(\cdot), \tau_*\}$ задачи 2 может быть найдено, как первая компонента седловой точки $(\{\lambda_*(\cdot), \tau_*\}, \Psi^*)$ функционала Лагранжа (8) на множестве $\{\Gamma' \times \Omega^N\} \times K^*$, которая определяется для $i = 1, \dots, N$, и почти всех $x \in \Omega$ следующим образом:

$$\lambda_{*i}(x) = \begin{cases} 1 & \text{при } x \in \Omega_{*i}, \\ 0 & \text{при } x \in \Omega \setminus \Omega_{*i}, \end{cases}$$

где
$$\Omega_{*i} = \{x \in \Omega : \varphi_i(x, \tau_{*i}, \psi_i^*, \xi_i^*) = \min_{k=1,2,\dots,N} \{\varphi_k(x, \tau_{*k}, \psi_k^*, \xi_k^*)\},$$

$$i \neq k \text{ п. в. для } x \in \Omega, j = 1, \dots, M\},$$

в качестве $\tau_{*1}, \dots, \tau_{*N}, \psi_1^*, \dots, \psi_N^*, \xi_1^*, \dots, \xi_N^*$ выбирается оптимальное решение двойственной задачи (10)-(11), приведенной к виду

$$G_M(\Psi) = \min_{\tau \in \Omega^N} \tilde{G}_M(\tau, \Psi) =$$

$$= \min_{\tau \in \Omega^N} \left\{ \int_{\Omega} \min_{k=1,\dots,N} \{\varphi_k(x, \tau_k, \psi_k, \xi_k)\} - \sum_{i=1}^N \psi_i b_i - \sum_{i=1}^N \xi_i l_i \right\} \rightarrow \max,$$

при условиях

$$\psi_i \geq 0, i = p+1, \dots, N, \quad \xi_i \geq 0, i = 1, \dots, N,$$

где
$$\varphi_i(x, \tau_i, \psi_i, \xi_i) = \left[(1 + \xi_i) \left(c(x, \tau_i, \bar{\eta}_i) + \frac{1}{2} c''_{\eta_i \eta_i}(x, \tau_i, \bar{\eta}_i) \overset{\vee}{\eta}_i \right) + a_i + \psi_i \right] \rho(x, \bar{\eta}_0) +$$

$$+ \frac{1}{2} \left[(1 + \xi_i) c(x, \tau_i, \bar{\eta}_i) + a_i + \psi_i \right] \rho''_{\eta_0 \eta_0}(x, \bar{\eta}_0) \overset{\vee}{\eta}_0, i = 1, \dots, N.$$

Выводы. Построена М-модель однопродуктовой стохастической задачи ОРМ с размещением центров при дополнительных ограничениях. Получено решение названной задачи непрямом методом стохастического программирования, идея которого состоит в сведении стохастической задачи к её детерминированному эквиваленту, для решения которой необходимо знание лишь субъективных математических ожиданий и дисперсий случайных параметров задачи.

На основе теоремы 1 построен алгоритм решения стохастической задачи 1, который программно реализован и успешно протестирован на ряде модельных задач, в которых функция метрики имеет вероятностно-статистическую природу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Киселёва Е.М. Решение непрерывной однопродуктовой задачи оптимального разбиения с дополнительными ограничениями / Е.М.Киселёва, Я.Е.Кадочникова // Проблемы управления и информатики. – 2009. – №4. – С.47-61.
2. Киселёва Е.М. Решение непрерывной задачи оптимального разбиения в условиях неполной информации об исходных данных / Е.М.Киселёва, Н.З.Шор // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 1991. – Т. 31, № 6. – С.792-809.

УДК 004.681

БАБЕНКО М.В., к.т.н., доцент
АЛЕКСЕЕВ И.А., к.т.н., доцент
АЛЕКСЕЕВА Ю.А.*, преподаватель

Днепродзержинский государственный технический университет
*Днепродзержинский энергетический техникум

ОПТИМИЗАЦИЯ СКОРОСТИ ЗАГРУЗКИ ВЕБ-РЕСУРСОВ

Введение. В современном мире Интернет играет роль основной среды для распространения информации. Отправка электронных писем, поиск информации на интересные темы, чтение новостных сводок, общение с друзьями и коллегами – вот лишь малая доля того, ради чего мы используем Интернет.

Каждое наше действие в Интернете затрагивает многочисленные технические аспекты сетевых соединений и передачи данных. При текущих скоростях доступа в Интернет можно подумать, что любой веб-ресурс работает быстро или что скорость его работы зависит только от скорости подключения (самого ресурса или конечного пользователя). Однако рост размера страницы среднего веб-ресурса лишь немногим уступает росту пропускной способности каналов доступа. А если учесть, что с каждым годом расслоение пользователей по скорости подключения к Интернету только усиливается, то ситуация принимает уже критический характер: ведь для обеспечения высокой скорости загрузки для 90% пользователей нужно использовать более прогрессивные и технологичные методы.

Постановка задачи. Важность клиентской архитектуры в настоящее время невозможно переоценить, потому что подавляющая часть вопросов по ускорению загрузки веб-ресурсов связана именно с клиентской частью, т.к. 95% времени при загрузке веб-ресурса связано с задержками на стороне конечного пользователя, и только 5% приходится на «серверную» составляющую (которая включает, кроме ожидания ответа, собственно, от сервера, еще и время на DNS-запрос, время на установление TCP/IP-соединения и ряд других издержек). Именно поэтому оптимизация времени загрузки страницы является одной из первостепенных задач

При этом каждый проблемный вопрос, будь то использование стандартов при верстке страницы, комбинирование фоновых изображений для уменьшения числа запросов к серверу, применение JavaScript-логики на странице, должен решаться, в первую очередь, исходя не только из фактического технического задания, но и максимальной производительности на стороне браузера.

Психологические исследования показали, что пользовательское раздражение сильно возрастает, если скорость загрузки страницы превышает 8-10 секунд безо всякого уведомления пользователя о процессе загрузки, 33% пользователя скоростного со-

единения не хотят ждать более 4 секунд при загрузке страницы, при этом 43% пользователей не ждут более 6 секунд.

С добавлением уведомления пользователя о процессе загрузки (обратной связи), например, индикатора загрузки, терпимое время ожидания (ТВО) увеличилось до 38 секунд. Распределение ТВО для повторных попыток зайти на неработающие ссылки имело максимум в районе 2-3 секунд (без обратной связи).

В качестве основных проблемных мест при загрузке страницы любого веб-ресурса можно выделить четыре ключевых момента:

1. *Предзагрузка* – появление страницы в браузере пользователя. После некоторого момента ожидания загрузки при заходе на веб-ресурс у пользователя в браузере возникает нарисованная страница. В этот момент, скорее всего, на странице отсутствуют рисунки и, возможно, не полностью функционирует JavaScript-логика.

2. *Интерактивная загрузка* – появление интерактивности у загруженной веб-страницы. Обычно вся клиентская логика взаимодействия доступна сразу после первоначальной загрузки страницы (стадия 1), однако, в некоторых случаях поддержка этой логики немного запаздывает по времени от появления основной картинки в браузере пользователя.

3. *Полная загрузка* страницы. Страница веб-ресурса полностью появилась в браузере, на ней представлена вся заявленная информация, и она готова к дальнейшим действиям пользователя.

4. *Пост-загрузка* страницы. На данной стадии полностью загруженная страница может (в невидимом для пользователя режиме) осуществлять загрузку и кэширование некоторых ресурсов или компонентов. Они могут потребоваться пользователю при переходе на другие страницы данного веб-узла или для отображения (но не функционирования логики) каких-либо интерактивных эффектов.

Для большинства веб-ресурсов на данный момент стоит различать только предзагрузку (в которую по умолчанию включается интерактивная загрузка) и полную загрузку страницы. Пост-загрузка используется крайне мало.

Оптимизация скорости загрузки веб-страницы сосредоточена на двух ключевых аспектах: ускорение предзагрузки и ускорение основной загрузки. Все основные методы сфокусированы именно на этом, потому что именно эти две стадии воспринимаются пользователем как «загрузка» веб-страницы.

Если описать все оптимизационные методы, то они разбиваются на 4 основные группы:

1. Уменьшение объема представляемых данных (сюда относится использование алгоритмов сжатия и соответствующих форматов представления изображений).

2. Кэширование (использование парных клиент-серверных заголовков для уменьшения времени передачи информации при сохранении ее актуальности).

3. Уменьшение числа ресурсов (различные методы объединения загружаемых файлов).

4. «Визуальная» оптимизация (к которой относятся алгоритмы разделения процесса загрузки на 4 стадии для максимального ускорения загрузки основных стадий, а также ряд методов, связанных с параллельными потоками загрузки).

При уменьшении объема данных наиболее действенным будет архивирование (gzip/deflate) на сервере. Практически все современные гиганты Интернет-индустрии сейчас отдают текстовые файлы в gzip-формате (это и Google, и Yahoo!, и Yandex). Данный подход наиболее простой для применения и поэтому имеет наибольшую эффективность: минимум действий приводит к максимуму результата.

Кэширование также не требует глубоких знаний сетевых протоколов и тонкостей верстки, но способно (при больших количествах постоянных посетителей) в зна-

чительной степени повлиять на скорость загрузки страницы конкретно для них.

Далее по эффективности обычно используют объединение как текстовых (.html, .css, .js) файлов, так и графических, используемых в оформительских целях. Текстовые файлы объединять очень просто, при этом мы можем сэкономить значительное время, уходящее на дополнительные запросы к серверу. При объединении графических файлов обычно используют технологию CSS Sprites (Image Map), которую не так легко автоматизировать, но при больших количествах иконок на странице она способна значительно ускорить загрузку.

К методам «визуальной» оптимизации можно отнести как экстремальную оптимизацию, когда все сопутствующие файлы включены в итоговый, так и распределение нагрузки по загрузке файлов по нескольким серверам. На реальном времени отображения страницы эти действия сказываются не сильно, в некоторых случаях их внедрение сопряжено со значительными трудностями.

Основным критерием, который должен определять, какие методы и в каком объеме стоит применять, будет аудитория ресурса. Для каждого веб-ресурса можно выделить несколько характерных групп страниц, которые посещаются тем или иным типом аудитории. В первую группу войдут веб-страницы, на которые заходят всякий раз новые пользователи. Это и специальные рекламные страницы, задачей которых является прямая продажа продукта. Это и страницы объявлений, которые пользователи должны увидеть один, максимум, два раза. И т.д. Аудитория таких страниц на 99,9% состоит из новых пользователей. Следовательно, для них нужно применять методы, снижающие, в первую очередь, число обращений к серверу для показа страницы: объединение файлов и экстремальную оптимизацию.

Ко второй группе можно отнести страницы, аудитория которых также часто меняется, однако, часть ее может просматривать страницы неограниченное число раз. Для таких страниц можно выделить характерное ядро постоянных посетителей, однако, оно составляет не более 30-40% от общего числа. Большинство веб-ресурсов, которые «живут» на поисковом трафике, являются замечательным примером, полностью подходящих под эту группу. Для таких страниц, в первую очередь, стоит рассмотреть методы уменьшения числа запросов (CSS Sprites), также возможную минимизацию всех текстовых файлов (HTML, CSS, JavaScript). Однако применение кэширования в данном случае оправдано в меньшей степени, так как уменьшит время загрузки страницы не так сильно (если брать средневзвешенное значение), чем, например, параллельные запросы.

Наконец, к третьей группе относятся все остальные страницы, а именно те, аудитория которых в большей степени постоянна (это примерно 30% постоянных пользователей ресурса). В этой группе наиболее действенным будет, конечно же, кэширование и оптимизация скорости работы JavaScript и Flash-анимации – ведь именно она будет «съедать» больше всего времени.

Результаты работы. Рассмотренные выше методы помогут в значительной степени ускорить стадию предзагрузки. Однако, при наличии значительного числа JavaScript-файлов, обеспечивающих анимационные эффекты или взаимодействие с пользователем, полная загрузка может быть значительно задержана по времени.

Для предотвращения этого эффекта наиболее распространенным подходом предлагается вынесение интерактивной загрузки (фактически, всех внешних JavaScript-файлов) в область предзагрузки (при небольшом объеме кода можно его полностью включить в исходный HTML) или пост-загрузки (используя комбинированное событие window.onload).

Как обычно, главным критерием будет аудитория веб-ресурса: следует оптимизировать загрузку страницы, ориентируясь именно на ее характеристики (средняя скорость доступа, типичный браузер и др.). При этом стоит руководствоваться следующи-

ми подходами:

1. Для постоянно обновляющейся аудитории наиболее оптимальным будет включение всей файлов в исходный HTML (изображений – с помощью комбинированного data:URL подхода).

2. Если аудитория смешанная, то рекомендуется примерно половину размера страницы оставить в HTML-файле, а оставшуюся половину разделить на несколько (4-8) файлов, которые затем можно будет кэшировать.

3. При постоянной аудитории стоит сократить размер HTML-файла до минимума и настроить кэширующие заголовки, ориентированные на продолжительное время.

4. Загрузку всех JavaScript-файлов следует вынести в четвертую стадию (пост-загрузку), ускорив тем самым отображение страницы в третьей стадии. В идеале, второй стадии (интерактивной загрузки) не должно существовать: пользователи некоторое время после загрузки страницы «осваиваются» на ней, привыкают к элементам навигации, поэтому в это время ожидания можно невидимо для них подгрузить все необходимые интерактивные элементы.

5. Для ускорения загрузки необходимых фоновых изображений можно форсировать их вызовы через динамическое создание соответствующих картинок в head области страницы (метод `new Image` в JavaScript).

Загрузку JavaScript-кода на странице следует убрать из числа факторов, влияющих на ход основной (до 3 стадии) загрузки. Браузер не имеет права отображать страницу, не проанализировав весь JavaScript-код, поэтому большое количество вызовов таких файлов, происходящих во второй стадии, может существенно замедлить загрузку.

Если общий размер JavaScript-кода менее 5% от общего размера HTML-/CSS-кода, то его следует включить в последний (расположив максимально близко к закрывающему тегу `body`). Если JavaScript представляет собой один монолитный блок, обеспечивающий интерактивное функционирование всей страницы, при этом его размер достаточно велик для первого случая, то стоит вынести загрузку этого кода (как одно-единственного внешнего файла) в пост-загрузку.

При наличии нескольких, не связанных друг с другом, JavaScript-частей их можно вызывать в пост-загрузке независимо (в несколько потоков через создания динамического узла `script` в head-области страницы), что увеличит скорость их загрузки. Это относится, в частности, к различным счетчикам.

Если JavaScript на странице представляет собой некоторую библиотеку, которая затем используется различными приложениями, и при этом библиотека используется на большинстве страниц веб-ресурса, а использующие ее приложения различаются от страницы к странице, то в этом случае стоит организовать загрузку по цепочке. Вначале в пост-загрузке вызывается сам библиотечный файл, затем он подгружает все необходимые на данной странице приложения. Это относится к использованию большинства современных JavaScript-фреймворков: jQuery, Prototype, MooTools, Ext2, Dojo, YUI.

Все вышеописанные методы помогут избежать задержек в загрузке, связанных с использованием любого JavaScript-кода.

Выводы. Подводя итоги всему вышесказанному, можно заявить: по-настоящему быстрые веб-ресурсы существуют, и создавать их не настолько сложно, как может показаться на первый взгляд. Самое главное в использовании подходов клиентской оптимизации – это понимать, на какой стадии загрузки отразятся те или иные действия, стремясь максимально ускорить предзагрузку страницы и ее основную загрузку.

