

ВЕСТНИК

НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА «ХПИ»

Сборник научных трудов

*Тематический выпуск «Системный анализ,
управление и информационные технологии»*

19'2006

Издание основано Национальным техническим университетом «ХПИ»
в 2001 году

Госиздание

Свидетельство Госкомитета по информационной политике Украины
КВ № 5256 от 2.07.2001 г.

КООРДИНАЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель

Л.Л. Товажнянский, д-р техн. наук, проф.

Зам. председателя

А.П. Марченко, д-р техн. наук, проф.

Е.И. Сокол, д-р техн. наук, проф.

Секретарь координационного совета

К.А. Горбунов, канд. техн. наук, доц.

Е.Е. Александров, д-р техн. наук, проф.

Б.Т. Бойко, д-р техн. наук, проф.

М.Д. Годлевский, д-р техн. наук, проф.

А.И. Грабченко, д-р техн. наук, проф.

В.Г. Данько, д-р техн. наук, проф.

В.Д. Дмитриенко, д-р техн. наук, проф.

П.А. Качанов, д-р техн. наук, проф.

А.Ф. Кириченко, д-р техн. наук, проф.

В.Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.

В.И. Кравченко, д-р техн. наук, проф.

В.А. Лозовой, д-р техн. наук, проф.

А.К. Морачковский, д-р техн. наук, проф.

П.Г. Перерва, д-р техн. наук, проф.

Н.И. Погорелов, д-р техн. наук, проф.

М.И. Рыщенко, д-р техн. наук, проф.

В.Б. Самородов, д-р техн. наук, проф.

В.П. Себко, д-р техн. наук, проф.

В.И. Таран, д-р физ.-мат. наук, проф.

Ю.В. Тимофеев, д-р техн. наук, проф.

А.Ф. Шеховцов, д-р техн. наук, проф.

Е.И. Юносова, д-р фил. наук, проф.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Ответственный редактор

М.Д. Годлевский, д-р техн. наук, проф.

Зам. ответственного редактора

А.С. Куценко, д-р техн. наук, проф.

Ответственный секретарь

Н.И. Безменов, канд. техн. наук, доц.

Е.Е. Александров, д-р техн. наук, проф.

В.Д. Дмитриенко, д-р техн. наук, проф.

В.Я. Заруба, д-р экон. наук, проф.

И.В. Кононенко, д-р техн. наук, проф.

Л.М. Любчик, д-р техн. наук, проф.

А.С. Мазманишвили, д-р физ.-мат. наук, проф.

Л.Г. Раскин, д-р техн. наук, проф.

М.А. Ястребенецкий, д-р техн. наук, проф.

АДРЕС РЕДКОЛЛЕГИИ

61002, Харьков, ул. Фрунзе, 21

Кафедры:

«Автоматизированные системы управления»,
«Системный анализ и управление»

Тел. (057) 707-65-20,

(057) 707-61-03

УДК 681.518

Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Системный анализ, управление и информационные технологии». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2006. – № 19. – 184 с.

У збірнику представлено теоретичні та практичні результати наукових досліджень та розробок, що виконані викладачами вищої школи, аспірантами, студентами, науковими співробітниками, спеціалістами різних організацій та підприємств.

Для наукових співробітників, викладачів, аспірантів, спеціалістів.

В сборнике представлены теоретические и практические результаты научных исследований и разработок, которые выполнены преподавателями высшей школы, аспирантами, студентами, научными сотрудниками, специалистами различных организаций и предприятий.

Для научных работников, преподавателей, аспирантов, специалистов.

**Друкується за рішенням Вченої ради НТУ «ХПИ»,
протокол № 7 від 26.05.2006 р.**

Л.М. ЛЮБЧИК, д-р техн. наук,

Г.Л. ГРИНБЕРГ, канд. техн. наук, *ЧАН ЗУНГ ЧИНЬ*

КОРРЕКЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭНЕРГОБЛОКА В УСЛОВИЯХ НЕТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Розглядається задача корекції обчислюваних техніко-економічних показників енергоблоків з урахуванням похибок вимірювань технологічних параметрів. На основі використання апріорної статистичної інформації про вимірювані параметри і погрішності вимірювань запропонована методика корекції лінеаризованих формул обчислення показників і знайдені оптимальні лінійні перетворення, що забезпечують корекцію.

Введение. Одной из важнейших функций автоматизированных информационно-управляющих систем энергоблоков тепловых и атомных электростанций является вычисление разнообразных технико-экономических показателей (ТЭП), характеризующих экономичность, надежность и долговечность энергетического оборудования в процессе его эксплуатации. Указанные вычисления связаны с необходимостью обработки измерительной информации о текущих значениях технологических параметров в реальном масштабе времени. Так, например, вычисление КПД парогенератора осуществляются на основе текущих данных о расходе, температуре и давлении первичного и вторичного пара [1]. При этом расчет ТЭП осуществляются, как правило, с помощью достаточно простых формул пересчета текущих измерений технологических параметров в значения искомым показателей и в принципе не вызывают особых затруднений. Однако существенным при этом является вопрос о точности определения вычисляемых показателей, поскольку измерение технологических параметров, как правило, не точны и сопровождаются значительными погрешностями. Точность определения вычисляемых ТЭП можно существенно повысить за счет соответствующей коррекции вычислений, под которой будем понимать определенное функциональное преобразование значений показателей, вычисленных без учета погрешностей измеряемых параметров. Выбор оптимального преобразования определяется, в свою очередь, на основе базовых расчетных формул с учетом имеющейся априорной статистической информацией об измеряемых технологических параметрах, входящих в расчетные формулы ТЭП.

В настоящей работе приводится аналитическое решение задачи коррекции вычисляемых ТЭП, заданных в виде непрерывных функциональных зависимостей от текущих значений измеряемых технологических параметров.

Постановка задачи. Рассмотрим задачу коррекции расчета ТЭП, определяемого функциональной зависимостью:

$$Y = f(X) = f(x_1, \dots, x_n), \quad (1)$$

где Y - искомый показатель, $X = (x_1, \dots, x_n)^T$ - вектор технологических параметров, T - знак транспонирования.

Представим расчетную зависимость (1) в линеаризованном виде:

$$Y = f(X_0) + D^T \tilde{X} = D^T (\tilde{X}_0 + \xi), \quad D = (\partial f / \partial x_1, \dots, \partial f / \partial x_n)^T \Big|_{X=X_0}, \quad (2)$$

где X_0 - вектор номинальных значений технологических параметров, \tilde{X} - вектор измеряемых отклонений от номинальных значений, представляющий собой сумму фактических значений отклонений \tilde{X}_0 и погрешностей измерений $\xi = (\xi_1, \dots, \xi_n)^T$. При этом вычисление значений ТЭП осуществляется путем скалярного умножения вектора измерений отклонений параметров \tilde{X} и вектора коэффициентов пересчета $D^T = (d_1, \dots, d_n)$.

Будем считать, что случайные векторы \tilde{X}_0 и ξ взаимно независимы и распределены в соответствии многомерными нормальными законами:

$$\mathbf{M}\{\tilde{X}_0\} = \bar{X}_0, \quad \mathbf{M}\{(\tilde{X}_0 - \bar{X}_0)(\tilde{X}_0 - \bar{X}_0)^T\} = S_X, \quad \mathbf{M}\{\xi\} = 0, \quad \mathbf{M}\{\xi\xi^T\} = S_\xi. \quad (3)$$

где \bar{X}_0 - априорное значение математического ожидания вектора отклонения измеряемых параметров от номинальных значений, S_X, S_ξ - невырожденные ковариационные матрицы векторов отклонений и погрешностей измерений соответственно.

Точность определения вычисляемого показателя будем характеризовать дисперсией его отклонения от фактического значения $Y_0 = f(X_0) + D^T \tilde{X}_0$:

$$\sigma_{Y-Y_0}^2 = \mathbf{M}\{(Y - Y_0)^2\} = D^T S_\xi D. \quad (4)$$

Примем в качестве скорректированного значения вычисляемого показателя величину \hat{Y} , вычисляемую по формуле:

$$\hat{Y} = f(X_0) + D^T \bar{X}_0 + D^T H(\tilde{X} - \bar{X}_0), \quad (5)$$

где H – квадратная матрица, определяющая правило коррекции. Тогда задача коррекции сводится к выбору оптимальной матрицы преобразования из условия минимизации дисперсии скорректированного вычисляемого ТЭП:

$$H^* = \arg \min \sigma_{\hat{Y}-Y_0}^2 = \arg \min M\{(\hat{Y} - Y_0)^2\}. \quad (6)$$

Коррекция статических измерений. Найдем ошибку вычисления скорректированного показателя. Из (5) следует, что

$$\hat{Y} - Y_0 = D^T(H - I_n)\tilde{X}^0 + D^T H \xi, \quad (6)$$

где $\tilde{X}^0 = \tilde{X} - \bar{X}_0$ – центрированное значение вектора измеряемых отклонений технологических параметров, I_n – единичная матрица. Тогда дисперсия скорректированного вычисляемого показателя равна:

$$\sigma_{\hat{Y}-Y_0}^2 = D^T(H - I_n)S_X(H - I_n)^T D + D^T H S_\xi H^T D, \quad (7)$$

Вводя обозначение $\tilde{D} = H^T D$, перепишем формулу (7) в виде:

$$\sigma_{\hat{Y}-Y_0}^2 = \tilde{D}^T(S_X + S_\xi)^T \tilde{D} - 2\tilde{D}^T S_X D + D^T S_X D. \quad (8)$$

Найдем оптимальное значение матрицы коррекции H^* из условия минимизации дисперсии погрешности вычисления ТЭП (8). Находя

градиент $\sigma_{\hat{Y}-Y_0}^2$ по вектору \tilde{D} , и приравняв его к нулю, получаем систему нормальных уравнений $(S_X + S_\xi)\tilde{D} - S_X D = 0$. Из полученной системы следует, что оптимальное значение $\tilde{D}^* = (S_X + S_\xi)^{-1} S_X D$ и, соответственно,

$$H^{*\Gamma} = (S_X + S_\xi)^{-1} S_X. \quad (9)$$

Очевидно, что оптимальная матрица коррекции H^* является симметрической и для нее справедливо тождество $H^* - I_n = -S_\xi(S_X + S_\xi)^{-1}$. При этом минимальное значение дисперсии оценки ТЭП, соответствующее оптимальной матрице коррекции H^* (9), равно:

$$\sigma_{\tilde{Y}^* - Y_0}^2 = D^T S_{\xi} \Phi S_X \Phi S_{\xi} D + D^T S_X \Phi S_{\xi} \Phi S_X D, \quad (10)$$

где $\Phi = (S_X + S_{\xi})^{-1}$. Таким образом, как следует из (9), оптимальное значение матрицы коррекции H^* определяется соотношением между априорными ковариационными матрицами векторов отклонений измеряемых параметров и погрешностей измерений.

Пример. Для пояснения полученных результатов рассмотрим частный случай, когда введенные выше ковариационные матрицы имеют вид $S_X = \sigma_X^2 I_n$, $S_{\xi} = \sigma_{\xi}^2 I_n$, что соответствует равноточным измерениям параметров, имеющих одинаковое априорное рассеяние. Тогда из (9) следует, что $H^* = h^* I_n$, $h^* = -\sigma_X^2 (\sigma_X^2 + \sigma_{\xi}^2)^{-1} = 1/(1 + \alpha)$, где параметр $\alpha = \sigma_{\xi}^2 / \sigma_X^2$ эквивалентен отношению «шум/сигнал». Очевидно, что при этом

$$\sigma_{\tilde{Y}^* - Y_0}^2 = \|D\|^2 \sigma_X^2 \sigma_{\xi}^2 (\sigma_X^2 + \sigma_{\xi}^2)^{-1} = \|D\|^2 \sigma_{\xi}^2 (1 + \alpha)^{-1}. \quad (11)$$

В предельных случаях при малом уровне помех $\sigma_{\xi}^2 \ll \sigma_X^2$ имеем $h^* \approx 1$ и осуществлять коррекцию не имеет смысла, при высоком уровне помех $\sigma_{\xi}^2 \gg \sigma_X^2$ соответственно $h^* \approx 0$ и в качестве оценки ТЭП целесообразно брать априорное математическое ожидание $\tilde{Y} = f(X_0) + D^T \bar{X}_0$.

В общем случае предложенная оценка ТЭП приобретает вид:

$$\tilde{Y}^* = f(X_0) + (1 - h^*) D^T \bar{X}_0 + h^* D^T \tilde{X}, \quad (12)$$

т.е. оптимальное значение вычисляемого показателя есть взвешенная сумма его априорного среднего значения и значения, вычисляемого по фактическим измерениям. Относительный выигрыш по точности при этом равен:

$$\delta \sigma_{\tilde{Y} - Y_0}^2 = \frac{\sigma_{\tilde{Y} - Y_0}^2 - \sigma_{\tilde{Y}^* - Y_0}^2}{\sigma_{\tilde{Y} - Y_0}^2} = \frac{\alpha}{1 + \alpha} \quad (13)$$

и тем выше, чем больше отношение «шум/сигнал» α .

Коррекция динамических измерений. Реализация предложенного подхода определяется способами вычисления ковариационных матриц,

входящих в выражение для матрицы коррекции (9). Особый практический интерес представляет случай так называемых косвенных измерений, когда отклонения технологических параметров являются реализациями случайных процессов и измерению доступны лишь их линейные комбинации.

Примем, что модель формирования отклонений технологических параметров и измеряемых переменных задается так называемой моделью формирующего фильтра, описываемого дискретной динамической системой:

$$\tilde{X}_0(n+1) = A\tilde{X}_0(n) + W(n), \quad Z(n) = C\tilde{X}_0(n) + V(n), \quad (14)$$

где $Z(n)$ – вектор доступных измерений, $W(n)$ – вектор случайных воздействий на формирующий фильтр, $V(n)$ – вектор погрешностей измерений, n – номер измерения. Матрицы A и C , задающие динамику изменения отклонений технологических параметров и структуру формирования измерений, будем считать известными.

Будем считать, что

$$\mathbf{M}\{W\} = \bar{W}, \quad \mathbf{M}\{(W - \bar{W})(W - \bar{W})^T\} = Q_W, \quad \mathbf{M}\{V\} = 0, \quad \mathbf{M}\{VV^T\} = Q_V. \quad (15)$$

Тогда из соотношений (14), (15) следует, что априорные статистические характеристики вектора отклонений \tilde{X}_0 , а именно, $\bar{X}_0(n)$, $S_X(n)$, являются нестационарными и определяются разностными уравнениями:

$$\bar{X}_0(n+1) = A\bar{X}_0(n) + \bar{W}(n), \quad S_X(n+1) = AS_X(n)A^T + Q_W(n). \quad (16)$$

В качестве косвенных измерений отклонений технологических параметров примем линейную оптимальную оценку $\hat{X}_0(n)$, определяемую с помощью дискретного динамического наблюдателя [2]:

$$\hat{X}_0(n+1) = A\hat{X}_0(n) + L(Z(n) - C\hat{X}_0(n)) + \bar{W}(n), \quad \hat{X}_0(n) = \bar{X}_0, \quad (18)$$

где L – матрица коэффициентов усиления динамического наблюдателя. При этом погрешность косвенных измерений, совпадает фактически с ошибкой оценивания $\xi(n) = \hat{X}_0(n) - X_0(n)$, и удовлетворяет разностному уравнению:

$$\xi(n+1) = (A - LC)\xi(n) - LV(n) + W(n). \quad (19)$$

Очевидно, что оценка $\hat{X}_0(n)$ является несмещенной, а ковариационная матрица ошибки косвенных измерений задается разностным уравнением:

$$S_{\xi}(n+1) = (A - LC)S_{\xi}(n)(A - LC)^T(n) + LQ_V L^T + Q_W. \quad (20)$$

Выберем матрицу коэффициентов усиления наблюдателя из условия обеспечения максимальной точности оценивания:

$$L^*(n) = \arg \min \operatorname{tr} S_{\xi}(n+1) \quad (21)$$

откуда следует выражение для оптимального значения матрицы усиления:

$$L^*(n) = AS_{\xi}(n)C^T(Q_V + CS_{\xi}(n)C^T)^{-1}. \quad (22)$$

Тогда уравнение оптимального стохастического наблюдателя, формирующие косвенные измерения, преобразуются к виду:

$$\begin{aligned} \widehat{X}_0(n+1) &= A^*(n)\widehat{X}_0(n) + B^*(n)Z(n) + \overline{W}(n), \quad \widehat{X}_0(n) = \overline{X}_0, \\ A^*(n) &= A[I_n - S_{\xi}(n)C^T(Q_V + CS_{\xi}(n)C^T)^{-1}C], \\ B^* &= AS_{\xi}(n)C^T(Q_V + CS_{\xi}(n)C^T)^{-1}. \end{aligned} \quad (23)$$

Динамика ковариационной матрицы $S_{\xi}(n)$ задается разностным уравнением (20) с подставленным в него оптимальным значением $L^*(n)$ из формулы (22). Таким образом, уравнения (9), (20), (22), (23) задают рекуррентные формулы вычисления оптимальной матрицы коррекции $H^*(n)$, которая в данном случае, оказывается зависящей от времени.

Заключение. Предложенный метод позволяет существенно повысить точность вычисления ТЭП, расчетные модели которых представляют собой статические преобразования измеряемых технологических параметров, измеряемых СС существенными случайными погрешностями. Дальнейшее повышение точности можно достичь путем компенсации погрешностей, обусловленных динамическими свойствами технологического объекта и измерительных каналов [3].

Список литературы: 1. Дуэль Т.Л. Использование технико-экономической информации в интегрированных АСУ тепловых электростанций. Харьков, 2006. - 256 с. 2. Первозванский А.А. Курс теории автоматического управления. - М.: Наука, 1986. - 616 с. 3. Любчик Л.М., Дуэль Т.Л. Автоматическое определение технико-экономических показателей с учетом динамических свойств энергооборудования // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. - Харків: НТУ "ХПІ", 2004. - № 36. - С. 105-110.

Поступила в редколлегию 21.04.06.

Т.Б. НИКИТИНА канд. техн. наук

УПРАВЛЕНИЕ МНОГОКАНАЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ ПО H^2 И H^∞ КРИТЕРИЯМ

Розроблена методика синтезу регуляторів багатоканальних систем, що працюють за принципом грубого та точного керування, оптимальних за H^2 і H^∞ критеріями. Методика дозволяє синтезувати багатоканальні системи високої точності та низької чутливості до зміни параметрів і структури моделей об'єктів керування та зовнішніх збурень багатоканальних систем. Наведено приклад застосування розробленої методики для синтезу двоканальної системи, що стежить.

Многоканальные системы, работающие по принципу грубого и точного управления, позволяют существенно повысить точность управления, а в ряде случаев обеспечить точность, недостижимую в одноканальных системах. В работах [1] рассмотрены вопросы синтеза многоканальных систем, оптимальных по квадратичным критериям качества. Такие регуляторы позволяют получить высокие динамические характеристики при известных моделях многоканальной системы и внешних воздействий. Однако при изменении параметров и структуры математических моделей при использовании синтезированных регуляторов динамические характеристики системы могут существенно ухудшиться вплоть до потери устойчивости [2-3].

Целью данной работы является синтез робастного управления многоканальными системами по смешанному критерию, позволяющему обеспечивать работоспособность системы при заданном изменении моделей объектов управления и внешних воздействий и высокой точности многоканальной системы [4-6].

Рассмотрим алгоритмическую схему многоканальной системы, показанную на рис.1. Задающие воздействия $y_{31}(t), y_{32}(t) \dots y_{3n}(t)$ обычно являются достаточно близкими, в частности, равными между собой координатами. Так, например, в трехканальной стратосферной системе такими координатами являются направления на Солнце, на край диска Солнца и непосредственно на изучаемый объект на Солнце [7]. При этом помехи отдельных измерителей $f_1, f_2 \dots f_n$ как правило существенно отличаются в связи с различными дискриминаторными характеристиками измерительных устройств. К выходу каждого канала приведены возмущения $F_i(t)$.

Каждый канал состоит из неизменяемой части объекта управления w_{0i} и собственно регулятора r_i , структуру и параметры которого необходимо определить. Для формирования управления i -го канала $u_i(t)$ используется

сигнал измеренной ошибки $\varepsilon_{iu}(t)$, также вектор переменных состояния i -го канала $\bar{x}_{ui}(t)$, доступный для измерения.

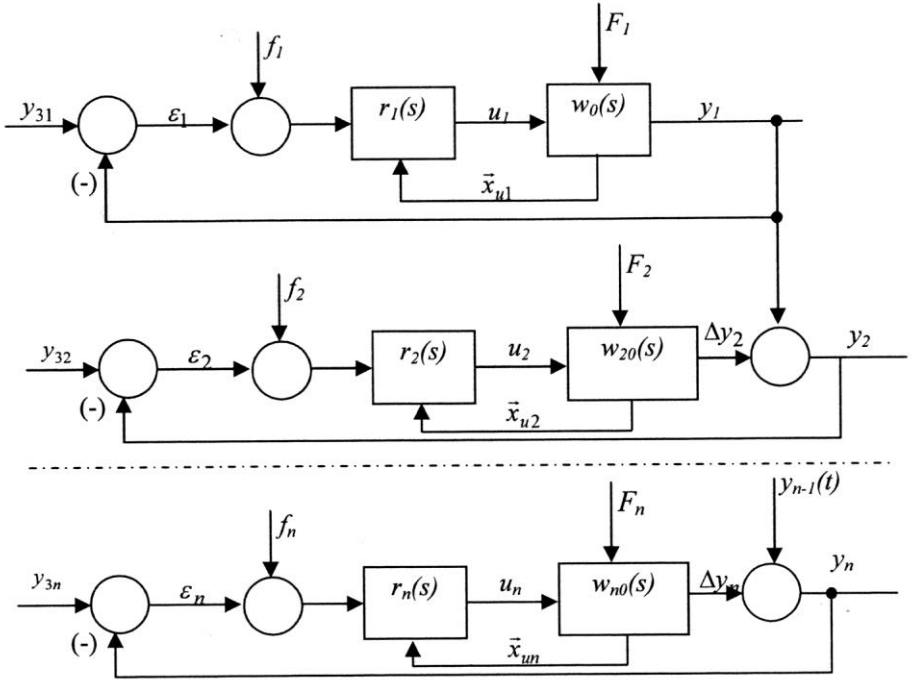


Рис. 1. Схема многоканальной системы.

Задача синтеза регуляторов каналов заключается в минимизации ошибок каналов $\varepsilon_i(t)$ при ограничении управления и переменных состояния. Обычно результирующая точность многоканальной системы определяется ошибкой $\varepsilon_n(t)$ последнего n -ного канала.

Введем вектор задающих воздействий $\bar{y}_3(t) = \{y_{3i}(t)\}$, вектор выходных координат $\bar{y}(t) = \{y_i(t)\}$, вектор выходных координат отдельных каналов $\Delta\bar{y}(t) = \{\Delta y_i(t)\}$, вектор помех измерения $\bar{f}(t) = \{f_i(t)\}$, вектор возмущений $\bar{F}(t) = \{F_i(t)\}$, вектор управлений $\bar{u}(t) = \{u_i(t)\}$, вектора ошибок $\bar{\varepsilon}(t) = \{\varepsilon_i(t)\}$ и измеренных ошибок $\bar{\varepsilon}_u = \{\varepsilon_{iu}\}$. Введем передаточные функции объектов управления $w_{0i}(s)$ и матрицу передаточных функций объекта управления $w_0(s) = \text{diag}\{w_{0i}(s)\}$. Тогда получим следующие матричные уравнения

$$\bar{\varepsilon}(t) = \bar{y}_3(t) - \bar{y}(t),$$

$$\begin{aligned}\bar{y}(t) &= \Delta\bar{y}(t) + \bar{F}(t), \\ \bar{\varepsilon}_u(t) &= \bar{\varepsilon}(t) + \bar{f}(t), \\ \Delta\bar{y}(t) &= w_0(s)\bar{u}(t), \\ \bar{y}_u(t) &= w_{0u}(s)\bar{u}(t).\end{aligned}$$

Если спектральные плотности внешних воздействий известны и могут быть аппроксимированы дробно – рациональными функциями, то синтез регуляторов может быть сведен к минимуму квадратичного критерия качества. Этот оптимальный регулятор может быть найден в частотной области [7]. Для нахождения такого регулятора необходимо выполнить операции сепарации и факторизации соответствующих матриц спектральных плотностей. Эти операции к настоящему времени достаточно формализованы и имеются соответствующие программные продукты для их решения.

Эта задача может быть также решена и во временной области. При этом уравнение состояния исходной многоканальной системы содержит модели отдельных каналов и модели формирующих фильтров векторов задающих $\bar{x}(t)$ и возмущающих $\bar{F}(t)$ воздействий. Управление по полному вектору состояния, минимизирующее квадратичный критерий, реализуется с помощью наблюдателя. Для определения матриц коэффициентов усиления оптимального регулятора и оптимального наблюдателя необходимо решить две системы уравнений Риккати.

Существенным недостатком оптимальных регуляторов является их достаточно высокая чувствительность к изменению параметров и структуры объекта управления вплоть до полной потери работоспособности и устойчивости. Поэтому в последнее время получила развитие теория синтеза регуляторов, нечувствительных к изменению параметров и структуры объекта управления. Такие регуляторы названы робастными. К настоящему времени разработано несколько подходов к синтезу робастных регуляторов. Рассмотрим один из них, основанный на описании системы в пространстве состояний [4-6].

Вектора задающих $\bar{y}_3(t)$ и возмущающих $\bar{F}(t)$ воздействий, как правило, нельзя считать, сигналами типа белого шума. Обычно система проектируется таким образом, чтобы обрабатывать вектор задающих воздействий $\bar{y}_3(t)$ и компенсировать вектор возмущающих воздействий $\bar{F}(t)$ так, чтобы вектор ошибок $\bar{\varepsilon}(t)$ был достаточно малым вектором. При этом, естественно, полоса пропускания замкнутой системы должна быть достаточно большой либо по меньшей мере соизмеримой со спектрами задающих и возмущающих воздействий, чтобы обработать задающее и компенсировать возмущающие воздействия. Однако полоса пропускания замкнутой системы при этом, не должна быть достаточно широкой, чтобы не усиливать шумы измерительных

устройств и не увеличивать составляющую ошибки системы, вызванную шумами измерительных устройств. Поэтому будем формировать вектора задающих $\vec{x}(t)$ и возмущающих $\vec{F}(t)$ воздействий с помощью моделей – формирующих фильтров с соответствующими матрицами передаточных функций.

С учетом введенных обозначений рассмотрим схему многоканальной системы, рис.2.