Описанные выше алгоритмы применимы, практически, в любой ситуации. Это показало обширное практическое применение их для широкого круга задач: оптимизации высоконагруженных страниц, ускорения работы JavaScript-логики на странице и

оптимизационного анализа неоднородных веб-ресурсов.

Как показывает практика, загрузку среднего веб-ресурса можно ускорить примерно в 2-3 раза, и все это достигается за счет очень простых действий: фактически все, что не нужно пользователю прямо сейчас (сразу после предзагрузки), можно загрузить при отображении страницы или даже после ее отображения (в течение первых 100-500 миллисекунд), пока пользователь еще не совершил никаких активных действий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мархвида И.В. Создание Web-страниц: HTML, CSS, javascript / Мархвида И.В. – Мн.: Новое знание, 2002. – 352с.
2. С.Айзекс. Dynamic HTML. Секреты создания интерактивных Web-страниц. Серия: Мастер. Руководство для профессионалов / С.Айзекс. – Издательство: BHV, 2001. – 496с.
3. Крейнак Дж. Интернет: энциклопедия / Дж.Крейнак, Дж.Хейбрекен. – СПб: Издательство «Питер», 2005. – 560с.
4. Web Optimizator. - <http://webo.in/>.

УДК 66.095.26.001.53

ДРАНИШНИКОВ Л.В., д.т.н., профессор

Днепродзержинский государственный технический университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ УПРАВЛЕНИЙ ПРИ ПЕРЕХОДНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ РЕАКТОРА ПОЛИМЕРИЗАЦИИ

Введение. Основной целью управления процессом полимеризации является обеспечение максимальной производительности реактора при выпуске полимера с заданными свойствами. При построении системы управления реакторами полимеризации должны быть реализованы следующие основные функции: стабилизация режимных параметров процесса; логическое управление процессом; пуск и остановка процесса; аварийная защита; контроль и управление производительностью; контроль и управление качеством получаемого полимера; дистанционный контроль; управление вспомогательными параметрами реактора. Большинство этих задач в той или иной степени были решены при создании систем управления реакторами полимеризации. Принципиально новое значение они получили в результате использования вычислительных машин, входящих в состав АСУ и позволяющих применять для контроля и управления процессом математические модели реакторов, работающих в реальном масштабе времени.

Для общей структуры системы управления технологической системой процесса полимеризации характерны три уровня иерархии: отдельные процессы и аппараты; подсистемы, включающие несколько аппаратов и образующие или технологическую схему, или часть ее; производство в целом.

На верхнем уровне управление связано с решением задачи долгосрочного планирования выпуска продукции. Управление здесь связано с учетом ограничений по сырьевым ресурсам, возможным изменениям цен на материалы и продукцию. На этом уровне составляется оптимальный план или график выпуска продукции. Взаимосвязь этого уровня иерархии с последующим осуществляется через контроль качества и количества выпускаемой продукции, а также через контроль материальных и энергетических балансов.

На следующем уровне иерархии решаются задачи управления непосредственно выпуском продукции на технологических схемах и управление обслуживанием технологического оборудования. Эти задачи увязываются с управлением поддержания материального и энергетического баланса по каждой технологической схеме. Временные интервалы управления на этом уровне составляют примерно от одних суток до недели.

На следующем уровне осуществляется оптимальное управление работой отдельными установками и подсистемами. Временной интервал составляет здесь величину от 1 до 6 час. Обмен информацией с последующим уровнем иерархии осуществляется через параметры, характеризующие работу отдельных аппаратов, состояние процессов, их эффективность.

Системы управления на последнем уровне иерархии представляют собой так называемые локальные системы управления или системы регулирования по поддержанию оптимальных значений параметров на отдельных установках, стабилизации входных потоков и т.п. Управление здесь обычно производят во временной промежутке от 0,1 до 1 часа.

Управление реактором полимеризации осуществляется путем изменения расходов реагентов (мономера и инициаторов), температуры входной смеси, давления в реакторе и температуры охлаждающей реактор жидкости. В результате этих управляющих воздействий в реакторе устанавливается некоторая требуемая температура, достигается желаемая степень превращения мономера и изменяются свойства получаемого полимера.

В динамическом отношении реакторы полимеризации характеризуются весьма сложным и нелинейным поведением, обусловленным нелинейной зависимостью скорости реакции от температуры и концентрации реагентов. Экзотермический тепловой эффект реакции полимеризации играет роль положительной обратной связи (повышение температуры вызывает ускорение реакции и увеличение тепловыделений, приводящее, в свою очередь, к дальнейшему росту температуры). Вследствие этого возникает опасность появления неустойчивых состояний реактора и развития аварийных режимов. Реактор при одних и тех же условиях может иметь несколько стационарных состояний, различающихся температурой, степенью превращения мономера и производительностью. Так как среди стационарных состояний реактора могут быть как устойчивые, так и неустойчивые, то в поведении реактора возможны бифуркационные переходы от одного режима работы к другому, которые могут появляться, например, при пуске реактора и приводить к аварийным ситуациям. Другой особенностью, обусловленной нелинейностью характеристик реактора, является возможность возникновения при определенных условиях автоколебательных режимов его работы. Опасность появления неустойчивых состояний, обусловленная наличием в процессах полимеризации внутренних положительных обратных связей, приводит к необходимости иметь в составе автоматизированной системы управления этими процессами программы аварийной защиты. Процессы полимеризации высокоэкзотермичны и в ряде случаев неустойчивы. Выход за пределы устойчивости может вызвать значительный самопроизвольный разогрев реакционной смеси, протекание бурных побочных реакций вплоть до взрыва. В то же время желание достигнуть максимальной производительности побуждает вести процесс на предельном тепловом режиме. Поэтому необходимо знать границы области устойчивых стационарных режимов работы реактора.

Постановка задачи. В данной работе была поставлена задачи управления промышленным реактором газофазной полимеризации [1]. За критерий управления R принята переменная часть прибыли от работы установки при соблюдении ограничений технологического регламента и планового задания по производительности:

$$R = \max_{U \in u} \left\{ \Pi(P, U) \left[\Pi_{\text{п}}(P, U) - \sum_c \Pi_c r_c(P, U) \right] \right\}; \quad (1)$$

$$\begin{aligned} P_i^{\min} &\leq P_i \leq P_i^{\max}; \\ U_i^{\min} &\leq U_i \leq U_i^{\max}; \quad \Pi \geq \Pi^{\min}, \end{aligned} \quad (2)$$

где Π – производительность реактора, т/ч; $\Pi_{\text{п}}$ – цена получаемого полимера, р/т; Π_c, r_c – цена и норма расхода c -го вида сырья; P_i – режимные параметры ведения процесса; U_i – управляющие воздействия процесса полимеризации; $P_i^{\min}, U_i^{\min}, \Pi^{\min}, P_i^{\max}, U_i^{\max}$ – минимальные и максимальные значения величин P_i, U_i, Π соответственно.

При работе реактора полимеризации в статическом режиме производительность его полностью определяется производительностью выгрузной системы, которая зависит от количества образующихся низкомолекулярных фракций (НМФ), а цена получаемого полимера $\Pi_{\text{п}}$ и норма расхода энергоресурсов r_c определяются отклонением показателей качества получаемого полимера (полиэтилена) от их заданных значений. Поэтому при количестве НМФ $\leq \text{НМФ}^{\max}$ будет обеспечено $\Pi \geq \Pi^{\min}$, и тогда критерий (1) будет соответствовать критерию

$$R_{\text{ст}} = \min \sum_i \left[y_i(P, U) - (y_i^{\max} + y_i^{\min}) / 2 \right]^2 / \Delta y_i \quad (3)$$

при ограничениях (2), где y_1 – показатель текучести расплава (ПТР) полимера, г/(10мин); y_3 – плотность, г/см³; y_2 – индекс потока (ИП) – отношение двух значений ПТР, измеренных при различных нагрузках; y_i^{\min}, y_i^{\max} – минимальное и максимальное значения качественного показателя y_i соответственно для производимой марки полимера.

Для решения задачи (3) необходимо определить зависимости

$$y_k = f_k(P, U) \quad (4)$$

и найти приемлемый метод оптимизации, так как показатели y_k зависят от одних и тех же управляющих воздействий U . При переводе реактора с режима получения одной марки полимера на режим получения другой заданной марки получается некондиционный полиэтилен, цена которого меньше цены кондиционного. Поэтому критерием переходного режима работы реактора является минимум интервала времени перевода на режим получения полимера с новыми заданными значениями y :

$$R_{\text{дин}} = \min_{U \in u} [t(Y(t_0), P, U) - t_0] \quad (5)$$

при ограничениях (2) время окончания перехода t определяется по достижению качественными показателями Y их допустимой области значений $Y_d (Y \in Y_d)$. Для решения задачи необходимо определить зависимость

$$Y(t) = f[Y(t_0), U, P, t] \quad (6)$$

где $Y(t_0)$ – значения качественных показателей в момент t_0 (время начала перевода).

Результаты работы. В соответствии с постановкой задачи оптимизация переходного режима работы реактора полимеризации заключается в сокращении времени перевода реактора с режима получения полимера одной марки на режим получения другой заданной марки полимера (с марки на марку). На основании схемы химических превращений была получена система дифференциальных уравнений относительно моментов распределения концентраций μ_v^j :

$$\begin{aligned} \frac{dC^j}{dt} &= -k_j C^j M + (F_c - F_b C^j) / V; \\ \frac{dI^j}{dt} &= -k_{2+j} I^j M + k_{6+j} \mu_0^j H_2 - I^j F_b / V; \\ \frac{d\mu_0^j}{dt} &= M(k_j C^j + k_{2+j} I^j) - \mu_0^j (k_{6+j} H_2 + k_{8+j} CO_2 + k_{11} A + F_b / V); \\ \frac{d\mu_1^j}{dt} &= M(k_j C^j + k_{2+j} I^j + k_{4+j} \mu_0^j) - \mu_1^j (k_{6+j} H_2 + k_{8+j} CO_2 + k_{11} A + F_b / V); \\ \frac{d\mu_2^j}{dt} &= M(k_j C^j + k_{2+j} I^j + 2k_{4+j} \mu_1^j) - \mu_2^j (k_{6+j} H_2 + k_{8+j} CO_2 + k_{11} A + F_b / V); \quad (7) \\ \frac{dM}{dt} &= -M \sum_{j=1}^2 (k_j C^j + k_{2+j} I^j + k_{4+j} \mu_0^j) + (F_M - F_b M) / V; \\ \frac{dH_2}{dt} &= -H_2 \sum_{j=1}^2 k_{6+j} \mu_0^j + (U_1 - F_b H_2) / V; \\ \frac{dCO_2}{dt} &= -CO_2 \sum_{j=1}^2 k_{8+j} \mu_0^j + (U_2 - F_b CO_2) / V; \\ \frac{dA}{dt} &= -k_{11} A \sum_{j=1}^2 \mu_0^j + (F_A - F_b A) / V; \\ \frac{d\xi_v^j}{dt} &= \mu_v^j (k_{6+j} H_2 + k_{8+j} CO_2 + k_{11} A) - \xi_v^j F_b / V; \\ \frac{dS_1}{dt} &= k_{12} \sum_{j=1}^2 \mu_0^j - S_1 F_b / V, \end{aligned}$$

где $j = 1, 2; \mu_0^j, \xi_0^j$ – моменты нулевого порядка распределения концентраций растущих полимерных цепей R_n^j и цепей Π_n^j , прекративших рост; F_c, F_M, F_A, F_b – расходы катализатора, мономера и ядов в реактор и выгружаемой смеси из реактора соответственно; V – объем реактора; $C^j, I^j, M, H_2, CO_2, R_n^j, \Pi_n^j, A$ – концентрации участвующих в реакции полимеризации компонентов соответственно: первичного и вторичного катализаторов, мономера (этилена), водорода, диоксида углерода, растущего и прекратившего рост полимера со степенью полимеризации n , ядов; k_1, k_2 – константы скорости соответствующих реакций; U_1, U_2 – управляющие воздействия – расходы водорода и диоксида углерода в реактор;

$$\mu_0^j = \sum_{n=1}^{\infty} R_n n^0; \quad j_{k0} = \sum_{n=1}^{\infty} \Pi_n n^0; \quad \mu_v^j = \sum_{n=1}^{\infty} R_n n^v; \quad j_{kv} = \sum_{n=1}^{\infty} \Pi_n n^v.$$

По полученным моментам вычислялись среднечисленные и среднемассовые молекулярные массы образующихся полимеров и полидисперсность M_W / M_n :

$$M_n = \frac{\sum_{j=1}^2 (\mu_1^j + \xi_1^j)}{\sum_{j=1}^2 (\mu_0^j + \xi_0^j)}; \quad M_W = \frac{\sum_{j=1}^2 (\mu_2^j + \xi_2^j)}{\sum_{j=1}^2 (\mu_1^j + \xi_1^j)}. \quad (8)$$

На основании эмпирических зависимостей определяются качественные показатели полимера, контролируемые при промышленном производстве полиэтилена, а также количество НМФ и возможная производительность реактора:

$$\begin{aligned} \lg \text{ПТР} &= A_{01} + A_{11} \lg M_W; \\ \lg \text{ИП} &= A_{02} + A_{12} \lg M_W / M_n; \\ \text{НМФ} &= A_{04} + A_{14} \mu_1^1 / \mu_1 + A_{24} M_W / M_n + A_{34} M_W; \\ \text{Д} &= A_{03} + A_{13} \lg \text{ПТР} + A_{23} S; \\ \text{П}^{\max} &= b_{05} + b_{15} \text{НМФ}, \end{aligned} \quad (9)$$

где $A_{01} - A_{34}, b_{05}, b_{15}$ – коэффициенты; ПТР – показатель текучести расплава; Д – плотность; $S = S_1 / \sum_{j=1}^2 (\mu_1^j + \xi_1^j)$; П^{\max} – максимальная производительность реактора, т/ч. Ограничения на физическую реализуемость процесса и ограничения регламента имеют вид:

$$\begin{aligned} H_2^{\min} \leq H_2 \leq H_2^{\max}; \quad CO_2^{\min} \leq CO_2 \leq CO_2^{\max}; \\ T^{\min} \leq T \leq T^{\max}; \quad U_i^{\min} \leq U_i \leq U_i^{\max} \quad (i=1,2). \end{aligned} \quad (10)$$

Таким образом, учитывая, что реактор полимеризации описывается системой дифференциальных уравнений (7) вида

$$\frac{dx_i}{dt} = \sum_{i,m} k_i x_m x_i + f_u(U) = \varphi_i[x_i(t), U_i] \quad (11)$$

уравнениями (8), (9) и ограничениями на управления и фазовые переменные x_i (10), задача была решена с использованием принципа максимума Понтрягина, согласно которому управление объектом (11) будет оптимальным по критерию (5), если оно доставляет максимум гамильтониану

$$H[\lambda_i(t), x_i(t), U_i] = \sum_{i=1}^l \lambda_i(t) \varphi_i[x_i(t), U_i]$$

где $\lambda(t)$ – решения сопряженной системы уравнений, имеющих вид:

$$\begin{aligned} \frac{d\lambda_1^j}{dt} &= \sum_{v=0}^2 \left[\lambda_1^j (k_j M + F_b / V) - \lambda_{3+v}^j k_j M + \lambda_6 k_j M \right]; \\ \frac{d\lambda_2^j}{dt} &= \lambda_2^j (k_{2+j} M + F_b / V) - \sum_{v=0}^2 \lambda_{3+v}^j k_j M + \lambda_6 k_{2+j} M; \\ \frac{d\lambda_7^j}{dt} &= \sum_{v=0}^2 \sum_{j=1}^2 \left[\lambda_2 k_{6+j} \mu_0^j + \lambda_{3+v} k_{6+j} \mu_v^j + \lambda_7 (k_{6+j} \mu_0^j + F_b / V) - \lambda_{10+v} k_{6+j} \mu_0^j \right]; \end{aligned}$$

или в общем виде

$$\frac{d\lambda_i}{dt} = \sum_{i,m=1}^l \lambda_i k_m x_i + \lambda_i F_b / V. \quad (12)$$

Для определения оптимальных графиков изменения управлений U_1, U_2 и температуры реактора T необходимо на каждом шаге совместного интегрирования прямой и сопряженной систем дифференциальных уравнений (7)-(9), (12) выполнять максимизацию гамильтониана по U_i . Окончание времени интегрирования t определяется по критерию

$$r = \min_r \sum_k \left[y_k(t) - y_k^* \right]^2, \quad (13)$$

где y_k, y_k^* – текущее и заданное конечное значения показателей (9). После этого необходимо выполнить оптимизацию начальных значений

$$R = \min_{\lambda_0} \min_U (t_k - t_0). \quad (14)$$

Начальные значения μ_v^j и ξ_v^j определяются из системы уравнений (9), начальные значения $\lambda_{3+v}^j, \lambda_{10+v}^j$ ($v = 0, 1, 2; j = 1, 2$) – из условий трансверсальности, остальные значения $\lambda_0^j = 0$.