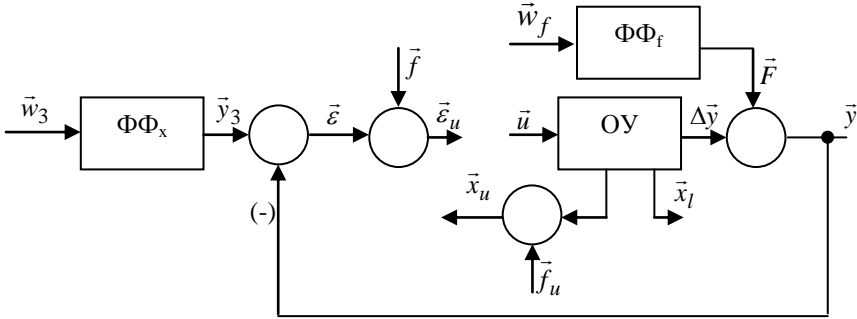


Рис.2. Схема синтезируемой системы.

Введем вектор состояния объекта управления $\vec{x}_0(t)$ и запишем уравнение состояния, вектора выхода $\Delta\vec{y}(t)$ и измерения $\vec{x}_u(t)$ в следующем виде

$$\begin{aligned} \frac{d\vec{x}_0(t)}{dt} &= A_0\vec{x}_0(t) + B_0u(t), \\ \Delta\vec{y}(t) &= C_0x_0(t), \\ \vec{x}_u(t) &= C_u\vec{x}_0(t) + \vec{f}_u(t) \end{aligned}$$

Введем также вектор переменных состояния объекта управления $\vec{x}_l(t)$, которые необходимо ограничивать и запишем уравнение в следующем виде

$$\dot{\vec{x}}_l(t) = C_l\vec{x}_0(t)$$

Введем вектор состояния $\vec{x}_3(t)$ модели (формирующего фильтра) вектора задающего воздействия $\vec{y}_3(t)$ и запишем уравнение состояния и выхода в следующем виде

$$\frac{d\vec{x}_3}{dt} = A_3\vec{x}_3(t) + B_3\vec{w}_3(t), \quad \vec{y}_3(t) = C_3\vec{x}_3(t)$$

Аналогично введем вектор состояния $\vec{x}_F(t)$ формирующего фильтра вектора возмущающего воздействия $\vec{F}(t)$ и запишем уравнения состояния и выхода в следующем виде

$$\frac{d\bar{x}_F}{dt} = A_F \bar{x}_F(t) + B_F \bar{w}_F(t), \quad \bar{F}(t) = C_F \bar{x}_F(t)$$

Основное назначение системы заключается в минимизации вектора ошибки $\bar{\varepsilon}(t)$ отработки с помощью объекта управления вектора задающего воздействия $\bar{y}_3(t)$ и компенсации вектора возмущающего воздействия $\bar{F}(t)$. Как следует из схемы, показанной на рис.

$$\bar{\varepsilon}(t) = \bar{y}_3(t) - \Delta \bar{y}(t) - \bar{F}(t),$$

а выходная координата системы равна

$$\bar{y}(t) = \Delta \bar{y}(t) + \bar{F}(t).$$

Приведем данную систему к стандартному виду, принятому в теории H^2 и H^∞ регуляторов [4]. Введем вектор состояния системы $\bar{x}(t)$, компонентами которого являются векторы состояния объекта управления $\bar{x}_0(t)$, формирующих фильтров задающего $\bar{x}_3(t)$ и возмущающего $\bar{x}_F(t)$ воздействий в следующем виде

$$\bar{x}(t) = \{\bar{x}_0^T, \bar{x}_3^T(t), \bar{x}_F^T(t)\}^T$$

Введем вектор внешних воздействий $\bar{w}(t)$, компонентами которого являются вектора $\bar{w}_3(t)$ и $\bar{w}_F(t)$, возбуждающие формирующие фильтры векторов задающего $\bar{x}_3(t)$ и возмущающего $\bar{F}(t)$ воздействий, а также вектор помехи $\bar{f}(t)$ измерения ошибки системы $\bar{\varepsilon}(t)$ и вектор помех $\bar{f}_u(t)$ измерения вектора переменных состояния $\bar{x}_u(t)$ в следующем виде:

$$\bar{w}(t) = \{\bar{w}_3^T(t), w_F^T(t), f(t), \bar{f}_u^T(t)\}^T.$$

Введем вектор измеряемых переменных $\bar{y}(t)$, компонентами которого являются вектор измеренных ошибок системы $\bar{\varepsilon}_u(t)$ и измеренный вектор состояния $\bar{x}_u(t)$ в следующем виде:

$$\bar{y}(t) = \{\bar{\varepsilon}_u^T(t), \bar{x}_u^T(t)\}^T.$$

В вектор контролируемых переменных $\bar{z}(t)$ включим вектор ошибки системы $\bar{\varepsilon}(t)$, вектор переменных состояния $\bar{x}_l(t)$ подлежащий ограничению и вектор управляющего воздействия $\bar{u}(t)$ в следующем виде $\bar{z}(t) = \{\bar{\varepsilon}^T(t), \bar{x}_l^T(t), \bar{u}^T(t)\}$. Запишем теперь уравнение состояния исходной системы, уравнение контролируемых переменных $\bar{z}(t)$ и уравнение измеряемых переменных $\bar{y}(t)$ в стандартной форме, принятой в теории H^∞ :

$$\frac{d\bar{x}(t)}{dt} = A\bar{x}(t) + B_1\bar{w}(t) + B_2\bar{u}(t)$$

$$\begin{aligned}\bar{z}(t) &= C_1 \bar{x}(t) + D_{11} \bar{w}(t) + D_{12} \bar{u}(t) \\ \bar{y}(t) &= C_2 \bar{x}(t) + D_{21} \bar{w}(t) + D_{22} \bar{u}(t)\end{aligned}$$

На основании схемы, показанной на рис.2, и с учетом введенных векторов матрицы системы соответственно равны

$$\begin{aligned}A &= \begin{bmatrix} A_0 & & \\ & A_3 & \\ & & A_F \end{bmatrix}; & B_1 &= \begin{bmatrix} & & \\ B_3 & & \\ & B_F & \end{bmatrix}; & B_2 &= \begin{bmatrix} B_0 \\ \\ \end{bmatrix} \\ C_1 &= \begin{bmatrix} -C_0 & C_3 & -C_F \\ C_l & & \\ & & \end{bmatrix} & D_{11} &= \begin{bmatrix} & & \\ & & \\ & & \end{bmatrix} & D_{12} &= \begin{bmatrix} \\ \\ R_2 \end{bmatrix} \\ C_2 &= \begin{bmatrix} -C_0 & C_3 & -C_F \\ C_u & & \end{bmatrix} & D_{21} &= \begin{bmatrix} & V_f & \\ & & V_u \end{bmatrix}; & D_{22} &= \begin{bmatrix} \\ \\ \end{bmatrix}\end{aligned}$$

В этих матрицах приняты следующие обозначения: R_2 - весовая матрица, учитывающая «вес» управления в норме передаточной функции, V_f , V_n - матрицы, учитывающие интенсивность помех измерений вектора ошибки системы $\bar{\varepsilon}(t)$ и вектора $\bar{x}_u(t)$.

В рамках линейной квадратичной гауссовой проблемы оптимального управления решается задача минимума критерия

$$\begin{aligned}J &= \lim_{T \rightarrow \infty} M \left\{ \frac{1}{T} \int_0^T \bar{z}^T(t) \bar{z}(t) dt \right\} = \lim_{T \rightarrow \infty} M \left\{ \frac{1}{T} \int_0^T [\bar{x}^T(t) \bar{u}^T(t)] \begin{bmatrix} R_1 & N \\ N^T & R_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{x} \\ \bar{u} \end{bmatrix} dt \right\} \\ &= \lim_{T \rightarrow \infty} \left\{ \frac{1}{T} \int_0^T [\bar{x}^T \bar{u}^T] \begin{bmatrix} C_1^T \\ D_{12}^T \end{bmatrix} [C_1 D_{12}] \begin{bmatrix} \bar{x}(t) \\ u(t) \end{bmatrix} dt \right\}\end{aligned}$$

Для исходной системы

$$\frac{d\bar{x}(t)}{dt} = A\bar{x}(t) + B\bar{u}(t) + \bar{\xi}(t)$$

возбуждаемой вектором случайных сигналов $\bar{\xi}(t)$ типа белого шума и измеряемого вектора выхода

$$y(t) = C\bar{x}(t) + \bar{\theta}(t)$$

с вектором ошибок измерения $\bar{\theta}(t)$ типа белого шума так, что

$$M \left\{ \begin{bmatrix} \bar{\xi}(t) \\ \bar{\theta}(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{\xi}^T(t), \bar{\theta}^T(t) \end{bmatrix} \right\} = \begin{bmatrix} \theta & N_f \\ N_f^T & \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_1 \\ D_{21} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1^T & D_{21}^T \end{bmatrix} \delta(t - \tau) = \begin{bmatrix} B_1 B_1^T & B_1 D_{21}^T \\ D_{21} B_1^T & D_{21} D_{21}^T \end{bmatrix} \delta(t - \tau)$$

Наблюдатель в виде фильтра Калмана описывается уравнением

$$\frac{d\hat{x}}{dt} = A\hat{x}(t) + B_2 u(t) + K_f [\bar{y}(t) - C_2 \hat{x}(t) - D_{22} u(t)]$$

где

$$K_f = (\Sigma C_2^T + N_f) \theta^{-1} = (\Sigma C_2^T + B_1 D_{21}^T) (D_{21} D_{21}^T)^{-1}$$

В котором матрица Σ удовлетворяет алгебраическому уравнению Риккати

$$\Sigma A^T + A \Sigma - (\Sigma C_2^T + N_f) \theta^{-1} (C_2 \Sigma + N_f^T) + \Sigma = 0$$

Управление по полному вектору состояния

$$u(t) = F \tilde{x}(t)$$

где матрица коэффициентов усиления

$$F = R^{-1} (B_2^T p + N_c^T) = (D_{12}^T D_{12})^{-1} (B_2^T p + D_{12}^T C_1),$$

а P удовлетворяет уравнению Риккати

$$A^T p + p A - (p B_2 + N_\theta) R^{-1} (B_2^T p + N_\theta) + Q = 0.$$

Заметим, что передаточная матрица оптимального регулятора

$$\tilde{u}(s) = F(s) \tilde{y}(s)$$

при этом имеет следующий вид

$$F(s) = \left| \frac{A - K_f C_2 - B_2 K_c + K_f D_{22} K_c}{-K_c} \right| \left| \frac{K}{0} \right|$$

Таким образом, нахождение оптимального регулятора, минимизирующего H^2 сводится к решению двух уравнений Риккати по управлению

$$A^T X_2 + X_2 A - X_2 B_2 B_2^T X_2 + C_1^T C_1 = 0$$

и по фильтрации

$$A Y_2 + Y_2 A^T - Y_2 C_2^T C_2 Y_2 + B_1 B_1^T = 0$$

Синтез регулятора, минимизирующего H^∞ норму сводится к решению двух уравнений Риккати по управлению

$$A^T X_\infty + X_\infty A - X_\infty (B_2 B_2^T - \gamma^2 B_1 B_1^T) X_\infty + C_1^T C_1 = 0$$

и по фильтрации

$$A Y_\infty + Y_\infty A^T - Y_\infty (C_2^T C_2 - \gamma^2 C_1^T C_1) Y_\infty + B_1 B_1^T = 0.$$

Тогда матрица передаточных функций оптимального регулятора

$$K_\infty(s) = \left| \frac{A_\infty}{F_\infty} \right| \left| \frac{-Z_\infty L_\infty}{0} \right|$$

где

$$F_\infty = -B_2^T X_\infty,$$

$$L_\infty = -Y_\infty C_2^T,$$

$$Z_\infty = (I - \gamma - 2Y_\infty X_\infty)^{-1}.$$

Здесь параметр γ такой, что выполняется условие

$$\|T_{zw}\|_{\infty} < \gamma.$$

Рассмотрим применение такого подхода к синтезу двухканальной электромеханической следящей системы [7]. Эквивалентное задающее воздействие формируется от одного источника с формирующим фильтром $V_x(p) = V_x [p(T_x p + 1)]$. Возмущающее воздействие при синтезе системы не учитывается. Минимальное значение дисперсии ошибки двухканальной системы по критерию H^2 составляет $2,1 \cdot 10^{-6}$ рад². Однако при этом величины дисперсий управляющих воздействий и переменных состояния принимают недопустимо большие значения. Учет ограничений на управления и переменные состояния каналов приводит к существенному увеличению дисперсий ошибок как первого канала, так и двухканальной системы в целом составляет соответственно $\bar{\varepsilon}_1^2 = 2,1 \cdot 10^{-5}$ рад², $\bar{\varepsilon}_2^2 = 2,6 \cdot 10^{-6}$ рад². Следует заметить, что эта ошибка в основном определяется помехой измерения ошибки второго канала $f_2(t)$ точнее – отношением интенсивности этой помехи к интенсивности полезного сигнала (отношение сигнал/шум). Помеха измерения $f_1(t)$ ошибки первого канала $\varepsilon_1(t)$ на точность двухканальной системы практически не влияет и определяет только дисперсию ошибки одноканальной системы.

Список литературы: 1. Куценко А.С., Никитина Т.Б. Уточнение параметров нелинейных оптимальных регуляторов каналов многоканальных систем при последовательном синтезе. Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2005. - №59. с.17 – 25. 2. Никитина Т.Б. Синтез приближенно – оптимальных нелинейных систем цифрового управления технологическими процессами с аналитическими нелинейностями. //Автоматизация виробничих процесів. Київ. - 2003. - №2(17). - С.62-65. 3. Никитина Т.Б. Приближенно оптимальное цифровое управление электроприводами с аналитическими нелинейностями. //Вестник НТУ «ХПИ». Сб. научных трудов. Харьков: НТУ «ХПИ». - 2003. - №10. Т1. - С.321-322. 4. Limebeer D., Green M., Walker D. “Discrete Time H^{∞} control” Proc. Of Conf. on Decision and control, Tampa, Fl., Dec. 1989. 5. Khargonekar P., Petersen I., Rotea M.,” H^{∞} optimal control with state feedback “, IEEE Trans. Automat. Contr., AC – 33, pp.783 – 786, 1988. 6. J.Doyle, K. Glover, P.Khargonekar, and B. Francis, “State – space solutions to standard H^2 and H^{∞} control problems”. IEEE Trans. Automat. Contr., AC – 34, no 8. pp.831 – 847, Aug. 1989. 7. Кузнецов Б.И., Никитина Т.Б., Коломиец В.В. Синтез электромеханических систем со сложными кинематическими цепями. Харьков, УИПА.2005. – 511с.

Поступила в редколлегию 09.03.06

А. Е. ГОЛОСКОКОВ, профессор НТУ «ХПИ», *А. В. РУДНИЦКИЙ*, студент НТУ «ХПИ», *Б. В. БОРЦ*, канд. тех. наук, нач. лаб. ННЦ ХФТИ

СТРУКТУРА И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ ПАКЕТОВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛАСТИН

Стаття є наступним етапом НДР після постановки задачі на розробку інтелектуальної системи управління технологічним процесом гарячий прокатки пакетів металевих пластин. В статті розглянута розроблена структура інтелектуальної системи управління, визначені принципи побудови інтелектуальної системи управління та виявлені спосіб представлення знань, метод виводу та стратегія вирішення конфліктних ситуацій. Виявлена необхідність в модифікації деяких типових рішень. Запропоновані зміни реалізовані з метою врахування всіх особливостей поставленої задачі управління.

Введение. Данная работа является этапом выбора метода интеллектуализации системы управления (СУ) согласно [1], где поставлена задача на разработку математического и программного обеспечения интеллектуальной системы управления технологическим процессом горячей прокатки пакетов металлических пластин. Центральное место в поставленной задаче занимает разработка алгоритма контроля и управления.

Обзор литературных источников. В настоящее время в научной литературе [2], в сети INTERNET [3] существуют примеры разработки интеллектуальных систем управления основанных на правилах. Однако это все иллюстративные примеры с малой размерность входов и выходов объекта управления. А также множество проектов [4], в которых использованы определенные оболочки для создания систем управления, но без подробного описания результата разработки. И так, можно сделать вывод, о минимальном опыте подобных разработок и об острой необходимости их проведения.

Постановка задачи. Вакуумная система стана и алгоритм контроля и управления вакуумной системой стана обладают следующими особенностями:

- 1) не существует возможности описать ВС традиционным способом за приемлемое время и приемлемые трудозатраты;
- 2) при управлении ВС используются недостаточно вербализованный и недокументированный опыт технолога;
- 3) поставленная задача трудноформализуема;
- 4) сложный характер взаимосвязи ВС с иными системами СГП;
- 5) при управлении системой нагрева используется терморегулятор, остальными системами СГП управляет технолог;

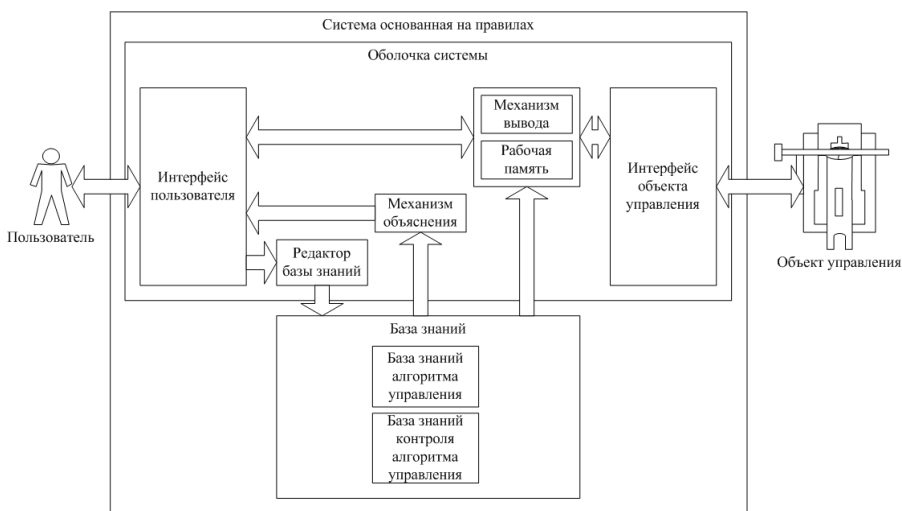
- 6) СУ должна обладать способностями обучаться, адаптироваться к различным условиям, а также должна быть гибкой;
 - 7) существует необходимость идентификации предаварийных ситуаций.
- Перечисленные свойства повлияли не только на необходимость интеллектуализации разрабатываемой СУ, но и на выбор метода интеллектуализации.

Из приведенных особенностей можно сделать вывод, что метод интеллектуализации должен:

- 1) представлять знания на языке близком к естественному;
- 2) обеспечивать рассуждения в символьном виде;
- 3) позволять добавлять вновь приобретенное знание без реорганизации полной совокупности правил вывода.

Следовательно, метод интеллектуализации должен представлять знания в виде «ЕСЛИ - ТО».

Структура, элементы и взаимосвязи интеллектуальной системы. На рис. представлена модифицированная структура интеллектуальной системы управления (ИнСУ). За основу модифицированной взята типичная структура из [5-7].



Модифицированная структура интеллектуальной системы

По сравнению с типичной структурой модифицированная включает следующие элементы: интерфейс объекта управления, объект управления, база знаний контроля алгоритма управления.

Элементами ИнСУ являются:

- 1) Механизм вывода – для данных из Рабочей памяти формирует решение задачи на основании знаний из Базы знаний;
- 2) Рабочая память – краткосрочная память, хранящая входные, выходные и временные данные;
- 3) База знаний – долгосрочная память, хранящая знания необходимые для решения задачи;
- 4) Механизм объяснения – позволяет системе объяснять пользователю полученные решения;
- 5) Редактор базы знаний – позволяет пользователю редактировать Базу знаний;
- 6) Интерфейс пользователя – осуществляет взаимодействие пользователя с системой;
- 7) Интерфейс объекта управления – осуществляет взаимодействие объекта управления с системой;
- 8) Пользователь – человек, управляющий технологическим процессом;
- 9) Объект управления – совокупность технологического оборудования, на которое подаются управляющие воздействия.

Связь Пользователь и Механизм вывода – Рабочая память реализована через Интерфейс пользователя. Двухнаправленная взаимосвязь между Механизмом вывода – Рабочей памятью и Интерфейсом пользователя отражает, что при необходимости Механизм вывода – Рабочая память и Пользователь имеют возможность взаимодействовать и обмениваться информацией. Аналогично и для Объекта управления.

Однонаправленная связь от Базы Знаний через Механизм объяснения и Интерфейс пользователя к Пользователю отображает, что Пользователь может только получить объяснение решения.

Однонаправленная связь от пользователь через Интерфейс пользователя и Редактор базы знаний к База знаний показывает, что Пользователь имеет возможность редактировать База Знаний.

При функционировании Механизм вывода – Рабочая память используют знания из База знаний через однонаправленную связь.

Метод интеллектуализации. В качестве метода интеллектуализации выбрана система, основанная на правилах или продукционная система.

Продукции по сравнению с другими формами представления знаний имеет ряд следующих достоинств:

- 1) модульность – любая продукция может быть размещена в любом месте продукционной системы. Поскольку каждая продукция – это законченный фрагмент знаний о предметной области, то все множество продукций может быть представлено в виде иерархии, соответствующей описанию объекта управления;
- 2) единообразие структуры (схожие компоненты продукционной системы могут применяться для построения систем с различной проблемной ориентацией);

- 3) декларативность, присущая продукционным системам, позволяет легко описывать предметную область. Управление выводом осуществляется с использованием встроенного решателя;
- 4) естественность – вывод заключения в продукционной системе во многом аналогичен процессу рассуждения эксперта;
- 5) независимость продукций делает продукционные системы перспективными для реализации на ЭВМ, в частности, для разработки специализированных параллельных ЭВМ, ориентированных на продукционные правила;
- 6) гибкость родовидовой иерархии понятий, которая поддерживается связями между правилами (изменение правил влечет за собой изменение в их иерархии);
- 7) реактивность – быстрая реакция на изменение данных;
- 8) понимаемость – продукции являются достаточно крупными единицами, интуитивно понятными человеку;
- 9) расширяемость – продукции могут добавляться в базу знаний или модифицироваться в течение длительного времени без изменения структуры базы знаний. Расширяемость является следствием модульности и декларативности.

В общем виде под продукцией понимается выражение следующего вида [8-10]:

$$R_{nj} : (Pr, Bc, A \Rightarrow B, Ac),$$

где R_{nj} – идентификатор j -ой продукции в n -ом наборе продукций; Pr – приоритет правила продукции; Bc – предусловие применимости ядра продукции, представляющее предикат, при выполнении которого активизируется ядро продукции; $A \Rightarrow B$ – ядро продукции; Ac – постусловие продукции, определяющее действия и процедуры, которые необходимы выполнить после выполнения ядра продукции.

В ходе решения задачи Механизм вывода выполняет две задачи – собственно логический вывод и управление выводом.

Логический вывод в продукционных системах не отличается особой сложностью и реализуется на основе процедуры поиска. Существуют различные методы поиска решений. Определим те качества, которыми должен обладать метод поиска:

- 1) порядок выполнения правил должен определяться текущим состоянием обрабатываемых данных;
- 2) подвергать проверке только те правила, которые связаны с этими данными и применимость которых может измениться благодаря изменениям данных.

Перечисленным качествам отвечает Rete-алгоритм [11] и является наиболее эффективным алгоритмом для выполнения производственных систем. Rete – единственный алгоритм для производственных систем, эффективность которого не зависит от количества правил.

Управление выводом в производственных системах предполагает решение двух вопросов [12]:

- 1) с чего следует начинать процесс вывода;
- 2) как поступить, если на некотором шаге вывода возможен выбор различных вариантов его продолжения.

Ответ на первый вопрос приводит к стратегии прямой цепочки рассуждений. Прямой вывод начинается с задания исходных данных решаемой задачи, которые фиксируются в виде фактов в Рабочая память системы.

На второй вопрос ответом являются механизмы разрешения конфликтных ситуаций. Разрешение конфликтов – важная проблема, связанная с управлением порядком применения правил, образующих конфликтное множество. Порядок активизации правил конфликтного множества определяется выбранной стратегией разрешения конфликтов. В данной задаче выбор правила для активизации делает Пользователь.

Описание набора продукции. При разработке Базы Знаний выявлена необходимость разделения на: База знаний правил управления и База знаний контроля правил управления. Необходимость объясняется тем, что нецелесообразно в Базе Знаний правил управления хранить т.н. блокировки. Следовательно, База знаний контроля правил управления будет ограничивать от аварийных ситуаций, а также предупреждать об их потенциальном появлении.

Как было указано выше, в данной задаче применяется производственная модель представления знаний. Согласно данной модели ведется разработка Базы знаний правил управления и Базы знаний контроля правил управления.

Технологический процесс прокатки пакетов металлических пластин проходит в несколько этапов: контроль готовности к пуску; откачка на форвакуум и высокий вакуум; нагрев печи; загрузка заготовки; нагрев заготовки; прокатка заготовки; выгрузка пакета; откачка на форвакуум сборника проката; нормальный останов стана.

При выполнении в этапе нескольких управляющих воздействий необходимо их выполнять последовательно, дожидаясь получения результата воздействия.

Каждый из этих этапов состоит из подэтапов, в которых стан переходит из одного состояния в другое, путем изменения состояния составляющих элементов стана.

Пример правила Базы знаний правил управления представлен в таблице. Выше был рассмотрен общий вид представления правил. В данной задаче

принято решение дополнить антецедент и консеквент ядра продукции состоянием «действие».

Пример правила в производственной системе

Контроль готовности к пуску стана

ПРЕДИКАТ																		
ЕСЛИ																		
AV1(NL1)	AV1(NZ1)	NL2	ND1	VM1		VM2		VM3		VM4		VM5		VM6		VM7		
откр	закр	откр	закр	откр	закр	откр	закр	откр	закр	откр	закр	откр	закр	откр	закр	откр	закр	
выкл	выкл	выкл	выкл		закр		закр		закр		закр		закр		закр		закр	
VE1	VE2	13ВТ3	ВИЦБ		РТ1	РТ2	РТ3	РТ5	РТ6	Руч/Авт	Сирена Н2	200	500	ПВК3	Шторки			
закр	закр	Авария	Инф о диап	Выкл	Авария					Авт					откр	закр		
				Выкл			вкл									закр		
ТОВНВС	ПОВСП	ПОВНВ	ПОВП	Q1	Элиит печи													
						вкл												
ТП	РВ	13ВТ3	ВИЦБ															
ЕСЛИ (действие)																		
ТО																		
AV1(NL1)		NL2		ND1														
вкл	выкл	вкл	выкл	вкл	выкл													
VM1		VM2		VM3		VM4		VM5		VM6		VM7		РТ1	РТ2	РТ3	РТ5	РТ6
откр	закр	откр	закр	откр	закр	откр	закр	откр	закр	откр	закр	откр	закр					
ТО (действие)																		
разрешить выдучу команды на пуск стана																		
ПОСТУСЛОВИЕ																		

Пред пуском стана необходимо провести контроль готовности к пуску. Это условие реализовано в правиле «Контроль готовности к пуску стана».