Для учета ограничений (10) на управляющие воздействия и фазовые координаты обе оптимизирующие задачи требуется выполнять с введением в критерий (14) функции штрафов, например такого вида:

$$\begin{aligned} \Pi &= \sum_{i=1}^3 \Phi_i(U); \\ \Phi(U) &= \begin{cases} \Delta_i (U_i - U_i^{\max})^2, & U_i < U_i^{\min}; \\ 0, & U_i^{\min} \leq U_i \leq U_i^{\max}; \\ \Delta_i (U_i - U_i^{\max})^2, & U_i > U_i^{\max}. \end{cases} \end{aligned}$$

Решение поставленной задачи в общем виде, учитывая большую размерность системы дифференциальных уравнений, трудно осуществимо. Тем более это невозможно для управляющих ЭВМ, ведущих технологический процесс в реальном масштабе времени. Поэтому, учитывая небольшой диапазон изменения температуры реактора $\pm 3^0\text{C}$ и небольшую разницу энергий активации элементарных реакций, было проведено исследование возможности замены уравнений Аррениуса для констант скоростей

$k_i = k_{oi} \exp(-E_i / RT)$ на выражение $k_1^* = k_{oi}^* \exp(-E_{cp} / RT) + B_i$, где E_{cp} – средняя энергия активации реакций полимеризации. Такая замена дает наибольшую погрешность в представлении констант реакций ($\pm 1,5\%$) и наибольшую погрешность вычисления качественных показателей $\pm 1\%$.

Введя новые обозначения, получим

$$H = \exp(-E_{cp} / RU_3) \sum_{i,m} \lambda_i x_i x_m k_{oi}^* + \lambda_7 \frac{U_1}{V} + \lambda_8 \frac{U_2}{V} + \sum_{i,m} \lambda_i x_i x_m k_{oi}^*.$$

Учитывая ограничения, накладываемые на управляющие воздействия U_i ($U_3 \equiv T$), и монотонность функции $\exp(-E_{cp} / RT)$, из последнего выражения следует, что гамильтониан H будет максимальным, если

$$U_3 = \begin{cases} U_3^{\max} & \text{при } \sum_{i,m} \lambda_i x_i x_m k_{oi}^* > 0; \\ U_3^{\min} & \text{при } \sum_{i,m} \lambda_i x_i x_m k_{oi}^* < 0; \end{cases} \quad U_1 = \begin{cases} U_1^{\max} & \text{при } \lambda_7 > 0; \\ U_1^{\min} & \text{при } \lambda_7 < 0; \end{cases}$$

$$U_2 = \begin{cases} U_2^{\max} & \text{при } \lambda_8 > 0; \\ U_2^{\min} & \text{при } \lambda_8 < 0. \end{cases}$$

Выполненная замена позволяет вместо оптимизации функции H по управлениям U_i на каждом шаге интегрирования уравнений (7), (12) проверять лишь знак выражений $\sum_{i,m} \lambda_i x_i x_m k_{oi}^*, \lambda_7, \lambda_8$ для определения времени переключения управления. Тогда критерий перевода требует оптимизацию лишь начальных значений λ_{oi} сопряженной системы:

$$R = \min_{\lambda_{oi}} (t - t_0 + \Pi),$$

где функция штрафа Π аналогична выражению $\Phi(U)$ для фазовых координат – концентрации H_2 и концентрация CO_2 .

Так как динамические характеристики газофазного реактора близки к реактору идеального смешения, то изменение качественных показателей получаемого полимера можно приближенно описать следующей системой дифференциальных уравнений с учетом ограничений (10):

$$\frac{d(\Pi(\Pi T))}{dt} = a_1 + b_1 H_2 + c_1 CO_2 + d_3 U_3 - \Pi T F_b / V;$$

$$\frac{d(I(I))}{dt} = a_2 + b_2 H_2 + c_2 CO_2 + d_2 U_3 - I P F_b / V;$$

$$\frac{d(D)}{dt} = a_3 + b_3 H_2 + c_3 CO_2 + d_3 U_3 - D F_b / V;$$

$$\frac{d(H(HM))}{dt} = a_4 + b_4 H_2 + c_4 CO_2 + d_4 U_3 - H M F_b / V;$$

$$\frac{d(H_2)}{dt} = a_5 + b_5 H_2 + d_5 U_1 - H_2 F_b / V;$$

$$\frac{d(\text{CO}_2)}{dt} = a_6 - c_6 \text{CO}_2 + d_6 U_2 - \text{CO}_2 F_b / V,$$

где a, b, c, d – коэффициенты.

Система уравнений является линейной относительно управляющих воздействий и фазовых переменных, поэтому на основании теоремы о числе переключений оптимальных управляющих воздействий и задачи линейного быстродействия можно заключить, что каждое оптимальное управление кусочно-постоянно, принимает только граничные значения U^{\min} или U^{\max} и имеет не более $n-1$ переключений, где n – порядок системы. При этом ограничения на фазовые переменные учитываются в соответствии с теоремой об оптимальной траектории, лежащей на границе области $g(x) \leq 0$, уравнением

$$P(x, U) = \sum_{i=1}^n \left[\frac{\partial g(x)}{\partial x_i} \right] \varphi_i(x, U) = 0,$$

которое при рассматриваемом ограничении $x_i - x_i^{\max} \leq 0$; $x_i^{\min} - x_i \leq 0$ принимает вид $\varphi_i(x, U)$. Тогда

$$U_i = x_i (F_b + V \sum_{j=1}^2 k_{6+j} \mu_0^j) \quad \text{при} \quad x_i \geq x_i^{\max} \quad \text{или} \quad x_i \leq x_i^{\min}.$$

Оптимизация выполнялась методом Флетчера. При этом получалось не более двух переключений для каждого управления.

Были получены оптимальные графики перевода реактора с режима получения одной марки полиэтилена на режим получения другой заданной марки. Анализ полученных решений показал, что в начальный момент перевода все три управляющих воздействия направлены на достижение нового заданного значения ПТР. Это объясняется двумя причинами: 1) марки полиэтилена в наибольшей степени отличаются ПТР: разница в значениях до двух порядков, и достижение нового заданного ПТР достигается не менее чем за одно время пребывания $T_{\text{пр}}$ с учетом ограничений (10), тогда как разница в ИП составляет 25-60% и по плотности – от 0 до 40% допустимого диапазона изменения; 2) при увеличении ПТР уменьшается ИП и увеличивается плотность. Поэтому целенаправленное изменение ПТР одновременно приближает к заданным значениям ИП и плотности D . Изменение температуры, движущее ПТР к требуемому значению, компенсирует инерционность концентрации и тем самым сокращает время перехода.

Изменение дополнительного управляющего воздействия – расхода CO_2 – значительно сокращает время перехода с марки на марку за счет однонаправленного изменения концентрации H_2 и CO_2 (скорость изменения качества увеличивается примерно в два раза). Уменьшение НМФ за счет регулирования CO_2 позволяет увеличить максимальное значение концентрации водорода в реакторе.

Выводы. Разработанная математическая модель реактора полимеризации является основой системы управления промышленным реактором крупнотоннажного производства полиэтилена высокого давления. Разработан алгоритм определения оптимальных управляющих воздействий при переводе реактора с «марки на марку» на основании принципа максимума Понтрягина.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кафаров В.В. Системный анализ процессов химической технологии. Процессы полимеризации / Кафаров В.В., Дорохов И.Н., Дранишников Л.В. – Издательство "Наука", 1991. – 350с.

2. Дранишников Л.В. Оптимальное управление при переходном режиме работы реактора / Л.В.Дранишников // Проблемы математического моделирования: міждерж. науково-метод. конф., травень 2000р.: тези доп. – Дніпродзержинськ: ДДТУ. – 2000. – С.184-185.

УДК 66.095.26.001.53

ДРАНИШНИКОВ Л.В., д.т.н., профессор

Днепродзержинский государственный технический университет

ПРОМЫШЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ РЕАКТОРАМИ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ

Введение. Математическое обеспечение вычислительной техники в системах управления определяется видом задач и математической подготовленности объектов – наличием адекватных математических моделей, алгоритмов оптимизации и управления. Если математическая подготовленность объектов управления недостаточна, система управления и используемая в ней вычислительная техника выполняет задачу построения математической модели по результатам контроля параметров процесса, по этим же результатам производится оценка параметров моделей и корректировки последних. Конкретное содержание математического обеспечения зависит от особенностей технологии получаемых продуктов, способов функционирования производства – непрерывного, полунепрерывного или периодического. Для непрерывных производств управление чаще всего сводится к определению оптимальных условий проведения процесса, т.е. тех значений параметров, при которых имеет место наибольшая эффективность протекания процесса, и к обеспечению поддержания значений этих параметров. Поддержание оптимальных значений параметров связано с компенсацией их возможных возмущений в процессе. Это приводит к необходимости управлять в переходных режимах. Кроме того, пусковые режимы для непрерывных процессов также являются переходными.

Постановка задачи. Рассмотрим реализацию алгоритмов управления реакторами полимеризации крупнотоннажного производства полиэтилена высокой плотности газофазным методом [1, 2]. Система является двухуровневой: на нижнем уровне определяются управления для стабилизации режима полимеризации, на верхнем – оптимальные графики управлений для перехода реактора с марки на марку; результаты расчета верхнего уровня иерархии являются заданием для нижнего уровня.

Для управления реакторами в статическом и переходном режимах были разработаны алгоритмы управления установкой получения полиэтилена высокой плотности, включающей три реактора газофазной полимеризации.

Реакторы работают параллельно и независимо друг от друга. Каждый реактор может работать либо в статическом режиме (получение кондиционного полиэтилена), либо в переходном, заключающемся в переходе на новый заданный статический режим, при котором получают полимер новой заданной марки. Прогноз конечного значения качественного показателя U осуществляется по формулам

$$\lg \text{ПТР}_W = \lg \text{ПТР}_1 + \frac{(\lg \text{ПТР}_2 - \lg \text{ПТР}_1)}{W}; \quad W = 1 - \exp\left[-(t_2 - t_1)/T_{\text{пр}}\right], \quad (1)$$

где ПТР_1 , ПТР_2 , ПТР_W – показатели текучести расплава, полученные лабораторным анализом в моменты времени t_1 и t_2 и прогнозируемое значение ПТР соответственно;

W – доля полимера в реакторе, полученного за время $t_2 - t_1$; $T_{\text{пр}} = L\rho S / F_b$ (L, ρ, S – высота, плотность и площадь сечения газофазного слоя; F_b – расход полимера из реактора).

По значению качественного показателя выполняется адаптация модели к реальному технологическому процессу путем корректировки свободных членов уравнений

$$\begin{aligned} \lg \text{ПТР} &= b_{01} + b_{11} \lg \frac{H_2}{c_2} + b_{31} \frac{CO_2}{c_2} + b_{41} T_{\text{пр}}; \\ \text{ИП} &= b_{02} + b_{12} T + b_{22} \lg \frac{H_2}{c_2} + b_{32} \frac{CO_2}{c_2} + b_{42} T_{\text{пр}}; \\ \text{Д} &= b_{03} + b_{13} T + b_{23} \lg \frac{H_2}{c_2} + b_{33} \frac{CO_2}{c_2} + b_{43} T_{\text{пр}}; \\ \text{НМФ} &= b_{04} + b_{14} T + b_{24} \lg \frac{H_2}{c_2} + b_{33} \frac{CO_2}{c_2} + b_{44} T_{\text{пр}}; \text{П}^{\text{max}} = b_{05} + b_{15} \text{НМФ}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $b_{01} - b_{04}, b_{i,j}$ – коэффициенты; ПТР – показатель текучести расплава; ИП – показатель индекс потока; НМФ – количество низкомолекулярных фракций; Д – плотность; П^{max} – максимальная производительность реактора, т/ч.

Результаты работы. Задания для контуров регулирования температуры, концентрации водорода и двуокиси углерода определяются на основании оперативных данных от технологических датчиков. Система управления реализуется с помощью ЭВМ посредством алгоритмов, изображенных на рис.1-3. Схема взаимодействия алгоритмов управления реактором в статическом и динамическом режимах пояснена на рис.1.

Для расчета управлений выполняется выборка необходимой оперативной информации и констант, проверяется информация на соответствие границам достоверности. Если параметры недостоверны в контурах регулирования концентрации H_2 и CO_2 , то управление на данном шаге не производится, если же в этих контурах параметры достоверны, то выполняется только стабилизация концентраций водорода и двуокиси углерода.

При стабильном режиме работы реактора (рис.2) расчет показателей качества ПТР, Д, ИП, НМФ выполняется по формулам (2). Далее вычисляются значения концентраций H_2 , CO_2 и температуры T , которые возвращают значения качественных показателей к их заданным значениям без учета взаимного влияния ПТР, ИП, Д друг на друга. После этого выполняется при необходимости оптимизация управляющих воздействий по критерию минимума квадрата отклонения показателей качества Y от их заданных значений $Y^{3Д}$ методом Хука-Дживса. Ограничения назначения управляющих воздействий учитываются введением критерий штрафа. Адаптация модели (2) производится по двум последним значениям Y_{k-1} и Y_k , причем параметр Y_{k-1} корректируется с учетом изменения режима полимеризации к моменту времени Y_k . Корректировка коэффициента A_0 выполняется с использованием усредненных значений режимных параметров процесса полимеризации [2]. Интервал усреднения соответствует среднему времени пребывания полимера в реакторе – 6-10 ч. После этого выполняется расчет, выдача и печать управляющих воздействий – расходов водорода, двуокиси углерода и температуры в реакторе.