Данное правило используется для проверки соответствия состояния элементов стана необходимому начальному состоянию.

Необходимость в предусловии (предикате) в этом правиле отсутствует. Антецедент ядра состоит из: Клапана VM1, VM2, VM3, VM4, VM5, VM6, VM7, VE1, VE2 – закрыты; Насосы NL1, NZ1, NL2, ND1 – выключены; Вакуумметр ВИЦБ – выключен; Преобразователь РТ2 – включен; Шторки закрыты; Питание на стан Q1 подано; Активен автоматический режим.

Состояние антецедента «действие» отсутствует. Консеквент отсутствует. Состояние консеквента «действие» – разрешить команду на пуск стана. Постусловие в правиле также не используется.

Если же правило не выполнено, то интеллектуальная система не может начать процесс управления станом горячей прокатки.

Продолжение работы. Следующий этап выполнения НИР – выбор наиболее подходящей системы основанной на правилах для реализации ядра ИнСУ. Выбор будет производиться из следующих систем: JRules, OPS5, CLIPS, JESS, Drools, LISA, ART-IM и ECLIPS. К перечисленным выше свойствам, при выборе системы также будет рассматриваться стоимость системы, кросс-платформенность, возможность функционирования на персональном и промышленном компьютерах. Отдельно следует выделить выбор программного комплекса реализации ИнСУ. Конечной целью НИР является проектирование и реализация ИнСУ СГП ПМП. Также при разработке проекта предполагается использование такой технологии как OPC (OLE for Process Control).

Выводы. В ходе выполнения работы разработана структура ИнСУ, определены принципы построения ИнСУ и выявлены способ представления знаний, метод вывода и стратегия разрешения конфликтных ситуаций. Разработанная структура является модифицированной по отношению к типичной. Модификации учитывают все отличительные и уникальные особенности задачи. В ходе работы выявлены этапы и подэтапы функционирования стана, что позволит сгруппировать совокупность всех правил. В ряде публикаций и проектов выявлены недостатки систем, основанных на правилах. Изучение подобных материалов позволит их избежать в разрабатываемой интеллектуальной системе управления технологическим процессом горячей прокатки пакетов металлических пластин.

Список литературы: 1. *Голоскоков А.Е., Рудницкий А.В.* Разработка математического и программного обеспечения интеллектуальной системы управления технологическим процессом горячей прокатки пакетов металлических пластин // Вестник НТУ «ХПИ». Харьков: НТУ «ХПИ» – 2005. – №59 – С. 37-42. 2. *Джонс М.Т.* Программирование искусственного интеллекта в приложениях. М.: ДМК Пресс, 2004. 312 с. 3. Учебный курс: Интеллектуальные робототехнические системы. Практическая разработка экспертной системы управления технологическим процессом на базе экспертной системы-оболочки CLIPS// Интернет университет информационных технологий - <http://www.intuit.ru/>. 4. CLIPS Application Abstracts// Официальный сайт CLIPS - <http://www.ghg.net/clips>. 5. *Бондарев В.Н., Аде Ф.Г.* Искусственный интеллект. Севастополь: СевНТУ, 2002. 615 с. 6. *Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н.* Интеллектуальные информационные системы: Учебник. М.: Финансы и статистика, 2004. 424 с. 7. *Гаскаров Д.В.* Интеллектуальные информационные системы: Учеб. для вузов. М.: Высшая школа, 2003. 413 с. 8. Искусственный интеллект [В 3-х кн.]. – Кн.2. Модели и методы: Справочник/ Под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Радио и связь, 1990. 304 с. 9. *Бондарев В.Н., Аведов Д.В.* Среда для интеллектуальной обработки сигналов// Вестн. СевГТУ: Сб. науч. тр. – Севастополь, 1997. Вып. 5. С. 12-16. 10. *Бондарев В.Н., Виленчик Д.В., Гольденберг С.В.* Информационная технология построения математических моделей объектов// Электронное моделирование. – 1992. - №2 – С. 31-40. 11. *Forgy C.L.* Rete: A Fast Algorithm for the Many Pattern/Many Object Pattern Match Problem// Artificial Intelligence. 1982. №19. P. 17-37. 12. *Бакаев А.А., Грищенко А.А.* Экспертные системы и логическое программирование. К.: Наук. Думка, 1992. 220 с.

Поступила в редколлегию 21.03.06

А.С. БАБІЙ, О.Ф. ЛАНОВИЙ, канд. техн. наук

СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗЛОЧИННОСТІ

В статті пропонується метод побудови моделей, в яких враховуються суттєві фактори і не враховані неістотні, що визначають злочинність в конкретний інтервал часу в окремому регіоні. Використовуючи доступні статистичні дані по регіонах в статті приведені приклади використання поданих моделей.

Якщо взяти за основу постулат, згідно якого злочинність є соціальним явищем і не може розвиватися окремо від суспільства, тоді будь-які зміни в економічній, політичній, соціальній сфері спричиняють певну реакцію в суспільстві, в тому числі і кримінальній складовій.

Така ідея закладена в кримінальному та кримінально-процесуальному кодексах, де сказано про обов'язок слідчого виявити умови, які сприяють скоєнню злочину, а також необхідність врахування висновків правоохоронних установ органами державної влади [1].

Для реалізації цих функцій на регіональних рівнях в системі правоохоронних органів створено підрозділи, які працюють над визначенням розвитку злочинності і створенням прогнозів.

Стан злочинності залежить від багатьох факторів які визначають суспільне життя. В різні моменти часу та на різних територіях одні й ті ж фактори впливають по різному на кримінальну ситуацію. Тому однією з найважливіших проблем аналітичного дослідження кримінологічної складової є визначення суттєво впливаючих факторів для побудови моделі злочинності. Від цього залежить складність і точність створеної моделі і відповідно якість висновків експерта про розвиток злочинності в конкретному регіоні.

Створенню методу для побудови моделей, в яких враховуються суттєві фактори і не враховані неістотні, що визначають злочинність в конкретний інтервал часу в окремому регіоні, присвячена дана робота.

В органах внутрішніх справ ведуться обліки злочинів і злочинців, які можуть бути використаними для аналізу злочинності, зокрема для побудови вказаних моделей [2]. Облікові дані можна подати у вигляді динамічного ряду:

$$Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_k),$$

де $Y_i, i = \overline{1..n}$ - сумарна кількість скоєних злочинів, або окремих видівх для i -го моменту часу.

Позначимо сукупність факторів, які впливають на злочинність:

$$\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_k),$$

де k – кількість факторів. Кожний з факторів приймає декілька значень, тому сукупність факторів (факторний простір) можна подати у матричній формі:

$$X = \{x_{ij}\}, \text{ де } i = \overline{1, n}, j = \overline{1, k}.$$

Серед множини факторів існують такі, що істотно впливають на зміну значення функції, і такі, що впливають несуттєво. Необхідно знайти такий вектор $\vec{x}' = (x_1, x_2, \dots, x_m), m < k$, варіабельність якого б вичерпував всю, або мала б максимально можливу варіабельність початкових показників стосовно результуючої функції. Цього можна досягнути, використовуючи кореляційний аналіз.

Кореляційна залежність визначається різними параметрами, серед яких найбільше поширення одержали показники, які характеризують взаємозв'язок двох випадкових величин (парні показники): кореляційний момент, коефіцієнт кореляції.

Оцінка кореляційного моменту[3] (коефіцієнта коваріації) двох варіант x_j і x_k обчислюється за початковою матрицею X :

$$\xi_{jk} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \mu_1(x_j))(x_{ik} - \mu_1(x_k))$$

Цей показник незручний для практичного застосування, оскільки має розмір, який дорівнює добутку розмірів варіант і за його величиною важко судити про залежність параметрів.

Тому для оцінки залежності двох випадкових величин використовується коефіцієнт кореляції r_{jk} , який для нормованих випадкових величин дорівнює:

$$\rho_{jk} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_{ij} u_{jk}$$

Перехід до нормованих випадкових величин здійснюється за формулами:

$$u_{ij} = (x_{ij} - \mu_{1j}) / \sigma_j,$$

де μ_{1j} - вибіркова середня, σ_j - середнє квадратичне відхилення для кожного фактора.

Коефіцієнт ρ_{jk} характеризує значимість лінійного зв'язку між випадковими величинами (параметрами):

- при $\rho_{jk} = 1$ значення u_{ij} і u_{ik} збігаються, тобто значення параметрів приймають однакові значення. Інакше кажучи, має місце функціональна залежність: знаючи значення одного параметра, можна однозначно вказати значення іншого параметра[4];

- при $\rho_{jk} = -1$ величини u_{ij} і u_{ik} приймають протилежні значення. І в цьому випадку має місце функціональна залежність;

- при $\rho_{jk} = 0$ величини u_{ij} і u_{ik} практично не зв'язані одна із одною лінійним співвідношенням. Це не означає відсутності інших (наприклад, нелінійних) зв'язків між параметрами;

- при $|\rho_{jk}| > 0$ і $|\rho_{jk}| < 1$ однозначного лінійного зв'язку величин u_{ij} і u_{ik} немає. І чим менша абсолютна величина коефіцієнта кореляції, тим меншою мірою за значеннями одного параметра можна знайти значення іншого.

Використовуючи поняття коефіцієнта кореляції, матриці експериментальних даних X можна поставити у відповідність квадратну матрицю оцінок коефіцієнтів кореляції (кореляційну матрицю):

$$\rho = \begin{vmatrix} \rho_{11} & \rho_{12} & \dots & \rho_{1m} \\ \rho_{21} & \rho_{22} & \dots & \rho_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \rho_{m1} & \rho_{m2} & \dots & \rho_{mm} \end{vmatrix}$$

Оцінка коефіцієнта кореляції, знайдена за обмеженою вибіркою, практично завжди відрізняється від нуля. Але з цього не випливає, що коефіцієнт кореляції генеральної сукупності також відмінний від нуля. Потрібно оцінити значимість вибіркової величини коефіцієнта кореляції або, відповідно до постановки задач перевірки статистичних гіпотез, перевірити гіпотезу про рівність нулю коефіцієнта кореляції. Якщо гіпотеза H_0 про рівність нулю коефіцієнта кореляції відхиляється, то вибіркового коефіцієнта значимий, а відповідні величини зв'язані лінійним співвідношенням. Якщо гіпотеза H_0 приймається, то оцінка коефіцієнта не значима, і величини лінійно не зв'язані одна із одною (якщо з інших міркувань фактори можуть бути зв'язаними, то краще говорити про те, що за наявними експериментальними даними цей взаємозв'язок не встановлений).

За критерій перевірки нульової гіпотези H_0 застосовується випадкова величина

$$t = \frac{|\rho_{ik}| \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-\rho_{ik}^2}}$$

Якщо модуль коефіцієнта кореляції відносно далекий від одиниці, то величина t при справедливості нульової гіпотези розподілена за законом Стюдента з $n-2$ степенями свободи. Конкуруюча гіпотеза H_1 відповідає твердженню, що значення ρ_{jk} не дорівнює нулю (більше або менше нуля).

Перевірка гіпотези H_0 про рівність нулю коефіцієнта парної кореляції двовимірної нормально розподіленої випадкової величини здійснюється в такій послідовності:

- обчислюється значення статистики t ;
 - при рівні значимості α для двосторонньої критичної області визначається критична точка розподілу Стьюдента $t_{кр}(n-2; \alpha)$;
 - порівнюється значення статистики t із критичним значенням $t_{кр}(n-2; \alpha)$.
- Якщо $t < t_{кр}(n-2; \alpha)$, то немає підстав відхиляти нульову гіпотезу, інакше гіпотеза H_0 відхиляється (коефіцієнт кореляції значимий).

Коли модуль величини ρ_{ik} близький до одиниці, розподіл ρ_{ik} відрізняється від розподілу Стьюдента, оскільки значення $|\rho_{ik}|$ обмежено праворуч одиницею. В цьому випадку застосовується перетворення

$$y_{ik} = 0,5 \ln \frac{1 + |\rho_{ik}|}{1 - |\rho_{ik}|}$$

Величина y_{ik} не має зазначеного обмеження, вона при $n > 10$ розподілена приблизно нормально з центром

$$\mu_1(\rho_{ik}) = 0,5 \ln \frac{1 + |\rho_{ik}|}{1 - |\rho_{ik}|} + 0,5 \frac{|\rho_{ik}|}{n-1}$$

і дисперсією

$$\mu_2(\rho_{ik}) = s_2(\rho_{ik}) = \frac{1}{n-3}$$

Розглянемо приклади застосування кореляційного аналізу для розв'язання задач ОВС. Дані (кількість злочинів) в умовних одиницях на 10 тис. населення для Донецької області подані поквартально на графіку (рис.1). Інші дані подаються в табл. 1 [5, 6].

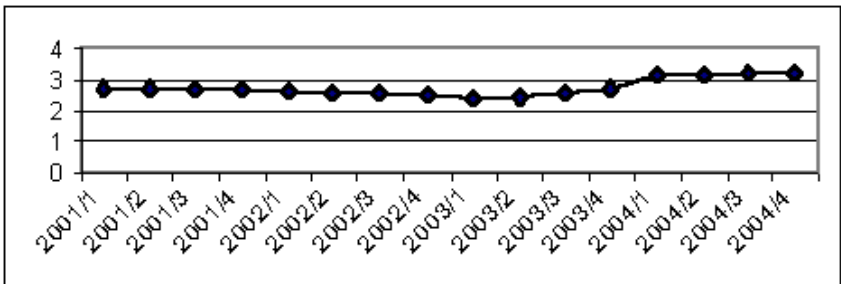


Рис. 1. Динаміка злочинності в Донецькій області.