При управлении переходным режимом (рис.3) на первом шаге расчета выполняется адаптация динамической модели путем корректировки свободных членов выражений данных лабораторного анализа соответствующих показателей качества.

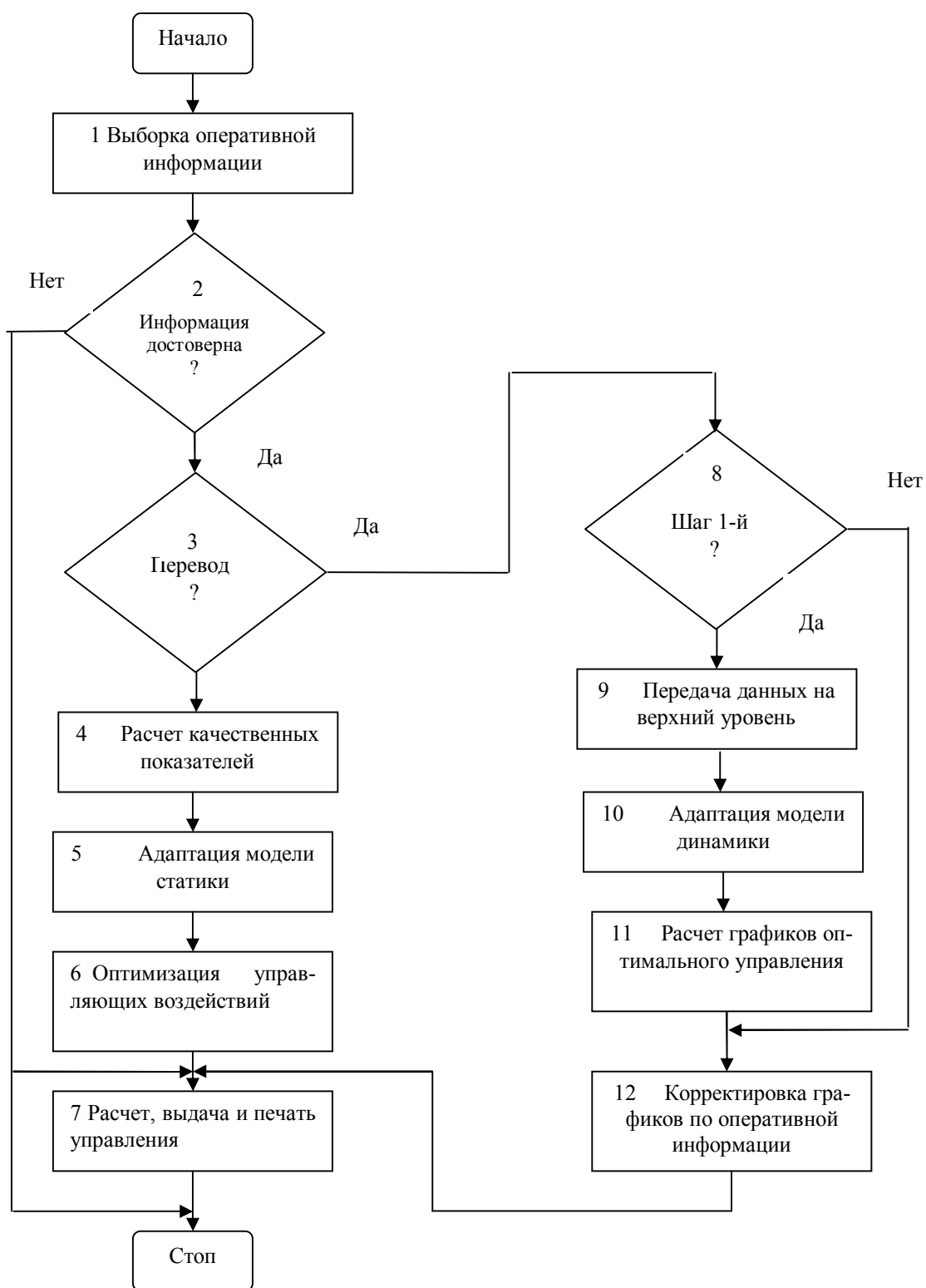


Рисунок 1 – Общий алгоритм управления реактором

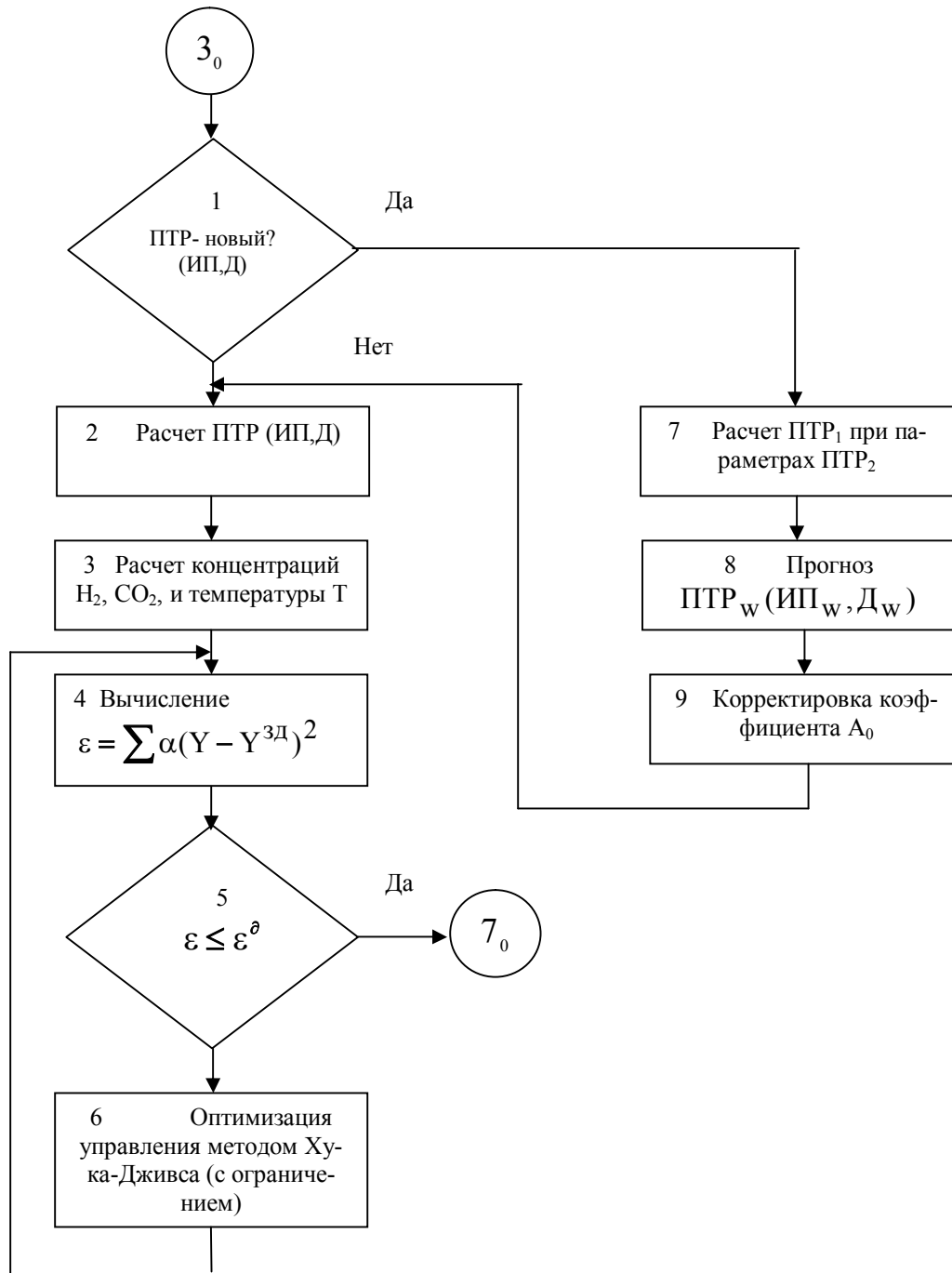


Рисунок 2 – Алгоритм управления реактором в статике

Блок 4 выполняет расчет оптимального времени $t_{\text{опт}}^i$ переключения управляющих воздействий с одного крайнего значения на другое крайнее значение (минимальное или максимальное). Для этого в соответствии с заданным видом перевода режима работы реактора выбираются значения времени переключения $t_{\text{ср}}, t_{\text{гр}}$ каждого управления при начальных значениях качественных показателей, равных середине допустимого диапазона изменений $u_{\text{ср}}$ и его границе $u_{\text{гр}}$.

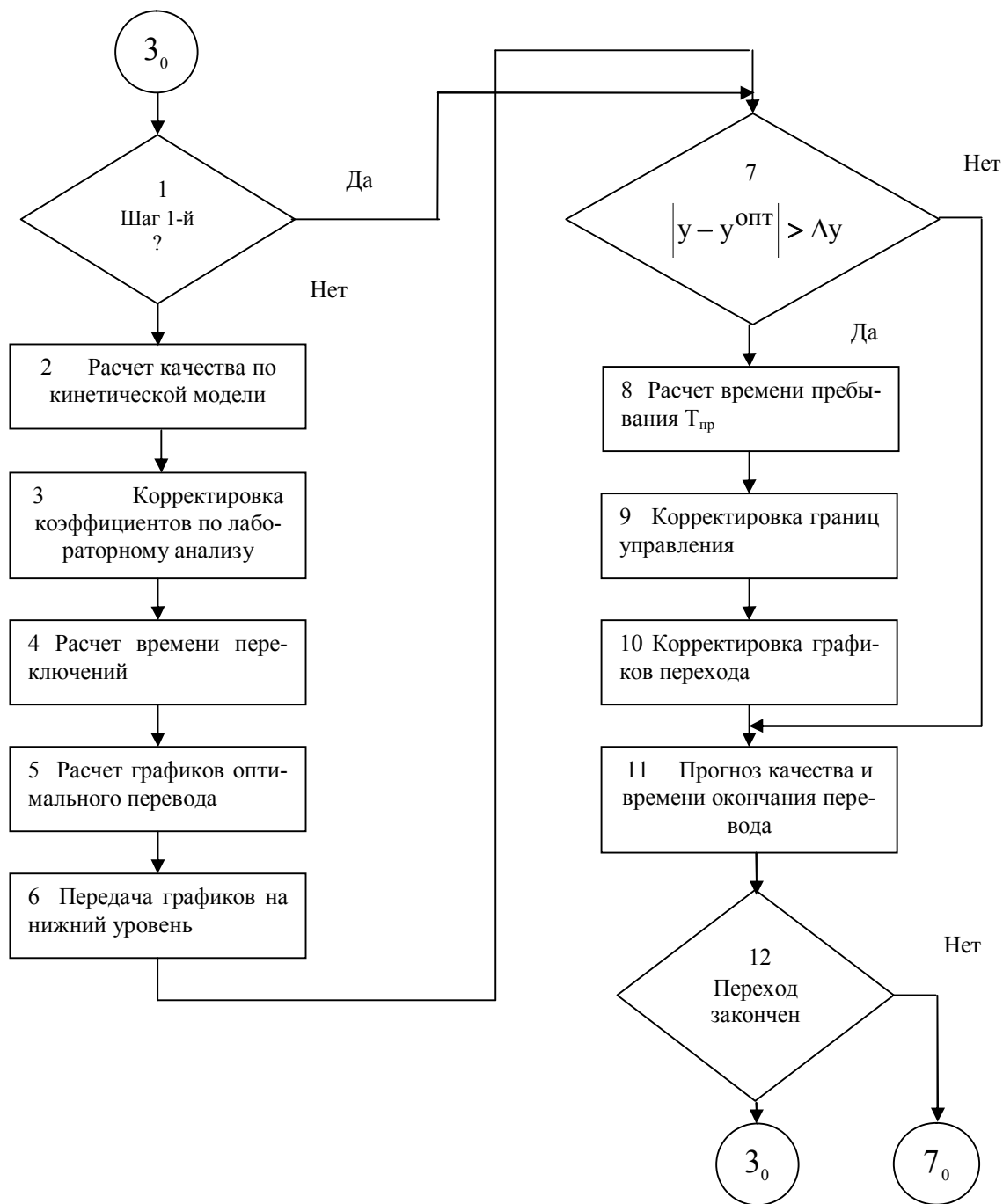


Рисунок 3 – Алгоритм управления реактором в переходном режиме

В соответствии с измеренными значениями качества $y_{изм}$ корректируется время переключения каждого управляющего воздействия по формуле интерполяции

$$t_{опт} = \frac{t_{ср} - t_{гр}}{y_{ср} - y_{гр}} (y_{изм} - y_{гр}) + t_{гр}.$$

Далее по системе дифференциальных уравнений относительно моментов распределения концентраций μ_v и по скорректированным значениям времени переключения вычисляются графики оптимальных управляющих воздействий и изменений качественных показателей в оптимальном переходном процессе. Полученные графики за-

поминаются и используются на последующих шагах управления переходным процессом (блоки 7-13).

В зависимости от значения лабораторных анализов качественных показателей, которые в переходном процессе выполняются в два раза чаще, корректируются графики изменения качества полимера и управляющих воздействий. Корректировка графиков выполняется при отклонении измеренного значения качества от его значения по оптимальному графику в момент времени t на величину больше допустимой $\Delta y(t)$. Для этого вычисляется среднее время пребывания полимера в реакторе $T_{пр}$ по оперативной информации. Затем вычисляется конечное значение качества y^W , которое будет достигнуто, если режим процесса не изменится. Затем корректируется коэффициент A_0 статической зависимости показателя y . После этого вычисляется значение соответствующего управляющего воздействия, при котором значение качественного показателя y^W возвратится к его значению по оптимальному графику $y^{W_{опт}}$. По скорректированным графикам прогнозируется качество полиэтилена и определяется время окончания перевода, что важно ввиду длительного (20-50мин) запаздывания аналитической информации. Как только все качественные показатели попадают в диапазон их допустимого изменения, переход считается законченным, признак "перевод" снимается, и управление выполняется только на основе статических зависимостей процесса полимеризации (рис.2).

Программное обеспечение системы управления состоит из системных, прикладных и сервисных программ. Алгоритмы управления моделей реактора реализованы одной программой с несколькими подпрограммами: расчета управляющих воздействий; прогноза качества и подстройки модели; оптимизации методом Хука-Дживса; расчета оптимальных графиков перевода; расчета управляющих воздействий при переводе; выдачи управляющих воздействий на регуляторы. Информационное обеспечение системы содержит описание используемых массивов и последовательность их обработки. Всю информацию системы можно разделить на входную, выходную, промежуточную и константы. Массив входной информации формируется на основе сигналов от технологических датчиков расхода, состава реагирующих компонентов, расхода полимера из реактора, уровня и плотности псевдооживленного слоя, температуры реактора, перепада давления на газораспределительной решетке, качества получаемого полимера. Массив констант содержит величины, значения которых не меняются или меняются весьма редко. Такими величинами являются неизменяемые коэффициенты математических моделей, входные и выходные ограничения, задания по качественным показателям, величины заданной точности оптимизации.

Описанная система управления показала высокую эффективность за счет: 1) стабилизации качественных показателей (рис.4) полимера; 2) уменьшения выпуска некондиционного полиэтилена на 10-12% за счет сокращения времени перевода реактора с режима получения одной марки на режим получения другой заданной марки и за счет сокращения времени вывода реактора на режим при пуске путем оптимизации переходного процесса.

Выводы. Разработаны алгоритмы управления для крупнотоннажных реакторов газофазной полимеризации при статическом и переходном режимах работы на основе его математических моделей, а также программное и информационное обеспечение

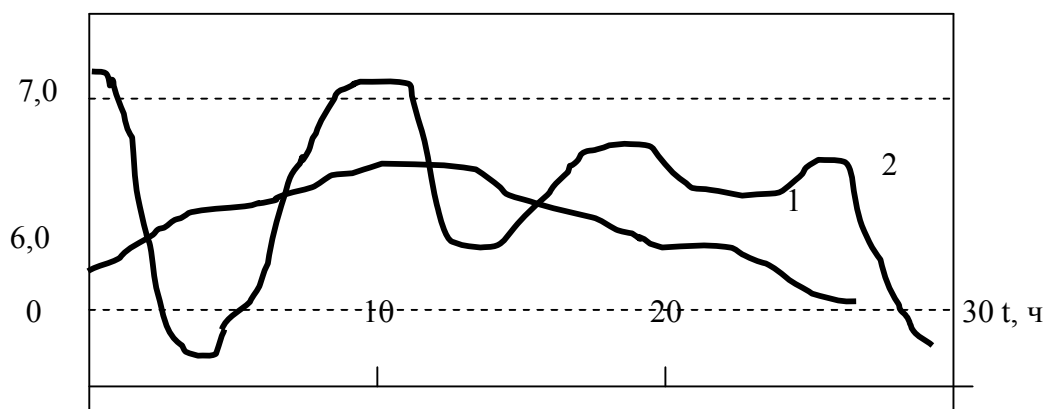


Рисунок 4 – Изменение качества полимера при управлении с помощью ЭВМ (1) и без ЭВМ (2)

двухуровневой системы управления. На верхнем уровне определяются оптимальные графики выполнения переходного режима, на нижнем уровне осуществляется оптимальное управление тремя реакторами в статическом режиме их работы и управление по оптимальному графику перевода с «марки на марку».

ЛИТЕРАТУРА

1. Кафаров В.В. Системный анализ процессов химической технологии. Процессы полимеризации / Кафаров В.В., Дорохов И.Н., Дранишников Л.В. – Издательство "Наука", 1991. – 350с.
2. Дранишников Л.В. Определение оптимальных управлений при переходном режиме работы реактора / Л.В.Дранишников // Сборник научных трудов Днепродзержинского государственного технического университета (технические науки). – Днепродзержинск. – 2010. – Выпуск 2 (15). – С.156-164.

УДК 536:669.02.09:669.054.82:005

ПАВЛЮЧЕНКОВ И.А., д.т.н., профессор
САЛО Е.В., к.т.н. доцент
ТРИКИЛО А.И., к.т.н. доцент
ВОЛОШИН Р.В., аспирант
ОВЧАРЕНКО Т.Н., аспирант

Днепродзержинский государственный технический университет

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАВЛЕНИЯ ТУГОПЛАВКИХ МАТЕРИАЛОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ НА ГРАНИЦЕ ШЛАК – МЕТАЛЛ

Введение. Ввод кусковых материалов различного химического и гранулометрического состава в жидкую сталь в сталеразливочном ковше в процессе выпуска либо гомогенизирующей продувки расплава является эффективной ресурсосберегающей технологией внепечного раскисления, рафинирования, микролегирования и доводки по химическому составу стали. Задачи исследования тепломассообменных процессов при плавлении добавок на границе шлак-металл в сталеразливочном ковше при внепечной обработке металла актуальны для металлургической практики.

Постановка задачи. Для решения задач теплопроводности с подвижными границами раздела фаз применяются, как правило, численные методы. Наиболее универсальным методом расчета является метод конечных разностей. Это эффективная схема, основанная на учете скрытой теплоты плавления по методу Дюзимбера [1]. Метод был применен в одномерной постановке при решении задачи плавления чушкового алюминия при раскислении и доводке стали в сталеразливочном ковше [2], а также для исследования кинетики плавления алюминиевой и порошковой проволоки при вводе в жидкую сталь [3, 4]. Данный метод был применен также при решении двухмерной задачи плавления алюминиевого стержня (продольное обтекание цилиндра) с защитным покрытием [5]. Целью статьи является разработка алгоритмов двухмерных задач расчета (на основе метода Дюзимбера) кинетики плавления кусковых материалов в расплаве цилиндрической формы при несимметричных граничных условиях.

Результаты работы. Рассмотрим процесс плавления цилиндра из тугоплавкого материала, который расположен на границе шлак-металл. Принимаем, что температуры жидкого металла t_m и жидкого шлака $t_{ш}$ постоянны и выше температуры $t_{пл}$ плавления цилиндра. Принимаем также, что перед всплытием на границу шлак-металл вся поверхность цилиндра не имеет намерзших оболочек шлака и металла.

Распределение температур в цилиндре описывается двухмерным уравнением теплопроводности:

$$C(T)\rho(T)\frac{\partial T(r, \vartheta, \tau)}{\partial \tau} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[\lambda(T)r \frac{\partial T}{\partial r} \right] + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \vartheta} \left[\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial \vartheta} \right], \quad (1)$$

$$0 < r < R_0, \quad 0 < \vartheta < \pi,$$

где T – температура, °C; r, ϑ – текущие значения радиуса и угла соответственно; $\rho(T), C(T), \lambda(T)$ – плотность, теплоемкость, теплопроводность материала цилиндра.

Граничные условия. На оси симметрии поперечного сечения цилиндра тепловой поток равен 0, то есть:

$$\frac{\partial t(0, z, \tau)}{\partial r} = 0. \quad (2)$$

На верхней боковой поверхности цилиндра ($0 < \vartheta < \vartheta_0$) происходит конвективный теплообмен с жидким шлаком с заданным коэффициентом $\alpha_{ш}$ теплоотдачи. На нижней боковой поверхности цилиндра ($\vartheta_0 < \vartheta < \pi$) происходит конвективный теплообмен с жидким расплавом с заданным коэффициентом теплоотдачи α_m . Между намерзшими оболочками металла, шлака и поверхностью цилиндра существует идеальный тепловой контакт, т.е. заданы граничные условия IV рода.

Распределение температур в затвердевшей оболочке металла имеет вид:

$$C_M(T)\rho_M(T)\frac{\partial T_M}{\partial \tau} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[\lambda_M(T)r \frac{\partial T_M}{\partial r} \right] + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \vartheta} \left[\lambda_M(T) \frac{\partial T_M}{\partial \vartheta} \right], \quad (3)$$

$$r > R_0, \quad (\vartheta_0 < \vartheta < \pi).$$

Пусть точка P_m принадлежит границе плавления (намерзания) затвердевшей оболочки металла. При этом условии движения границы плавления (намерзания) запишем в виде:

$$\alpha_m \left(T_M(r, \vartheta, \tau) - t_{пл}^M \right) - \lambda_m \frac{\partial T_M(P_m)}{\partial \bar{n}} = -\rho_m Q_m W(P_m); \quad T(P_m) = t_{пл}^M. \quad (4)$$

Распределение температур в затвердевшей оболочке шлака описывается аналогичным уравнением теплопроводности:

$$C_{ш}(T)\rho_{ш}(T)\frac{\partial T_{ш}}{\partial \tau} = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left[\lambda_{ш}(T)r\frac{\partial T_{ш}}{\partial r}\right] + \frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial \vartheta}\left[\lambda_{ш}(T)\frac{\partial T_{ш}}{\partial \vartheta}\right], \quad (5)$$

$$r > R_0, \quad (0 < \vartheta < \vartheta_0).$$

Пусть точка P_h принадлежит границе плавления (намерзания) затвердевшей оболочки шлака. При этом условие движения границы плавления (намерзания) запишем в виде:

$$\alpha_{ш}\left(T_{ш}(r, \vartheta, \tau) - t_{нл}^{ш}\right) - \lambda_{ш}\frac{\partial T_{ш}(P_{ш})}{\partial \bar{n}} = -\rho_{ш}Q_{ш}W(P_{ш}); \quad T(P_{ш}) = t_{нл}^{ш}. \quad (6)$$

После завершения периодов намерзания и последующего плавления металлической или шлаковой оболочек происходит подогрев поверхности цилиндра до температуры его плавления $t_{пл}$. На нижней поверхности цилиндра ($\vartheta_0 < \vartheta < \pi$) происходит конвективный теплообмен с жидким металлом с заданным коэффициентом теплоотдачи α_m :

$$\alpha_m[t_m - T(R_0, \vartheta, \tau)] = -\lambda\frac{\partial T(R_0, \vartheta, \tau)}{\partial \bar{n}}, \quad (\vartheta_0 < \vartheta < \pi). \quad (7)$$

На верхней поверхности цилиндра ($0 < \vartheta < \vartheta_0$) происходит конвективный теплообмен с жидким шлаком с заданным коэффициентом теплоотдачи $\alpha_{ш}$:

$$\alpha_{ш}[t_{ш} - T(R_0, \vartheta, \tau)] = -\lambda\frac{\partial T(R_0, \vartheta, \tau)}{\partial \bar{n}}, \quad (0 < \vartheta < \vartheta_0). \quad (8)$$

В качестве начального условия выбирается распределение температур в цилиндре в момент всплытия его на поверхность шлак-металл.

В качестве расчетной области выбрана половина поперечного сечения цилиндра, для решения задачи формируем квадратную координатную сетку. Для этого разобьем рассматриваемую половину сечения вертикальными и горизонтальными линиями, как это показано на рис.1; получили контрольные объемы с координатами i, j . Значения температур будем определять в центре контрольных объемов. Задаем M_0 – начальное количество узлов по радиусу. В предлагаемом алгоритме расчета используется явная разностная схема.

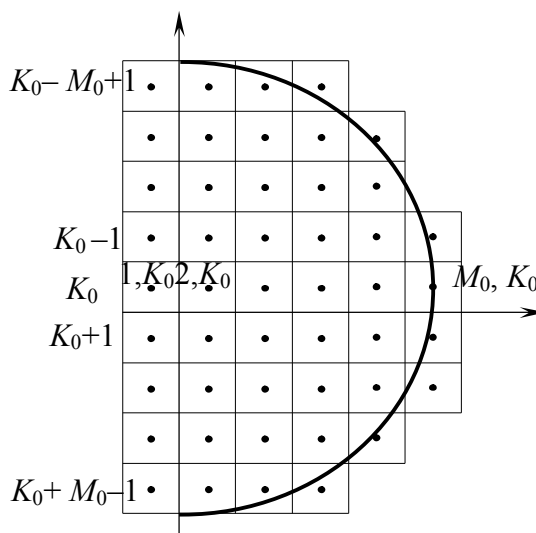


Рисунок 1 – Расчетная область к задаче плавления цилиндра, который расположен на границе шлак-металл

Вводятся матрицы температур $t_{i,j}^n$ и $t_{i,j}^{n+1}$ для (n) и $(n+1)$ временных слоев.

Для учета условия симметрии задаем дополнительный столбец температур $t_{1,j}^n$. Равенство 0 тепловых потоков на оси симметрии учитывается посредством присвоения на каждом временном слое значений температур соответствующих столбцов: $t_{1,j}^n = t_{2,j}^n$. В результате такого подхода все контрольные объемы расчетной области являются внутренними, что существенно упрощает составление программы расчета.

Вводятся матрицы теплофизических параметров плотности $\rho_{i,j}^n$, теплопроводности $\lambda_{i,j}^n$ и теплоемкости $c_{i,j}^n$, куда заносятся на каждом временном слое соответствующие значения параметров материала цилиндра и затвердевшего металла в зависимости от температуры.

В данной задаче используется только одно обобщенное уравнение для расчета температур на “ $n+1$ ” временном слое. Оно имеет следующий вид:

$$t_{i,j}^{n+1} = t_{i,j}^n + r_z (t_{i-1,j}^n - t_{i,j}^n) - r_v (t_{i,j}^n - t_{i+1,j}^n) + r_s (t_{i,j-1}^n - t_{i,j}^n) - r_j (t_{i,j}^n - t_{i,j+1}^n). \quad (9)$$

Значение коэффициента r_z (z – ”запад”) определяется по формуле:

$$r_z = \frac{\Delta\tau}{\rho_{i,j}^n \cdot c_{i,j}^n \left(\frac{\Delta x^2}{2\lambda_{i,j}^n} + \frac{\Delta x^2}{2\lambda_{i-1,j}^n} \right)}. \quad (10)$$

Значение коэффициента r_v (v – ”восток”) определяется в зависимости от значения температуры в контрольном объеме с номером $t_{i+1,j}^n$:

$$r_v = \frac{\alpha \cdot \Delta\tau}{\rho_{i,j}^n \cdot c_{i,j}^n \Delta x}, \quad t_{i+1,j}^n = t_{ж}; \quad (11)$$

$$r_v = \frac{\Delta\tau}{\rho_{i,j}^n \cdot c_{i,j}^n \left(\frac{\Delta x^2}{2\lambda_{i,j}^n} + \frac{\Delta x^2}{2\lambda_{i+1,j}^n} \right)}, \quad t_{i+1,j}^n \neq t_{ж}. \quad (12)$$

Значение коэффициента r_s (s – ”север”) определяется в зависимости от значения температуры в контрольном объеме с номером $t_{i,j-1}^n$:

$$r_s = \frac{\alpha \cdot \Delta\tau}{\rho_{i,j}^n \cdot c_{i,j}^n \Delta x}, \quad t_{i,j-1}^n = t_{ж}; \quad (13)$$

$$r_s = \frac{\Delta\tau}{\rho_{i,j}^n \cdot c_{i,j}^n \left(\frac{\Delta x^2}{2\lambda_{i,j-1}^n} + \frac{\Delta x^2}{2\lambda_{i,j}^n} \right)}, \quad t_{i,j-1}^n \neq t_{ж}. \quad (14)$$

Значение r_j (j – ”юг”) определяется в зависимости от температуры в контрольном объеме с номером $t_{i,j+1}^n$:

$$r_j = \frac{\alpha \cdot \Delta\tau}{\rho_{i,j}^n \cdot c_{i,j}^n \Delta x}, \quad t_{i,j+1}^n = t_{ж}; \quad (15)$$

$$r_j = \frac{\Delta\tau}{\rho_{i,j}^n \cdot c_{i,j}^n \left(\frac{\Delta x^2}{2\lambda_{i,j}^n} + \frac{\Delta x^2}{2\lambda_{i,j+1}^n} \right)}, \quad t_{i,j+1}^n \neq t_{ж}. \quad (16)$$

Если контрольный объем с нижней, верхней и правой сторон обтекаются расплавом, то r_v , r_s и r_j определяются по формулам (11), (13) и (15) соответственно.

Второе слагаемое в правой части уравнения (9) обозначает приток тепла посредством теплопроводности с левого соседнего контрольного объема с координатами $t_{i-1,j}^n$ в контрольный объем с координатами $t_{i,j}^n$.

Третье слагаемое обозначает поток тепла, ушедшего с контрольного объема, с координатами $t_{i,j}^n$ в правый соседний контрольный объем с координатами $t_{i+1,j}^n$. При этом возможен один из 2 способов переноса тепла:

1) теплопроводностью, если $t_{i+1,j}^n$ меньше температуры расплава, значение r_v при этом определяется по формуле (12);

2) конвективным теплообменом с расплавом, если $t_{i+1,j}^n$ равна температуре расплава, значение r_v при этом определяется по формуле (15).