Таблиця 1.
Статистичні дані (Донецька область)

	2000	2001	2002	2003
Коеф. мігр. приросту	-1,3	-1,7	-2	-1
Шлюбність	5	5,9	6,1	7,2
Розлучуваність	4,7	4,1	4,1	3,7
Кількість зайнятого населення	2176,5	2101,4	2103,9	2129
Безробіття	231,7	241,6	218,3	183,9
Не зайняті трудовою діяльністю	97,9	74,9	78,4	72,9
Вимушена неповна зайнятість	13,5	6,6	3,8	1,9
Неповний робочий день	10,1	8,1	9	6,4
Сер. зар. плата	292	383	452	550
Житловий фонд	98614	99447	100504	100630
Кількість студентів	350	386	410	441
Кількість ВНЗ	94	93	93	93

Утворимо початкову матрицю $X=(x_{ij})$, яка складається з місячних відомостей про кількість злочинів, та інших даних, приведених у табл. 1. У цій матриці рядок i визначає фактор, а стовпчик j визначає значення фактора в j -му місяці. Матриця X нормується. Оцінки коефіцієнтів кореляції (табл. 2) знаходяться зі співвідношень:

$$\rho_{1k} = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} u_{1i} u_{ki} .$$

Таблиця 2.
Значення коефіцієнтів кореляції і критерію Стьюдента.

	Коеф. корр	t-критерій
Коеф. мігр. приросту	0,955695	2,29577061
Шлюбність	-0,84266	1,10662442
Розлучуваність	0,738408	0,77427099
Кількість зайнятого населення	0,718329	0,73010316
Безробіття	0,735633	0,76791502
Не зайняті трудовою діяльністю	0,635783	0,58243957
Вимушена неповна зайнятість	0,897888	1,44222769
Неповний робочий день	0,356742	0,27002152
Сер. зар. плата	-0,9566	2,32110007
Житловий фонд	-0,98904	4,73725281
Кількість студентів	-0,94557	2,05465668
Кількість ВНЗ	0,738408	0,77427099

- Критичне значення критерію Стьюдента при $\alpha = 0,15$ дорівнює 1,46.
 Статистика критерію більша за критичне значення для таких факторів:
- Житлового фонду
 - Середньої заробітної плати
 - Міграційного приросту населення.
 - Кількість студентів.

Таким чином, при побудові моделі злочинності в даному регіоні вищевказані фактори є значущими (коefficient кореляції не дорівнює нулю), а інші коefficientи при факторах варто визнати рівними нулю.

Кримінологічні дослідження також відносять вищевказані фактори до числа тих, що найбільше впливають на злочинність [1].

Розглянемо аналогічні статистичні дані по Вінницькій області (рис. 2, табл. 3) [5, 6].

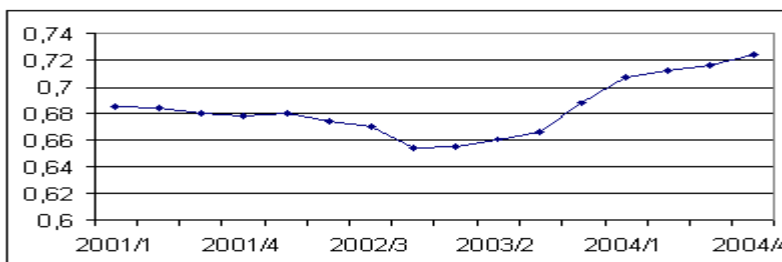


Рис. 2. Динаміка злочинності в Донецькій області.

Таблиця 3.

Статистичні дані (Вінницька область)

	2000	2001	2002	2003
Чисельність населення	1811	1791	1772,4	1753,9
Коеф. мігр. приросту	-2,6	-3,4	-1,1	-1,6
Шлюбність	5,8	6,3	6,6	7,6
Розлучуваність	3,3	3,3	3,6	3,5
Кількість зайнятого населення	833	792,1	799	826,7
Безробіття	83,4	85,7	71	49,2
Не зайняті трудовою діяльністю	40,3	41,6	36,7	31,8
Вимушена неповна зайнятість	19,2	8,1	6,1	3,5
Неповний робочий день	10,9	14,2	15,9	16,1
Сер. зар. плата	159	215	265	334
Житловий фонд	42994	43116	43486	43363
Кількість студентів	270	291	310	399
Кількість ВНЗ	31	31	31	33

Оцінки коефіцієнтів кореляції приведені в табл. 4.

Таблиця 4.

Значення коефіцієнтів кореляції і критерію Стьюдента.

	Коеф. корр	t-критерій
Коеф. мігр. приросту	-0,86125	1,19838567
Шлюбність	-0,88536	1,34658305
Розлучуваність	-0,98323	3,81197189
Кількість зайнятого населення	0,521649	0,43234751
Безробіття	0,946247	2,06866662
Не зайняті трудовою діяльністю	0,903741	1,49281395
Вимушена неповна зайнятість	0,750745	0,80360783
Неповний робочий день	-0,86638	1,22678269
Сер. зар. плата	-0,93129	1,80775379
Житловий фонд	-0,99838	12,3947361
Кількість студентів	-0,93267	1,82825211
Кількість ВНЗ	0,0001	0,10212201

Критичне значення критерію Стьюдента при $\alpha = 0,15$ дорівнює 1,46.

В цьому випадку статистика критерію більша за критичне значення для таких факторів:

- Житлового фонду
- Розлучуваність
- Безробіття
- Кількість не зайнятих трудовою діяльністю
- Середня заробітня плата
- Кількість студентів

Відповідно, можна зробити висновки про те, що в данному випадку при побудові моделі необхідно врахувати ці фактори як значущі, а інші визнати такими, що не здійснюють суттєвого впливу на злочинність в данному регіоні.

Список літератури: 1. Иншаков С.М. Криминология, Учеб.- М.: Юриспруденция, 2000. 426с. 2. Бодянский Е.В., Ивашенко П.А., Яковлев С.В., Червяков И.М. Правовая статистика. Харьков, УВД. 1996. 98 с. 3. Дронов С.В. Многомерный статистический анализ, Барнаул: изд-во алтайского гос. университета, 2003, 213 с. 4. Булашев С.В. „Статистика” М.: Компания Спутник+ , 2003, 245с. 5. Статистичний бюлетень мін. статистики України // 2003-2005р. 6. Статистичний довідник „Регіони України” К.: 2000, т.1, 546 с.

Надійшла до редколегії 10.05.06

Ю.Н. КОВАЛЕВ, д-р техн. наук, **А.Ю. НИЦЫН**, канд. техн. наук

**ГЕОМЕТРИЯ ПСИХОФИЗИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА И
КОМПЬЮТЕРНЫЙ СИМУЛЯТОР «ВИРТУАЛЬНАЯ СФЕРА»**

Запропоновано проект комп'ютерного тренажера «виртуальна сфера», де візуальна інформація формується у вигляді тривимірного зображення на основі геометрії психофізичного простору.

The project of computer simulator “virtual sphere”, where the visual information is deduced as the three-dimensional image, which is based on the geometry of psychophysical space geometry, is offered.

Постановка проблеми. Одним из направлений развития компьютерных игр и симуляторов является применение трехмерных изображений для создания визуальной среды, в которой действуют оператор, управляющий сложной технической системой. В настоящее время трехмерные изображения формируются за счет стереоскопического эффекта, который стимулируется двумя картинками, выводимыми на левый и правый мониторы шлема-маски. Однако данному способу построения трехмерных изображений присущи следующие недостатки: во-первых, пользование шлемом-маской создает неудобства в работе оператора из-за ограничений свободы движений во время управления транспортным средством; во-вторых, наблюдение стереоскопического эффекта требует от оператора определенных знаний и опыта, что также затрудняет погружение в виртуальную реальность. Таким образом, разработка методов получения трехмерных изображений, которые можно наблюдать без применения таких специальных технических приборов, как шлем-маски или стереоскопических очков, является актуальной задачей.

Анализ последних исследований. Например, сейчас в NASA и Массачусетском технологическом институте разрабатывается проект компьютерного симулятора под названием «виртуальная сфера». Симулятор представляет собой сферический купол, внутри которого создается визуальная среда, образованная трехмерными изображениями геометрических объектов, которые можно рассматривать с разных точек зрения и даже потрогать руками. Более того, оператор может не только наблюдать изображения трехмерной сцены, но и перемещаться внутри сферического купола, причем визуальная среда реагирует на каждое движение оператора и принимает образ геометрических объектов, которые оператор видит в данном направлении взгляда.

Постановка задачи исследования. Применим голографию для создания трехмерной визуальной среды, заключенной внутри «виртуальной сферы». Выбор голографии объясняется тем, что, поскольку изображения объектов, помещенные внутри «виртуальной сферы», изменяются в режиме реального времени, наиболее эффективным способом построения динамичной

визуальной среды является метод реконструкции волнового фронта. Рассмотрим рис.1, на котором показана принципиальная схема регистрации оптической голографии. Поток когерентного света, создаваемый с помощью лазера, преобразуется после прохождения линзы в световой луч, волновой фронт которого представляет собой серию плоскостей, перпендикулярных направлению луча. Вслед за тем плоский световой фронт разделяется на два потока: один поток направляется непосредственно на объект, а другой поток с помощью зеркала направляется на фотографическую пластину. Свет, отраженный от регистрируемого объекта, также попадает на фотографическую пластину и при его взаимодействии с опорным лучом, отраженным от зеркала, образует интерференционную картину. Эта интерференционная картина регистрируется фотоэмульсионным слоем пластины, и после проявления и фиксации фотографического изображения пластина превращается в оптическую голограмму [1, 2, 3].

Эта схема раскрывает принципы построения «виртуальной сферы». Однако реализация проекта требует применения голограммы, синтезируемой с помощью электронно-вычислительной машины. Выбор цифровой голографии обуславливается тем, что поскольку движения оператора невозможно предусмотреть, изображения трехмерной сцены изменяются произвольным образом. Отсюда следует, что нельзя приготовить необходимые голограммы обычным способом, состоящим в фотографировании интерференционной картины, и поэтому наиболее эффективным методом фиксации волнового фронта является цифровая голография, позволяющая создавать голограммы в режиме реального времени с помощью электронно-вычислительной машины. Одной из проблем создания «виртуальной сферы» является преобразование евклидова пространства в пространство конечного объема, заключенное внутри сфероидальной оболочки. Сейчас эта проблема решается посредством создания неглубоких аксонометрических изображений. Однако эта модель не дает удовлетворительного решения, потому что представляет собой отсек евклидова пространства, который невозможно разместить внутри сфероидальной оболочки.

Положим в основу «виртуальной сферы» геометрическую модель психофизического пространства, под которым понимается трехмерный образ объективного пространства, отражающий зрительные ощущения человека и существующий в его сознании. Действительно, наблюдатель видит, будто он находится в центре сфероидального купола, который опирается на чашеобразную земную поверхность. Это значит, что психофизическое пространство имеет конечный объем и является пространством положительной кривизны. Отсюда следует, что психофизическое пространство – это риманово пространство с заданным полем метрического тензора, компоненты которого образуют положительно определенную квадратичную форму [4, 5].

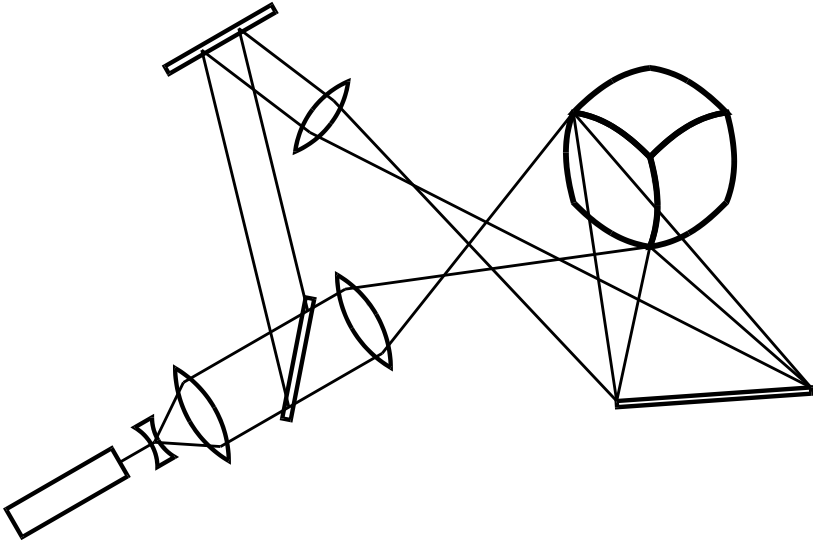


Рис.1

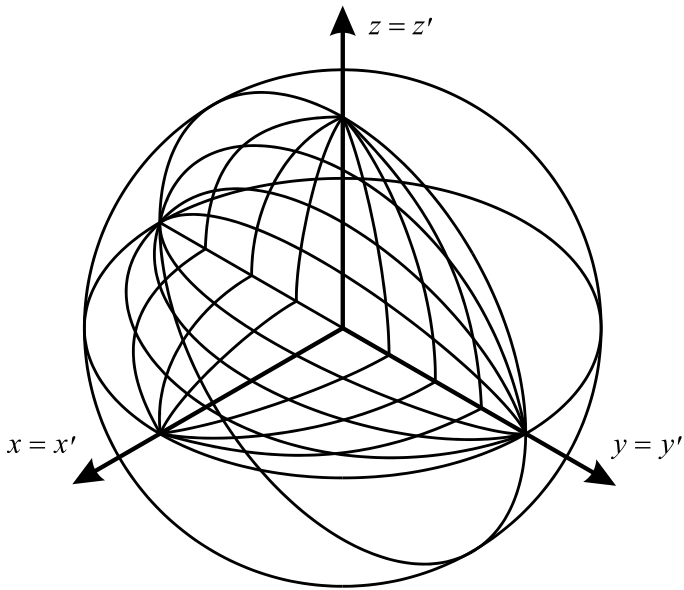


Рис.2

В прикладной геометрии существует несколько способов построения трехмерных изображений, например, рельефная и театральная перспективы. Однако эти виды изображений представляют собой трехмерный объем, который заключен в узкой бесконечной полосе, образованной двумя параллельными плоскостями, а именно: плоскостью картины и плоскостью, проходящей через точку схода прямых, перпендикулярных в объективном пространстве картинной плоскости. Отсюда следует, что рельефная и театральная перспективы не образуют римановых пространств положительной кривизны и поэтому не могут рассматриваться в качестве геометрической модели, с помощью которой вычисляется трехмерная визуальная среда «виртуальной сферы».