Четвертое слагаемое в правой части уравнения (9) обозначает приток тепла с верхнего соседнего контрольного объема с координатами $t_{i,j-1}^n$ в контрольный объем с координатами $t_{i,j}^n$. При этом также возможен один из двух способов переноса тепла:

1) теплопроводностью, если $t_{i,j-1}^n$ меньше температуры расплава, значение r_v при этом определяется по формуле (14);

2) конвективным теплообменом с расплавом, если $t_{i,j-1}^n$ равна температуре расплава, значение r_v при этом определяется по формуле (13).

Пятое слагаемое обозначает поток тепла, ушедшего с контрольного объема, с координатами $t_{i,j}^n$ в нижний соседний контрольный объем с координатами $t_{i,j+1}^n$. При этом возможен один из 2 способов переноса тепла:

1) теплопроводностью, если $t_{i,j+1}^n$ меньше температуры расплава, значение r_j при этом определяется по формуле (16);

2) конвективным теплообменом с расплавом, если $t_{i,j+1}^n$ равна температуре расплава, значение r_j при этом определяется по формуле (15).

Согласно метода Дюзимбера при намерзании и последующем плавлении оболочки металла и плавлении цилиндра температура поверхностного слоя принимает значение соответствующей температуры плавления (намерзания), т.е. расчет поля температур по формулам (9-16) производится с граничными условиями I рода.

Для расчета процесса намерзания и последующего плавления металлической оболочки вычисляется согласно метода Дюзимбера избыточная температура:

$$t_u = t_v + r_z(t_{i-1,j}^n - t_v) - r_v(t_v - t_{i+1,j}^n) + r_s(t_{i,j-1}^n - t_v) - r_j(t_v - t_{i,j+1}^n) \quad (17)$$

где t_v – температура нулевой жидкотекучести (выливаемости) металла.

Если значение избыточной температуры t_u меньше температуры нулевой жидкотекучести металла t_v , то на данном временном слое происходит процесс намерзания металла. При этом разность между значением избыточной температуры и температурой нулевой жидкотекучести металла t_v суммируется в счетчиках. Для этих целей введена матрица $cd[i, j]$, в начале расчета ее элементы равны 0. Если через k_1 шагов по времени значение $cd[i, j]$ станет больше отношения теплоты фазового перехода в металле к его теплоемкости, то температура расплава в соседнем контрольном объеме заменяется на температуру нулевой жидкотекучести металла.

Если значение избыточной температуры t_u больше температуры нулевой жидкотекучести металла t_v , то на данном временном слое происходит процесс расплавления намерзшего металла. При этом разность между значением избыточной температуры и температуры нулевой жидкотекучести металла t_v суммируется в счетчиках. Если по истечении k_2 шагов по времени значение $cd[i, j]$ станет больше отношения теплоты фазового перехода в металле к его теплоемкости, то температура $t_{i,j}^n$ в контрольном объеме заменяется на температуру расплава.

Аналогично для расчета процесса намерзания и последующего плавления шлаковой оболочки вычисляется согласно метода Дюзимбера избыточная температура:

$$t_u = t_{n,l}^{uu} + r_z(t_{i-1,j}^n - t_{n,l}^{uu}) - r_v(t_{n,l}^{uu} - t_{i+1,j}^n) + r_s(t_{i,j-1}^n - t_{n,l}^{uu}) - r_j(t_{n,l}^{uu} - t_{i,j+1}^n) \quad (18)$$

где $t_{n,l}^{uu}$ – температура плавления шлака.

Если значение избыточной температуры t_u меньше температуры плавления шлака $t_{n,l}^{uu}$, то на данном временном слое происходит процесс намерзания шлака. При этом разность между значением избыточной температуры и температуры плавления шлака $t_{n,l}^{uu}$ суммируется в счетчиках. Если через k_3 шагов по времени значение $cd[i, j]$ станет больше отношения теплоты плавления в шлаке к его теплоемкости, то температура расплава в соседнем контрольном объеме заменяется на температуру плавления шлака $t_{n,l}^{uu}$.

Если значение избыточной температуры t_u больше температуры плавления шлака $t_{n,l}^{uu}$, то на данном временном слое происходит процесс расплавления намерзшего шлака. При этом разность между значением избыточной температуры и температуры плавления шлака $t_{n,l}^{uu}$ суммируется в счетчиках. Если по истечении k_4 шагов по времени значение $cd[i, j]$ станет больше отношения теплоты плавления шлака к его теплоемкости, то температура $t_{i,j}^n$ в контрольном объеме заменяется на температуру шлакового расплава. Расчет по формулам (9-18) осуществляется для контрольных объемов, температура которых ниже температуры плавления цилиндра. После расчета процесса подогрева цилиндра на данном временном слое производится расчет плавления контрольных объемов в цилиндре, которые прогрелись до температуры плавления. Для каждого контрольного объема, имеющего температуру плавления цилиндра $t_{пл.}$, вычисляется избыточная температура:

$$t_u = t_{nl} + r_z(t_{i-1,j}^n - t_{nl}) - r_v(t_{nl} - t_{i+1,j}^n) + r_s(t_{i,j-1}^n - t_{nl}) - r_j(t_{nl} - t_{i,j+1}^n) \quad 19)$$

При этом разность между значением избыточной температуры и температурой плавления цилиндра суммируется в счетчиках. Если по истечении k_5 шагов по времени значение $cd[i, j]$ станет больше отношения теплоты фазового перехода в цилиндре к его теплоемкости, то температура $t_{i,j}^n$ в контрольном объеме заменяется на температуру шлакового или металлического расплава. Расчет по данному алгоритму заканчивается при условии, что все контрольные объемы расплавились. Для расчетов использовались общие физические данные для добавки (материал добавки ФТи 30.), расплава и шлака, расчет коэффициента теплоотдачи в шлаковом расплаве [7].

Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты расчетов

Диаметр цилиндра, мм	5	25	50
Длительность плавления на границе шлак-металл, сек	5	51	145
Длительность плавления в металлическом расплаве, сек	4	46	140

Выводы. Адекватность предложенного алгоритма расчета подтверждается сравнением результатов вычислительного эксперимента с ранее опубликованными экспериментальными и расчетными результатами одномерных задач плавления для различных материалов. Результаты вычислительного эксперимента позволяют установить рациональные режимы ввода кусковых добавок из различных материалов, обеспечивающие наиболее благоприятные условия для их расплавления в сталеразливочном ковше или ковше-печи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Павлюченков И.А. Численное моделирование (на основе метода Дюзимбера) процессов плавления тел в расплаве / И.А.Павлюченков // Математичне моделювання.–1997.–№2. – С.37-43.
2. Моделирование процесса плавления чушкового алюминия при раскислении и доводке стали в ковше/ В.А.Вихлевщук, К.Г.Носов., В.Ф.Поляков.[и др.] // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1988. – № 9. – С.31-34.
3. Исследование процесса плавления алюминиевой проволоки при вводе в сталь / В.А.Вихлевщук, И.А.Павлюченков, В.Г.Щербинский [и др.] // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1988. – № 2. – С.32-38.
4. Исследование кинетики плавления порошковой проволоки при вводе в жидкую сталь / И.А.Павлюченков, В.А.Вихлевщук, В.И.Тимошпольский [и др.] // Изв. вузов. Энергетика. – 1992. – № 9-10. – С.87-91.
5. Бабенко М.В Алгоритм расчета (на основе метода Дюзимбера) двухмерной задачи плавления цилиндра в расплаве / М.В.Бабенко, И.А.Павлюченков // Металургійна теплотехніка: зб. наук. праць Національної металургійної академії України. – Дніпропетровськ: ПП Грек О.С. – 2006. – С.3-7.
6. Изучение свойств ферросплавов и лигатур для микролегирования и раскисления стали / В.С.Игнатъев, В.А.Вихлевщук, В.М.Черногрицкий [и др.] //Изв. вузов. Черная металлургия. – 1988. – № 6. – С.37-42.
7. Ефимов В.А. Разливка и кристаллизация стали / Ефимов В.А. // М: Металлургия, 1976. – 552с.

Дніпродзержинський державний технічний університет

**РОЗРОБКА КОМПЛЕКСУ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ
В УМОВАХ РОЗВИТКУ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ**

Вступ. Сьогодні бази даних – основа будь-якої великої інформаційної системи, що зберігає і оброблює різноманітні дані. Це системи електронного документообігу і бухгалтерського обліку, білінгові системи і системи управління контентом web-сайтів, системи управління технологічними процесами на виробництві. Оскільки в базах даних зберігається критична для ведення бізнесу інформація, то першочергове завдання адміністраторів баз даних – підтримка конфіденційності, цілісності, достовірності та доступності цих даних.

Не існує одного правильного способу створення безпечного клієнтського додатка. Кожен додаток унікальний своїми вимогами, середовищем розгортання і кількістю користувачів. Додаток, досить добре захищений при початковому розгортанні, з часом може стати менш захищеним. Неможливо точно передбачити, які загрози можуть виникнути в майбутньому.

Інформаційні системи (ІС) в сучасних умовах перетворюються на інструмент підвищення ефективності управління і створення нових конкурентних переваг і тому займають не останнє місце в усіх галузях. Невід'ємною частиною будь-якої організації стають ІС, що забезпечують управління виробництвом, фінансами, персоналом, документами і т.д. Все більше критично важливої інформації зберігається і оброблюється в комп'ютерних системах. Разом з цим поступово підвищується і складність ІС, що стає чинником небезпеки. Таким чином, однією з найбільш серйозних проблем, що ускладнюють розвиток ІС організації, є забезпечення інформаційної безпеки.

Постановка задачі. Сучасні системи керування базами даних (СКБД) в основному є додатками Windows, оскільки це середовище дозволяє більш повно використовувати можливості персональної ЕОМ, ніж середовище DOS. Зниження вартості високопродуктивних ПК зумовило не лише широкий перехід до середовища Windows, де розробник програмного забезпечення може в меншій мірі піклуватися про розподіл ресурсів, але також зробило програмне забезпечення ПК в цілому і СКБД, зокрема, менш критичними до апаратних ресурсів ЕОМ. Серед найбільш яскравих представників систем керування базами даних можна відмітити: Lotus Approach, Microsoft Access, Borland dBase, Borland Paradox, Microsoft Visual FoxPro, Microsoft Visual Basic, а також баз даних Microsoft SQL Server і Oracle, що використовуються в додатках, побудованих за технологією "клієнт-сервер".

Проблема забезпечення захисту інформації є однією з найважливіших при побудові надійної інформаційної структури установи на базі ЕОМ. Ця проблема охоплює як фізичний захист даних і системних програм, так і захист від несанкціонованого доступу до даних, що передаються по лініях зв'язку і знаходяться на накопичувачах, що є результатом діяльності як сторонніх осіб, так і спеціальних програм-вірусів. Таким чином, в поняття захисту даних включаються питання збереження цілісності даних і управління доступу до даних (санкціонованість).

У зв'язку з відсутністю надійного і разом з цим простого і доступного методичного інструментарію створення адекватної системи захисту інформації (СЗІ) виникає необхідність пошуку і визначення шляхів, що сприяють розробці саме комплексу інфо-

рмацийної безпеки в умовах розвитку ІС. Інформація, що міститься в комп'ютерних системах, вимагає захисту, проблема якого пов'язана з вирішенням двох взаємопов'язаних питань:

- ✓ *забезпечення збереженості інформації* — захист інформації від видозміни, видалення і ушкодження, а також використання надійних комп'ютерів і програмних комплексів, які налагоджені; збереження структури конфіденційних даних;
- ✓ *контроль доступу до інформації* — забезпечення надійної ідентифікації користувачів і блокування спроб читання запису даних. При цьому слід зазначити, що, вирішуючи задачу захисту інформації, необхідно враховувати, що в загальному випадку захист полягає не лише в протидії крадіжці конфіденційної інформації, але і в забезпеченні її доступності та цілісності. Як показало дослідження, проведене компанією Perimetrix, в питанні захисту інформації актуальним є рішення задачі захисту від витоку даних (рис.1)[1-3].



Рисунок 1 – Результати досліджень компанії Perimetrix

Технологічний аспект цього питання пов'язаний з різними видами обмежень, які підтримуються структурою СКБД і мають бути доступні користувачеві. До них відносяться:

- ✓ обмеження оновлення певних атрибутів з метою збереження необхідних пропорцій між їх старими і новими значеннями;
- ✓ обмеження, що вимагають збереження значень поля показника в деякому діапазоні;
- ✓ обмеження, пов'язані з заданими функціональними залежностями.

Метою роботи є розробка комплексу інформаційної безпеки для рішення основних проблем – конфіденційності, цілісності та доступності даних.

Результати роботи. У прагненні створення системи інформаційної безпеки (СІБ) і безпечного використання інформаційних технологій розроблено ряд міжнародних стандартів, методик та інших документів, що регламентують ці питання [4]. Так найбільш відомий стандарт BS 7799 [5] визначає загальну організацію, класифікацію даних, системи доступу, напрями планування, відповідальність співробітників, використання оцінки ризику і т.д. в контексті інформаційної безпеки. Мета стандарту – скорочення матеріальних втрат, пов'язаних з порушенням інформаційної безпеки. Важливо, що стандарт покликаний заощадити підприємству засоби, а в деяких випадках навіть врятувати від банкрутства, не будучи якоюсь зовнішньою обов'язковою вимогою, що призводить до появи додаткової статті витрат при його впровадженні. Але, як видно з рекомендацій стандарту BS 7799:1999, вони носять загальний характер і однаково застосовні для підприємств у будь-якій країні. Так, останній розділ рекомендацій містить

підтвердження відповідності політики безпеки поточному законодавству країни, на основі якого він і повинен базуватися.

Практичні правила забезпечення інформаційної безпеки на всіх етапах життєвого циклу ІС повинні носити комплексний характер і ґрунтуватися на перевірених практикою прийомах і методах. Наприклад, обов'язкове використання деяких засобів ідентифікації та аутентифікації об'єктів і суб'єктів, засобів резервного копіювання, антивірусного контролю і т.д. Режим інформаційної безпеки в подібних системах забезпечується:

- ✓ *на адміністративному рівні* — політикою безпеки організації, в якій сформульовані цілі в області інформаційної безпеки і способи їх досягнення;
- ✓ *на процедурному рівні* — шляхом розробки і виконання розділів інструкцій для персоналу, присвячених інформаційній безпеці, а також заходами фізичного захисту;
- ✓ *на програмно-технічному рівні* — вживанням апробованих і сертифікованих впроваджень, стандартного набору контрзаходів: резервного копіювання, антивірусного і парольного захисту, міжмережевих екранів, шифрування даних і т.д.

При створенні СІБ важливо не виключити жодного аспекту — в цьому випадку інформаційній технології, яка застосовується, буде гарантовано відповідний рівень інформаційної безпеки.

Розглянемо рішення наведених вище проблем на основі автоматизованої інформаційної системи (АІС) "Навантаження", розробленої в Дніпродзержинському державному технічному університеті.

Окремі процедури можуть мати параметри і повертати значення. Створена користувачем процедура компілюється сервером, а потім програмний код, що відкомпілювався, може бути використаний будь-яким користувачем (рис.2) [6].

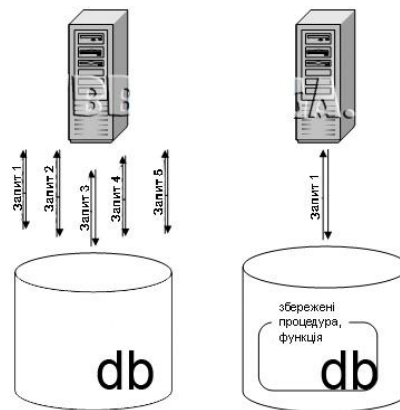


Рисунок 2 – Звернення до бази даних

У тому разі, якщо додаток використовує дану схему, сервер виконує цю процедуру без перекомпіляції. Збережені процедури підвищують продуктивність додатків в порівнянні з запитом (рис.3) [7,8].

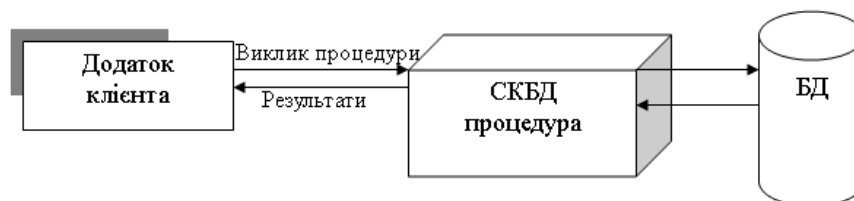


Рисунок 3 – Виклик збереженої процедури клієнтським додатком

В АІС "Навантаження" одним з методів створення декількох ліній захисту для бази даних є реалізація доступу до всіх даних за допомогою збережених процедур або функцій, що визначаються користувачем. Відмінняються або забороняються дозволи на всі базові об'єкти (наприклад, таблиці), на збережені процедури надаються дозволи EXECUTE. Тим самим створюється ефективний периметр безпеки навколо даних і об'єктів бази даних.

Традиційні ІС грають лише організаційну роль, спрямовану на забезпечення зберігання даних, проте нині складається тенденція активізації ролі баз даних в ІС. Розвиток цієї тенденції знайшов віддзеркалення в створенні і розвитку теорії активних баз даних. Активні бази даних припускають:

- ✓ містити логіку обробки (в деякій мірі) в самій базі даних, що керується СКБД, а не прикладним програмними додатками;
- ✓ забезпечити деяку форму моніторингу подій та умов, які впливають на дані і можуть ініціювати обробку, керовану базою даних;
- ✓ включити до складу баз даних інструменти, за допомогою яких події та умови забезпечували б запуск логіки всередині самої бази даних (рис.4). У створенні активних середовищ допомагають декілька основних конструкцій баз даних: тригери, обмеження і збережені процедури.

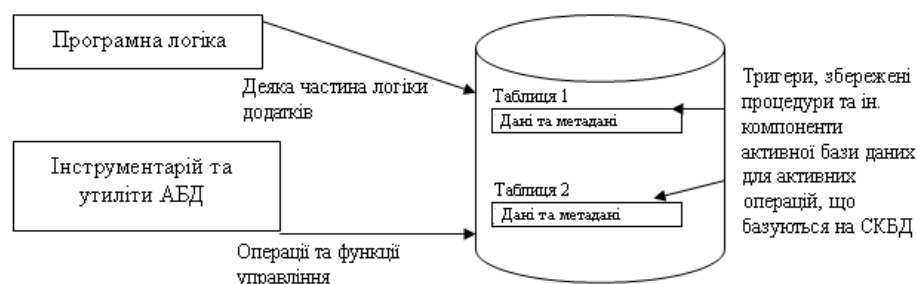


Рисунок 4 – Активна система баз даних

СКБД, які підтримують збережені процедури, мають додаткові можливості. Збережена процедура є програмним кодом з тією лише різницею, що у разі активних баз даних він відноситься до бази даних, а не до зовнішньої процедури.

Висновки. Розроблено:

1. Один з методів створення декількох ліній захисту для бази даних, реалізований в АІС "Навантаження".

2. За допомогою збережених процедур в АІС "Навантаження" були вирішені наступні проблеми:

- ✓ щоб виключити можливість атак шляхом впровадження коду SQL, використано параметризовані збережені процедури, що перевіряють введення користувача;
- ✓ заборонено нерегламентовані запити та зміну даних. Таким чином, користувачі не зможуть зловмисно або випадково знищити дані або виконати запити, що знижують продуктивність сервера в мережі;
- ✓ у коді процедур обробляються помилки, щоб не передавати їх в клієнтські додатки. Таким чином, запобігається повернення повідомлень про помилки, які можуть використовуватися в атаках зондуванням;
- ✓ до написаних одного разу збережених процедур можуть звертатися багато додатків;

- ✓ клієнтським додаткам не потрібні відомості про базові структури даних. Код збережених процедур можна змінювати, не вносячи зміни до клієнтських додатків, якщо це не впливає на списки параметрів і повернуті типи даних;
- ✓ збережені процедури знижують навантаження на мережевий трафік, об'єднуючи декілька операцій в одному виклику процедури;
- ✓ використані збережені процедури надають доступ до даних за допомогою ланцюжків володіння так, щоб користувачам не були потрібні явні дозволи для роботи з об'єктами бази даних;
- ✓ з метою реалізації права доступу на рівні рядка були створені параметризовані збережені процедури, що передають відповідне значення. Користувачі можуть бачити тільки рядки, які відповідають наданому значенню.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бармен С. Разработка правил информационной безопасности / Бармен С.; [пер. с англ.] – М.: Вільямс, 2002. – 208с.
2. Галатенко В.А. Основы информационной безопасности / Галатенко В.А. – М.: ИНТУИТ, 2003. – 280с.
3. Калянов Г.Н. Построение архитектуры предприятия / Калянов Г.Н. // Корпоративные системы. – К.: Декабрь. – 2005. – №3. – С.9-12.
4. Степанова О.М. Використання архітектурного підходу для проектування інформаційних систем / О.М.Степанова, А.В.Велігура // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В.Даля. – Луганськ: ВСНУ. – 2008. – №3(121). – С.86-92.
5. Степанова О.М. Розвиток інформаційної системи підприємства / О.М.Степанова // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В.Даля. – Луганськ: ВСНУ. – 2008. – №20. – С.47-43.
6. Дегтярьова А.О. Захист секретної інформації та особистих даних в ОС / А.О.Дегтярьова, І.В.Морозов // Інформаційна безпека. – Луганськ: ВСНУ. – 2009. – №1 (1). – С.84-88.
7. Маклаков Г.Ю. Интеллектуальный мониторинг информационной безопасности вычислительных систем / Г.Ю.Маклаков, М.А.Савченко // Інформаційні технології та безпека. – Київ: ІПРІ. – 2003. – Випуск 4. – С.153-158.
8. Голубев В.О. Інформаційна безпека: проблеми боротьби зі злочинами у сфері використання комп'ютерних технологій / Голубев В.О., Павловський В.Д., Цимбалюк В.С.. – Запоріжжя: Просвіта, 2001. – 252с.

УДК 004.4

КРАМАРЕНКО В.В., к.т.н., доцент
БОЖУХА Л.М., к.фіз.-мат.н., доцент

Дніпродзержинський державний технічний університет

АВТОМАТИЗОВАНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ТА МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ НАВАНТАЖЕННЯ ВИКЛАДАЧІВ ВНЗ

Вступ. Інтенсивний розвиток інформаційних технологій з кожним роком робить розробку інформаційних систем одним з визначальних факторів успіху в кожній області бізнесу, а також у сфері наукових досліджень. Основним компонентом будь-якої інформаційної системи є модель предметної області [1].

Сьогодні більше 70% готових програмних продуктів є незатребуваними, тому що розробляються без попередньої побудови моделі предметної області. Розробка концептуальної моделі предметної області, орієнтованої на конкретні завдання, до початку стадії проектування інформаційної системи дозволяє створити додаток, що є більш простим, послідовним, єдиним за внутрішнім змістом й необтяжливим з погляду інших можливостей [2].

На сьогоднішній день існує дві групи методів моделювання предметних областей:

1. Технологія системно-структурованого аналізу 3-View Modeling: у її рамках функції об'єкта моделюються за допомогою діаграм потоків даних - DFD (Data Flow Diagrams), відносини між даними, які в ньому використовуються за допомогою діаграм «сутність - зв'язок» - ERD (Entity-Relationship Diagrams), а поведінку об'єкта (події), за допомогою діаграм переходів станів - STD (State Transition Diagrams)[3,4].

2. Серія американських стандартів Icam Definition: стандарт функціонального моделювання (IDEF0), стандарт інформаційного моделювання (IDEF1), стандарт моделювання сценаріїв (IDEF3), стандарт онтологічного моделювання IDEF5[5,6].

Важлива риса методів моделювання – їхня зрозумілість на інтуїтивному рівні, що дозволяє їм стати незамінними засобами для розробки моделі бізнес-процесів підприємства, виступаючи як мова спілкування замовника й розроблювача, зрозумілого їм обом [7, 8, 9]. Існуючі ж методи вимагають серйозного вивчення, що у випадку, коли з боку замовника виступає група осіб, досить проблематично. Крім того, одним з основних недоліків цих методологій є наявність великої кількості розгалужень процесів, які описуються. Слід зазначити також надмірність деяких із цих методів.

Постановка задачі. У Дніпродзержинському державному технічному університеті розробляється АІС «Навчальний процес». Головним завданням цієї АІС є автоматизація розрахунку й планування навантаження викладацького складу у вищих навчальних закладах, можливість формування звітів розподілу навантаження на кафедри й спеціальності.

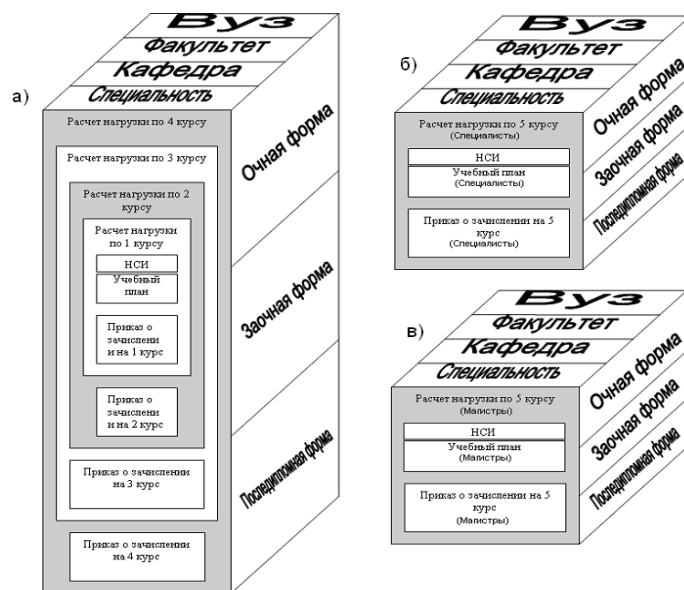
Результати роботи. Так першим кроком у створенні цієї системи була побудова моделі, яка б максимально просто й зрозуміло відображала предметну область. Для цих цілей було розроблено метод створення багатомірних онтологічних моделей. Модель повинна найбільш повно відбивати концепти, що безпосередньо ставляться до трьох процесів, які протікають в університеті: навчальному, науковому та адміністративно-господарському. Так для системи навантаження більш детально необхідно розглянути навчальний процес.

Навчально-методична діяльність ВНЗу містить наступні процеси: організаційне керування навчальною діяльністю; підготовка абітурієнтів; підготовка бакалаврів, фахівців і магістрів за спеціальностями ВНЗу в рамках денної та заочної форм навчання; перепідготовка фахівців у рамках діючої системи післядипломної освіти; підготовка аспірантів і докторантів; розробка методичного забезпечення дисциплін за циклами підготовки фахівців.

Для розрахунку навантаження потрібна нормативно-довідкова інформація: дані по контингенту факультетів, кафедр, спеціальностей, дані про кількість кредитів з дисциплін. Первинними документами є навчальний план і наказ про зарахування та переведення. На основі цих даних проводиться розрахунок за курсами для кожної спеціальності. Розроблено алгоритм розрахунку навантаження за контингентом [10].

На рис.1 зображена запропонована онтологічна багатомірна модель логіки розрахунку навантаження. Ця модель має повноту сприйняття й дає можливість зрозуміти процес у цілому, дозволяє наочно й зрозуміло зобразити навіть дуже складну логічну структуру концептів у моделі. Багатомірна модель досить просто сприймається як фа-

хівцем, так і простим користувачем, що дозволяє легко пояснити їм принципи роботи інформаційної системи.



- а) розрахунок за кваліфікацією «бакалавр»
- б) розрахунок за кваліфікацією «спеціаліст»
- в) розрахунок за кваліфікацією «магістр»

Рисунок 1 – Онтологічна багатомірна модель розрахунку навантаження викладацького складу

Для створення інформаційної моделі предметної області використовувалася багатомірна онтологічна модель навчального процесу (рис.2). Подання даних у вигляді куба істотно полегшує роботу з моделлю.

	Дисциплінарна форма						
	Заочна форма			Денна форма			
Факультет	Енергетичний	Механічний	Електроніки та комп.тех.	Соц та філологі	Ек. та менедж	Хіміко-технол.	Металургійний
Кафедра	ІПМ	АРТ	ІЗ	ЕС	ВМ		
Спеціальність	Програмне забезпечення в бізнесі, менеджм.			Програмне забезпечення автоматизованих систем			
Цикли	Професійної підготовки		Соціально-економічні		Фізико-математичні		
Викладачі	Дранішніков Л.В.		Крамаренко В.В.		Божуха Л.М.		
Дисципліни	Комп'ютерні мережі		Організація бд		Системи штучного інтелекту		

Рисунок 2 – Інформаційна модель предметної області навчального процесу

На рис.3 представлена багатомірна інформаційна модель ієрархії студентів, що, крім того, може використовуватися для відображення будь-якої інформації про студентів. Для розрахунку навантаження нам потрібні тільки дані про кількість студентів, які навчаються на курсі на даний момент.

Така модель має ряд переваг:

1. Строго структурованість предметної області й чітка розбивка її на концепти.
2. Чітко виражена ієрархія концептів.

3. Просте й логічне подання у вигляді куба дозволяє використовувати два виміри для подання даних.



Рисунок 3 – Інформаційна модель ієрархії студентів

Запропоновані вище моделі дають можливість розрахувати навчальне навантаження, але не дають повного представлення про предметну область навчального процесу. Для цього варто розширити запропоновану для розрахунку навантаження модель додатковою інформацією (рис.4).



Рисунок 4 – Інформаційна модель тимчасової ієрархії процесу навчання

Ця модель орієнтована на проміжки часу, які найчастіше вимагають обліку та аналізу процесів університету. З її допомогою моделюється звіт про успішність студентів та їх рейтинги.

Багатомірну модель даних доцільно використовувати і як інтерфейс користувача. Такий інтерфейс простий і логічний. Навігація по ньому не становить труднощів навіть для непідготовленого користувача. Інтерфейс дозволить користувачу повністю бачити предметну область, з якої він у цей момент. Цей інтерфейс також рятує користувача від вивчення малозрозумілих пунктів текстових меню.

Висновки. Вихідними даними АІС «Навчальне навантаження» є дані про навантаження по університету, а також звіти про навантаження по кафедрах і спеціальностях. Також реалізована можливість розрахунку ставок по підрозділах університету та складання графіка навчального процесу. На рис.5 показано навантаження по університету.