Таким образом, трехмерное изображение, помещенное внутри «виртуальной сферы», должно быть геометрической моделью психофизического пространства, обладающей свойствами риманова пространства положительной кривизны.

Основной раздел. Рассмотрим задачи, которые необходимо решить при проектировании «виртуальной сферы». Как было сказано выше, сущность «виртуальной сферы» составляет визуальная среда, которая воспроизводит психофизические условия зрительного восприятия. Применение цифровой голографии для создания визуальной среды предусматривает решение следующих задач:

разработка геометрической модели психофизического пространства, которая соответствует геометрическим свойствам римановых пространств положительной кривизны;

вычисление интерференционной картины методом преобразования Фурье поля световых волн, отраженных от объектов, погруженных в геометрическую модель психофизического пространства;

формирование фазовой голограммы посредством подачи видеосигнала на матрицу прозрачных электродов, закрепленных на пластинах, выполненных из электрострикционного материала;

воспроизведение трехмерного изображения геометрической модели психофизического пространства посредством освещения голограммы, на которой запечатлена интерференционная картина, синтезированная с помощью электронно-вычислительной машины.

Рассмотрим проблему геометрического моделирования психофизического пространства. Выполним преобразование евклидова пространства E^3 в себя. При этом связь между координатами x, y, z точки M пространства E^3 и координатами x', y', z' точки пространства V^3 описывается следующей системой уравнений [5]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{x'}{R} &= \cos \frac{y'}{R} \cos \frac{z'}{R} \operatorname{arctg} \frac{x}{R} \\ \frac{y'}{R} &= \cos \frac{x'}{R} \cos \frac{z'}{R} \operatorname{arctg} \frac{y}{R} \\ \frac{z'}{R} &= \cos \frac{x'}{R} \cos \frac{y'}{R} \operatorname{arctg} \frac{z}{R} \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где R – радиус кривизны пространства V^3 .

Представим графическую интерпретацию данного преобразования. Рис.2 показывает, что пространство V^3 заключено внутри замкнутой поверхности Φ , натянутой на концы векторов, коллинеарных базисным векторам евклидова пространства E^3 . Длины векторов равны $\frac{x'}{R} = \pm \frac{\pi}{2}$, $\frac{y'}{R} = \pm \frac{\pi}{2}$, $\frac{z'}{R} = \pm \frac{\pi}{2}$. При этом точки поверхности Φ не принадлежат пространству V^3 .

Таким образом, пространство V^3 является римановым пространством, кривизна которого монотонно уменьшается по мере приближения к началу криволинейной системы координат. Отсюда следует, что пространство V^3 , описываемое системой уравнений (1), можно рассматривать как геометрическую модель психофизического пространства, которая, как было показано выше, является основой для разработки визуальной среды «виртуальной сферы».

Рассмотрим синтез голограммы с помощью электронно-вычислительной машины. Раскроем сущность цифровой голографии на примере построения голограммы плоского изображения. Заменяем трехмерный геометрический объект на его изображение на плоскости. Например, плоское изображение объекта можно получить по законам геометрической оптики посредством фокусировки света, отраженного от объекта, на плоскости с помощью собирающей линзы. Таким образом, распределение амплитуды и фазы в точках поверхности объекта заменяется на распределение амплитуды и фазы в точках плоскости, перпендикулярной оптической оси линзы [6, 7].

Функция, описывающая распределение амплитуды и фазы в плоскости синтезируемой голограммы, представляет собой результат преобразования Фурье, который имеет следующий вид

$$g(x_1, y_1) = \frac{1}{\lambda f} \iint_{\infty} h(x, y) \exp\left(\frac{2\pi i}{\lambda f} (xx_1 + yy_1)\right) dx dy, \quad (2)$$

где $h(x, y)$ – комплексная функция, описывающая распределение амплитуды и фазы светового поля, отраженного от объекта, в плоскости, касательной объекту и параллельной плоскости синтезируемой голограммы; λ – длина

волны когерентного источника света; f – фокусное расстояние линзы, выполняющей преобразование Фурье.

Преобразование (2) переводит точку, лежащую в плоскости изображения объекта, с координатами x, y в точку плоскости голограммы с координатами x_1, y_1 . Покажем на рис.3 схему построения синтетической голограммы объекта с помощью двумерного преобразования Фурье. Введем обозначения: S – источник когерентного света; S_0 – источник света, формирующий опорную волну; Π – плоскость, на которой фокусируется световое поле, отраженной от объекта; Γ – плоскость, на которой формируется голограмма; L – линза, осуществляющая двумерное преобразование Фурье.

Введем в плоскости Π изображение, полученное фокусировкой световых волн, отраженных от объекта, и обозначим функцию $E(x, y)$, описывающую распределение интенсивности отраженного света. Совместим плоскость изображения Π и плоскость голограммы Γ с фокальными плоскостями линзы L и завершим построение схемы синтеза голограммы с помощью электронно-вычислительной машины.

Найдем выражение для функции $h(x, y)$, описывающей комплексное световое поле, которое образовывается в результате прохождения волн, излучаемых источником света S , сквозь расположенное в плоскости Π изображение объекта. Эта функция соответствует функции, над которой линза L выполняет двумерное преобразование Фурье. Как следует из рис.4, функция $h(x, y)$ задана двумя составляющими: полем, исходящим от источника опорного света, и полем, образованным световыми волнами, прошедшими сквозь транспарант с изображением объекта

$$h(x, y) = A_0 \delta(x, y) + E(x - x_0, y - y_0),$$

где A_0 – амплитуда волны, излучаемой точечным источником света S_0 ; $\delta(x, y)$ – двумерная функция Дирака; x_0, y_0 – координаты, которые определяют смещение центра изображения объекта относительно начала декартовой системы координат, введенной в плоскости Π .

Рассмотрим воспроизведение результатов расчета синтетической голограммы. Представим голограмму в виде изображения, нанесенного на прозрачную пленку и пропустим сквозь транспарант пучок света. Преобразуем элементы изображения в электрические сигналы, величина которых определяется интенсивностью или амплитудой волны света, распространяющегося от данного графического элемента голограммы. Направим видеосигнал на матрицу прозрачных электродов, закрепленную на смежных поверхностях пластины из электрострикционного материала, и получим оптический элемент для регистрации фазовой голограммы. Принципиальная схема оптического элемента показана на рис.4.

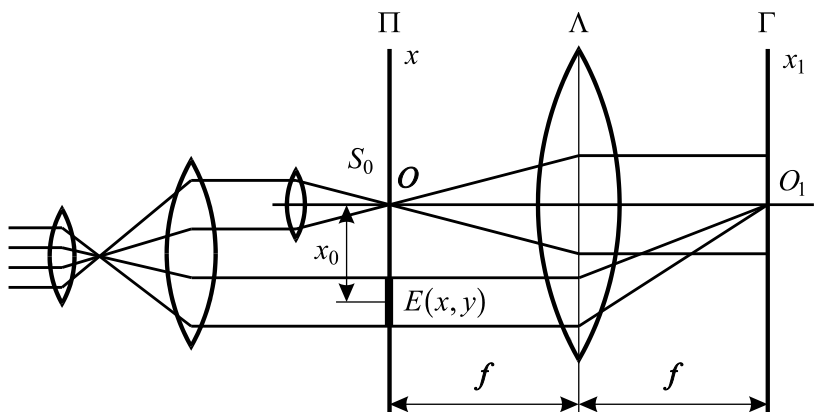


Рис.3

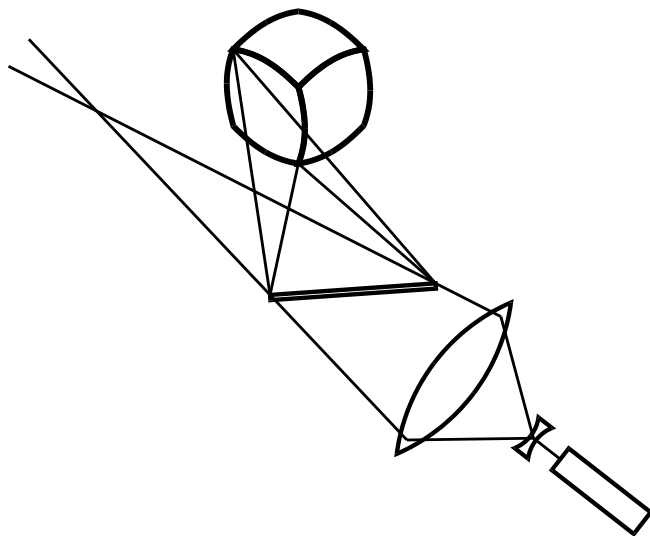


Рис.4

При регистрации фазовой голограммы видеосигнал, который несет информацию о координатах графического элемента интерференционной картины, поступает на горизонтальный и вертикальный элементы матрицы электродов. Разряд электричества изменяет толщину пластины электрострикционного материала в точке пересечения горизонтального и вертикального электродов, и в соответствии с толщиной материала в точке пересечения изменяется фаза отраженной световой волны.

Следовательно, при восстановлении изображения фаза опорного волнового фронта изменяется при переходе от одной точки к другой точке поверхности голограммы. Результатом прохождения опорного волнового фронта сквозь голограмму является формирование поля световых волн, которое в точности воспроизводит поле световых волн, отраженных от геометрического объекта. Рассмотрим воспроизведение трехмерного изображения методом реконструкции волнового фронта. Формирование изображений без aberrаций, изменений размеров или искажений возможно при условии, что при записи и восстановлении голограммы применяется свет, который имеет одну и ту же длину волны. Кроме того, необходимо, чтобы направление распространения и форма волнового фронта, подающего на голограмму при восстановлении изображения, в точности соответствовали опорному волновому фронту, который использовался при записи голограммы, или комплексно-сопряженному потоку света. При этом комплексно-сопряженным называется волновой фронт, который имеет одинаковую форму с исходным световым пучком, но распространяется в противоположном направлении [8, 9].

Принципиальная схема восстановления действительного изображения приведена на рис.5. Как показано на рис.5, луч света, испускаемый лазером, преобразуется в поток плоских световых волн, который направляется на фазовую голограмму и после ее прохождения формирует в пространстве трехмерное изображение, соответствующее исходному объекту. Реализация этой схемы осложняется наличием проблемы, которая заключается в том, что наблюдение действительного изображения осуществляется значительно труднее, чем мнимого или сопряженного изображения. Одним из решений этой проблемы является окрашивание внутренней поверхности «виртуальной сферы» в совершенно черный цвет, который поглощает световые волны, падающие на внутреннюю поверхность, и выделяет сформированное из сходящихся световых фронтов изображение. Кроме того, можно использовать при регистрации и реконструкции изображения пучок света, частота волны которого принадлежит той части диапазона электромагнитных волн, где находятся самые короткие волны, воспринимаемые глазом человека. Это будет способствовать лучшему рассеянию сходящихся световых фронтов, формирующих изображение, на твердых частицах, взвешенных в воздухе, заполняющем «виртуальную сферу».