		Ісповідальна форма				
		Заочна форма		Денна форма		
Роки	Семестри	2008	2009		2010	
		10951/744668	11024/749632		11027/749836	
		I Семестр			2 Семестр	
		1826.5/1242320			1824/124032	
Факультет	Кафедра	Енергетика 368/25024	Механічний 369/25092	Електроніка 368.5/25058	Соціол. і філол. 360/24480	Ек. та менедж. 361/24548
Спеціальність	Цикли	ПМ 71/4828	АРТ 74/5032	ПЗ 76.5/5202	ЕС 72/4896	ВМ 75/5100
Дисципліни	Кредити	Програмне забезпечення в бізнесі, менеджм. 38.5/2618			Програмне забезпечення автоматизованих систем 38/2584	
		Професійної підготовки 12.5/858		Соціально-економічні 11/755	Фізико-математичні 15/1029	
		Комп'ютерні мережі 4/275		Організація БД 5.5/377	Системи штучного інтелекту 3/206	
		Самостійна робота 2/137		Лабораторні заняття 2/137	Аудит знань 1.5/103	

Рисунок 5 – Навантаження ДДТУ

На рис.6 представлено більш детальніший звіт про ставки на кафедрах програмного забезпечення автоматизованих систем.

		Ісповідальна форма		
		Заочна форма		Денна форма
Дисципліна	Кредити	Ставки	Години	
Експертні системи	2	0.1532	137	
Базис інформації	1.5	0.1149	103	
Детальний проект	5	0.3831	344	
Математична робота	2	0.1532	137	
Теорія рішень	1.5	0.1149	103	
Центр практики	1.48	0.1134	102	

Рисунок 6 – Звіт «Розрахунок ставок на кафедрі ПЗАС»

На рис.7 представлено підсумковий звіт ставок по кафедрах факультету ЕКТ.

Отже, представлена АІС найбільш повно відображає всю інформацію з навантаження викладацького складу університету, що було б неможливо, якби в її основі не лежала орієнтована спеціально на цю проблему інфологічна модель предметної області.

		Ісповідальна форма		
		Заочна форма		Денна форма
Кафедра	Кредити	Ставки	Години	
ПМ	45.47	3.48	3119	
ПЗАС	53.21	4.2	3660	
АРТ	47.12	3.76	3233	
Електроніка	50.32	3.85	3462	
Інші дисципліни	49.31	3.81	3353	

Рисунок 7 – Звіт «Підсумок розрахунку ставок на кафедрах»

ЛІТЕРАТУРА

1. Джефф Джонсон. Концептуальная модель: первый важный шаг в проектировании пользовательского интерфейса [Электронный ресурс]/ Джефф Джонсон // – Режим доступа до ст. – <http://www.usabilityprofessionals.ru>.
2. Востров Г. Проблемы моделирования предметных областей в информационных системах [Электронный ресурс] / Востров Г., Малахов Е., Корнилова К. // – Режим доступа до ст. – www.codenet.ru/progr/other/modeling-problem.
3. Калашян А.Н. Структурные модели бизнеса: DFD-модели / Калашян А.Н., Калянов Г.Н. // Прикладные информационные технологии. - 2003. – С.200-225.
4. Калянов Г.Н. Консалтинг при автоматизации предприятий: подходы, методы, средства [Электронный ресурс] / Калянов Г.Н. // – Режим доступа до ст. – <http://www.interface.ru/case/defs0.htm>.
5. Черемных С.В. Моделирование и анализ систем. IDEF-технологии: практикум / Черемных С.В., Семенов И.О., Ручкин В.С. // М.: Финансы и статистика. – 2002. – С.56.
6. Верников Г. Стандарты исследования и моделирования IDEF [Электронный ресурс] / Верников Г. // – Режим доступа до ст. – <http://idefinfo.ru/content/view/12/48>.
7. Беляев И.П. Системный анализ для разработки и внедрения информационных технологий / Беляев И.П., Капустян В.М. // М.: МГСУ. – 2007. – С.25.
8. Горбиков С.И. Онтологический подход к описанию бизнес-процессов (на примере финансовых процессов) [Электронный ресурс] Дипломная работа на соискание звания магистра. М: МФТИ,2006. / Калянов Г.Н. // – Режим доступа до ДР. – <http://dprbeg.narod.ru/dutyreadg.html>.
9. Рыков В.В. Материалы курса «Управление знаниями», читающегося для студентов МФТИ / Рыков В.В. // – Режим доступа до ст. – <http://курс56.narod.ru>.
10. Божуха Л.М. Про один з методів розподілу навчального навантаження / Л.М.Божуха, В.В.Крамаренко // Проблеми математичного моделювання: міждержавна наук.-метод. конф., травень 2009 р.: тези доп. –Дніпродзержинськ: ДДТУ. – 2009. – С.201.

УДК 004.4

БОЖУХА Л.М., к.фіз.-мат.н., доцент
ЗИНЧУК С.М.*, менеджер

Дніпродзержинський державний технічний університет
*ПНВП «Эргомера»

**АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ
ЕНЕРГОРЕСУРСІВ РЕГІОНУ**

Вступ. Достовірною інформацією про стан справ в енергозбереженні, поза сумнівом, стала б потужним стимулом до реального впровадження програм енергоефективності. Важливість проведення моніторингу зростає ще й тому, що в Україні так і не прижилося системне і масове проведення енергетичного аудиту об'єктів бюджетної та комунальної сфер. Організації бюджетної сфери є великими споживачами енергетичних ресурсів. Витрати бюджетів усіх рівнів на їх утримання складають значну частину всіх бюджетних витрат. Витрати тепла на опалення залежать від температури зовнішнього повітря. Фактично при плануванні витрачання коштів на опалення приміщень бюджетних організацій температура зовнішнього повітря не враховується.

У великих містах більшість об'єктів бюджетної сфери підключені до систем центрального опалення. На віддалених від теплопостачальної організації об'єктах встановлюють котельні. Така схема теплозабезпечення склалася десятки років тому. У зв'язку з цим на багатьох об'єктах комунальної та бюджетної сфери встановлено котельні застарілого типу без засобів автоматизації. Їх коефіцієнт корисної дії вкрай низький. Як правило, в таких котельнях регулювання відпуску тепла здійснюється шляхом чергування періодів, коли котли включені, з періодами їх відключення.

Для комерційних завдань обліку споживання не потрібна оперативна інформація. Достатньо фіксувати споживання за розрахунковий період (найчастіше це календарний місяць). Але збудований апаратно-програмний комплекс для задач обліку допускає розширення функцій. Зокрема, в задачі обліку електроенергії вельми корисна фіксація півгодинних потужностей в періоди максимумів енергосистеми. Доцільно в системі реєструвати і інші параметри з приблизно таким же малим інтервалом. Це дає можливість постачальникам досить ретельно контролювати режими в розподільчих мережах.

Постановка задачі. Кожен з об'єктів комунальної та муніципальної власності представляється сукупністю енергоресурсів, які підлягають обов'язковому обліку і моніторингу. При цьому бажано проводити моніторинг мереж, що підводять енергоресурси. Особливо це відноситься до проводів водопостачання, теплопостачання і газопровідних мереж.

Для ефективного моніторингу енергоресурсів доцільно використовувати прилади обліку одного типу і виробника для кожного з енергоресурсів. Однаковість протоколів передачі даних значно спрощує роботу зі створення автоматизованого комплексу, його обслуговування і модернізації.

Для отримання даних про витрати енергоресурсів необхідно мати базу даних об'єктів, в якій буде систематизована інформація про об'єкти, щодо користування енергоносіями і встановлених приладів обліку. Система моніторингу повинна мати інформацію про параметри котельні і про постачальників.

Результати роботи. Система розробляється з метою підвищення оперативності в обслуговуванні та управлінні незалежних систем і забезпечує: збір даних по каналах зв'язку з незалежними системами управління, реєстрацію і індикацію значень параметрів цих систем; оперативний контроль стану систем теплового, газового і водопостачання; керування станом контурів системи теплопостачання, зміну параметрів регулювання; облік витрат теплової енергії; облік витрат газу; облік витрат води; облік витрат електроенергії; контроль працездатності обладнання.

Система моніторингу побудована як інтегрована людино-машинна система, що працює в режимі циклічного опитування. У функціональній структурі програмно-технічного комплексу виділяються наступні функціональні підсистеми: автоматичного збору і первинної обробки інформації; представлення інформації оперативному персоналу; архівування, що здійснює зберігання даних за тривалий період часу; визначення та контролю збійних та аварійних ситуацій технологічного обладнання та устаткування.

Робота всіх підсистем програмно-технічного комплексу здійснюється шляхом взаємодії всіх видів забезпечення системи, а саме:

- інформаційного забезпечення у вигляді сукупності нормативної бази, класифікаторів, документів та реалізованих рішень щодо обсягів, розміщення та форм існування інформації;
- лінгвістичного забезпечення у вигляді сукупності засобів і правил для формалізації природної мови, що використовуються при спілкуванні експлуатаційного персоналу з комплексом засобів автоматизації;

- програмного забезпечення у вигляді сукупності програм, призначених для налагодження, функціонування і перевірки працездатності програмно-технічного комплексу;
- технічного забезпечення у вигляді сукупності засобів обчислювальної техніки та інших технічних пристроїв, що використовуються при функціонуванні системи – комплекс технічних засобів (КТЗ);
- організаційного забезпечення у вигляді сукупності документів, що встановлюють організаційну структуру, права та обов'язки експлуатаційного персоналу в умовах функціонування, перевірки та забезпечення працездатності програмно-технічного комплексу.

Спочатку система моніторингу будується за багаторівневим принципом. Інформація, яка надходить з об'єктів контролю, групується в єдину систему обробки за ознаками і критеріями, що дозволяє кожній підсистемі загальної системи моніторингу працювати незалежно, але при цьому використовувати глобальні дані, доступні іншим підсистемам.

Сигнали з датчиків вимірювання технологічних параметрів (лічильник газу, лічильник води, теплотлічильник та інші) надходять на контролер, в якому відбувається їх первинне перетворення, обробка і накопичення. Мінімальний період накопичення даних – 1 хвилина. Мінімальний розмір архіву приведенного до періоду накопичення даних – не менше 120 записів. Передача даних з контролера на станцію оператора відбувається за допомогою реалізованого в самому контролері модуля GSM зв'язку.

Інформація, що видається на монітор, згрупована на відеокадрах за функціональною ознакою і відображається у вигляді фрагментів технологічних схем, графіків, таблиць.

У структурі програмного забезпечення системи є три основні функціональні блоки (рис.1).

Механізм виконання й синхронізації завдань забезпечує можливість повного контролю над виконанням функції збору даних. У програмному пакеті реалізовано функції висновку системної інформації на друкувальній пристрій або у файл у різних форматах.

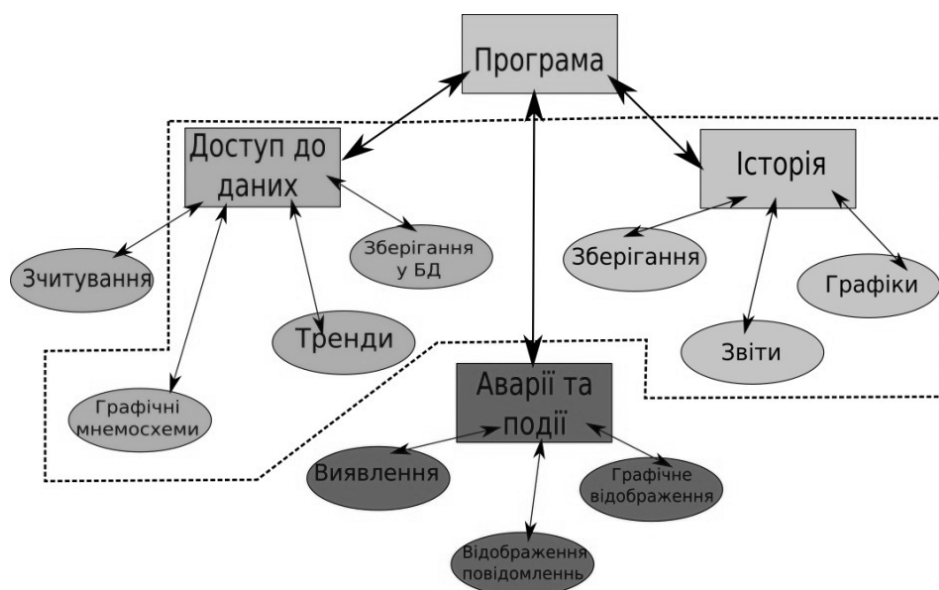


Рисунок 1 – Структура програмного забезпечення

У програмному пакеті підтримується механізм динамічного обміну даними (DDE), який може застосовуватися для передачі даних між програмними засобами АСУТП і іншими програмами Windows.

Програмне завдання розроблено із застосуванням засобу візуального програмування Borland Developer Studio 2006 (BDS) при використанні інтегрованого API доступу до баз даних Firebird і засобу складання вбудованих звітів. Програма розробляється для операційної системи Windows2000Pro/XP. При розробці програми використовується об'єктно-орієнтований і системний підхід, що є стандартним при розробці Windows додатків.

В якості сервера бази даних вибрано Firebird (FirebirdSQL) версії 2.x. Firebird (FirebirdSQL) – компактна, кросплатформна, вільна система управління базами даних (СКБД), що працює на GNU / Linux, Microsoft Windows і різноманітних Unix платформах.

Висновки. Застосування автоматизованої системи моніторингу дозволить отримувати оперативні дані для аналізу споживання енергоресурсів, проводити своєчасний розрахунок і планування місцевих бюджетів, своєчасно проводити заходи з енергозбереження.

Після кількох років роботи система моніторингу дозволить вивести енергетичний паспорт об'єкта. Після паспортизації початкових об'єктів можна буде видавати енергетичні паспорти на об'єкти, що підключаються до системи моніторингу. На основі ведення енергетичних паспортів організацій можна здійснити об'єктивну оцінку стану енергетичних об'єктів організацій і досягнутого енергозберігаючого ефекту. Енергетичні паспорти організацій є первинними обліковими документами, що лежать в основі техніко-економічного розвитку енергозберігаючих робіт. Вони дозволяють координувати такі роботи в масштабі регіону і стимулювати їх розвиток.

Рішення проблеми енергозбереження для бюджетних організацій вимагає створення системи управління процесами енергозбереження в організаціях бюджетної сфери на основі енергетичних паспортів організацій.

Внаслідок великого об'єму оброблюваної інформації при веденні енергетичних паспортів доцільно автоматизувати управління процесами енергозбереження. Програма автоматизації ведення енергетичних паспортів повинна бути побудована як база даних з енергетичних об'єктів, в якій реалізовано ряд розрахункових операцій: обчислення питомих показників споживання ресурсів; розрахунок лімітів споживання енергетичних ресурсів і води в натуральному і вартісному виразах; статистичний аналіз споживання ресурсів об'єктами; складання плану проведення енергетичних аудитів.

Однак, управління енергозберігаючими роботами вимагає значних витрат. Найбільш трудомісткою і витратною компонентою управління енергозбереженням є проведення енергетичних аудитів. Тому мінімізація числа енергетичних аудитів є одним з головних критеріїв оптимізації процесу енергетичної паспортизації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бочкарев С.В. Автоматизация управления жизненным циклом электротехнической продукции: учеб. пособие / Бочкарев С.В., Петроченков А.Б., Ромодин А.В. // Пермь: ПГТУ, 2008. – 365с.