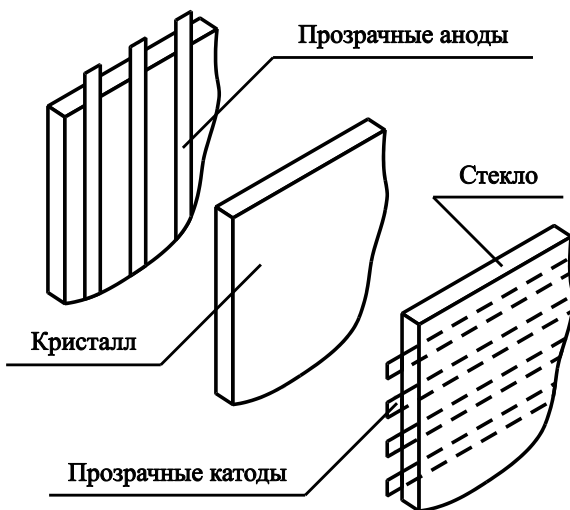


Рис.5

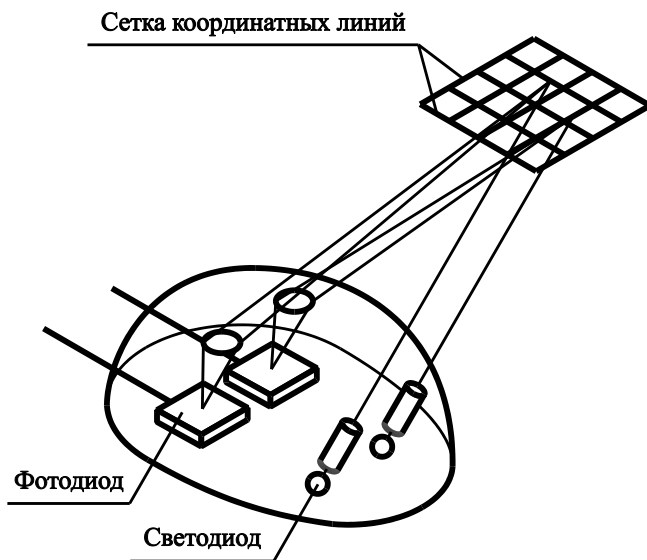


Рис.6

Как было сказано выше, состояние визуальной среды «виртуальной сферы» реагирует на каждое движение оператора. Предположим, что трехмерная картина, заполняющая пространство сфероидальной оболочки, определяется положением головы наблюдателя. Реализация данного проекта состоит в том, что в шлем, надеваемый на голову оператора, монтируются два светодиода, которые излучают лучи света заданных цветов. Лучи света, отраженные от внутренней поверхности «виртуальной сферы», попадают в фотодиоды, которые регистрируют информацию о положении головы оператора в полярной системе координат, привязанной к центру сфероидального купола. Эта информация преобразуется в данные о направлении взгляда наблюдателя, обращенного на геометрические модели объектов, заданные в евклидовом пространстве. Принципиальная схема устройства по определению сферических координат положения головы оператора представлена на рис.6.

Выводы. Предложенные схемы вычисления интерференционной картины, формирования фазовой голограммы и воспроизведения трехмерного изображения основываются на геометрической модели психофизического пространства. Решение задачи преобразования евклидова пространства в риманово пространство положительной кривизны и конечного объема является составной частью математического обеспечения тренажера. Применение в компьютерных симуляторах трехмерных изображений повышает эффективность подготовки персонала к управлению сложными техническими системами.

Список литературы: 1. Оптическая голография: В 2 т. / *Априль Ж., Арсено А. и др.*: Под ред. *Колфилда Г.*: Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – Т.1. – 374 с. 2. Оптическая голография: В 2 т. / *Априль Ж., Арсено А. и др.*: Под ред. *Колфилда Г.*: Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – Т.2. – 735 с. 3. *Милер М.* Голография. Теория, эксперимент, применение: Пер. с чеш. – М.: Машиностроение, 1979. – 207 с. 4. *Ковалев Ю.Н.* Геометрическое моделирование эргатических систем: разработка аппарата. – К.: КМУГА, 1996. – 134 с. 5. *Ницин О.Ю.* Геометрична модель просторової картини світу у свідомості людини // Прикладна геометрія та інженерна графіка: Міжвідомчий науково-технічний збірник. – К.: КНУБА, 1999. – Вип.65. – С. 92-95. 6. *Федоров Б.Ф.* Цифровая голография. Синтез голограмм простейших объектов и восстановление изображений. – М.: Наука, 1976. – 151 с. 7. *Ярославский Л.П., Мерзляков Н.С.* Цифровая голография. – М.: Наука, 1982. – 220 с. 8. *Франсон М.* Голография. – М.: Мир, 1972. – 246 с. 9. *Кольер Р.* Оптическая голография: Пер. с англ. – М.: Мир, 1973. – 680 с.

Поступила в редакцию 20.04.06

АМЕР ТАХСИН САЛАМЕХ АБУ-ДЖАССАР, аспирант,
Е. В. ДУРАВКИН, канд. техн. наук,
Г. Н. ЖОЛТКЕВИЧ, д-р техн. наук, ХНУ имени В. Н. Каразина

ОБ ОДНОЙ ЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ НА БАЗЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ С МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДИНАМИКОЙ

У статті розглянуто підхід до моделювання механізмів доступу до інформаційних ресурсів у розподіленій системі обробки інформації. Запропонований підхід базується на модифікації апарату мереж Петрі та засобів його аналізу (дерева досяжності). Використання розроблених механізмів аналізу розподілених систем дозволить виявляти конфліктні ситуації при використанні інформаційних ресурсів, а також вказувати на послідовність станів системи, що приводять до таких ситуацій.

1. Постановка проблемы

Увеличение сложности задач, решаемых с помощью информационно-вычислительных систем, приводит к необходимости объединения различных вычислительных комплексов в единую систему. Сложность построения систем данного класса связана с комплексом проблем. Среди них необходимо отметить распределенность обработки информации с сохранением ее целостности и использование ограниченного набора ресурсов [1]. Одной из наиболее важных задач является обеспечение эффективного распределения ресурсов между программными процессами системы. Качество решения данной задачи во многом определяет эффективность функционирования системы в целом. Следовательно, разработка качественного программного обеспечения для систем данного класса не возможна без предварительной разработки некой формальной модели.

2. Анализ публикаций, постановка задачи

Сети Петри являются наиболее подходящим формализмом, предназначенным моделирования и анализа различных параллельных и распределенных систем обработки информации [2 – 4]. Однако данному формализму так же присущи некоторые недостатки, не позволяющие полно и глубоко исследовать механизмы распределения ресурсов и поведение системы в условиях конфликта доступа к ресурсам [5]. Следовательно, необходимо рассмотреть возможность расширения аппарата сетей Петри с целью адекватного описания процессов доступа к ресурсам различного типа. Так же необходимо разработать механизмы позволяющие обнаруживать конфликтные ситуации при доступе к ресурсам.

3. Основная часть

Для построения математической модели распределенной обработки информации рассмотрим конечное множество R , элементы которого соответствуют информационным ресурсам. При этом будем считать, что это множество является дизъюнктивным объединением $R = S \sqcup E$ двух подмножеств: S , элементы которого соответствуют информационным ресурсам с общим доступом, и E , элементы которого соответствуют информационным ресурсам с монопольным доступом. Рассмотрим также конечное множество процедур обработки информации, которое мы обозначим T .

Между информационными ресурсами и процедурами обработки данных существует два отношения:

- $\mathbf{IT} \subset R \times T$ – отношение, моделирующее набор утверждений «ресурс является входным для процедуры»;
- $\mathbf{TO} \subset T \times R$ – отношение, моделирующее набор утверждений «процедура модифицирует ресурс».

Таким образом, статическая структура предлагаемой модели задается пятеркой $\langle S, E, T, \mathbf{IT}, \mathbf{TO} \rangle$. На основе предложенной статической модели можно ввести следующие отображения:

- $t \mapsto t^* = \{r \in R \mid (t, r) \in \mathbf{TO}\} \subset R$ – множество выходных данных процедуры t ;
- $t \mapsto t^+ = \{r \in R \mid (r, t) \in \mathbf{IT}\} \subset R$ – множество входных данных процедуры t ;
- $r \mapsto r^* = \{t \in T \mid (r, t) \in \mathbf{IT}\} \subset T$ – множество процедур, использующих ресурс r как входные данные;
- $r \mapsto r^+ = \{t \in T \mid (t, r) \in \mathbf{TO}\} \subset T$ – множество процедур, модифицирующих ресурс r .

Для описания мгновенного состояния модели будем использовать отображение $s \in \{0, 1\}^R$, которые в соответствии с терминологией сетей Петри назовем разметками. При этом равенство $s(r) = 1$ соответствует утверждению: «информационный ресурс был изменен, но это изменение еще не было обработано».

Динамика модели теперь может быть задана оператором на множестве разметок. Для определения оператора динамики нам потребуется ряд технических определений.

Процедуру $t \in T$ будем называть активной для разметки s , если $s|t^+ \equiv 1$. Множество активных процедур для разметки s будем обозначать $\text{active}(s)$.

Содержательно, процедура является активной, если все входные данные для нее были изменены и еще не обработаны.

Процедуру $t \in T$ будем называть заблокированной для разметки s , если она активна для этой разметки и $(\exists r \in E \cap t^+)(\exists t_1 \in r^* \mid t_1 \neq t) \mid t_1^+ \equiv 1$. Множество заблокированных процедур для разметки s будем обозначать $dead(s)$.

Содержательно, активная процедура является заблокированной, если для нее существует монопольный входной ресурс, который также является входным для другой активной процедуры.

В силу определения очевидно, что $dead(s) \subset active(s)$.

Это соотношение приводит к следующему определению.

Процедуру $t \in T$ будем называть эффективной для разметки s , если $t \in active(s) - dead(s)$. Множество эффективных процедур для разметки s будем обозначать $efficient(s)$.

Таким образом, с каждой разметкой s связано подмножество активных процедур, разбитое на пару непересекающихся подмножеств: заблокированных и эффективных процедур.

Определим теперь множество информационных ресурсов, которые будут обрабатываться при заданной разметке s : $IN(s) = \bigcup_{t \in efficient(s)} t^+$. Аналогично

определим множество информационных ресурсов, которые будут изменены при заданной разметке s : $OUT(s) = \bigcup_{t \in efficient(s)} t^*$.

Оператор динамики модели D определяется по формуле:

$$(Ds)(r) = \begin{cases} s(r), & r \notin IN(s) \cup OUT(s) \\ s(r), & r \in IN(s) \cap OUT(s) \\ 0, & r \in IN(s) - OUT(s) \\ 1, & r \in OUT(s) - IN(s) \end{cases} \quad (1)$$

Содержательно изменение данных информационных ресурсов моделируется следующим образом:

- если информационный ресурс не является входом или выходом ни одной эффективной процедуры, то его разметка не меняется;
- не меняется также разметка тех информационных ресурсов, которые являются одновременно входами каких-то эффективных процедур и выходами, возможно, других эффективных процедур (обработка изменения данных произведена, но возникли новые изменения в процессе этой обработки);
- разметка тех информационных ресурсов, которые являются входами каких-то эффективных процедур, но не являются выходами никаких эффективных процедур, устанавливается в нуль (обработка изменения

данных произведена и в ее ходе не возникло новых изменений рассматриваемых информационных ресурсов);

- разметка тех информационных ресурсов, которые являются выходами каких-то эффективных процедур, но не являются входами никаких эффективных процедур, устанавливается в единицу (в результате обработки изменений данных возникли новые изменения данных рассматриваемых информационных ресурсов).

Таким образом, предлагаемая модель является ординарной сетью Петри с модифицированной динамикой. С точки зрения авторов, определяемая оператором D динамика сети является адекватной логической моделью поведения вычислительной системы с распределенной обработкой данных. Эту модель мы будем называть далее сетью Петри с модифицированной динамикой или сокращенно – СПМД.

Естественной структурой на множестве разметок сети Петри с модифицированной динамикой является отношение частичного порядка:

$$s' \leq s'' \Leftrightarrow (\forall r \in R)(s'(r) = 1 \Rightarrow s''(r) = 1). \quad (2)$$

Утверждение 1. Если $s' \leq s''$, тогда $\text{active}(s') \subset \text{active}(s'')$.

Действительно, если $t \in \text{active}(s')$, то $s'|t^+ \equiv 1$, но тогда и $s''|t^+ \equiv 1$, а значит $t \in \text{active}(s'')$.

Утверждение 2. Если $s' \leq s''$, тогда $\text{dead}(s') \subset \text{dead}(s'')$.

Действительно, если $t \in \text{dead}(s')$, то $s'|t^+ \equiv 1$. Следовательно, для некоторого $r_0 \in t^+ \cap E$ найдется $t_1 \in r_0^*$, для которого $s'|t_1^+ \equiv 1$. Тогда для этих же t, t_1, r_0 выполняется $s''|t^+ \equiv 1$ и $s''|t_1^+ \equiv 1$, а это и означает, что $t \in \text{dead}(s'')$.

Модификация динамики сети Петри ориентирована на выявление конфигураций событий обработки данных, которые приводят к блокировке анализируемой системы.

Систему будем считать заблокированной, если $\text{active}(s) \neq \emptyset$ и $\text{dead}(s) = \text{active}(s)$. Следовательно, если в результате работы модели на каком-то из шагов окажется, что система в заблокированном состоянии, то она не сможет дальше продолжать свою работу: $\text{efficient}(s) = \emptyset$, т.е. ни одна из процедур $t \in T$ не сможет выполняться.

На каждом шаге работы модели формируются множества $\text{dead}(s)$ и $\text{efficient}(s)$. Процедуры, принадлежащие множеству $\text{efficient}(s)$, могут быть выполнены на дальнейших шагах работы системы. Процедуры, принадлежащие множеству $\text{dead}(s)$, являются заблокированными и не могут

быть выполнены при дальнейшей работе модели. Следовательно, множество процедур $t \in \text{dead}(s)$ является потерей функциональности системы.

В этой связи интересным является вопрос о возможности выявить данные ситуации без проведения имитационного моделирования, что позволит с одной стороны сэкономить время анализа, а с другой – однозначно выявить последовательности выполнения процедур t , приводящие к блокировке.

Естественным методом решения данной задачи является анализ дерева достижимости.

Изменение динамики функционирования сети Петри, а так же требование к ординарности приведет к модификации алгоритма построения дерева достижимости построенного в [2]. Напомним, что вершины дерева достижимости помечены маркировками. Для формализации алгоритма построения покрывающего дерева введем ряд уточняющих понятий:

1. Терминальной вершиной покрывающего дерева называется вершина, для которой $\text{efficient}(s) = \emptyset$. Множество терминальных вершин V_T является дизъюнктым объединение двух подмножеств: $V_T = V_E \sqcup V_D$. Множество V_E содержит вершины, для которых $\text{active}(s) = \emptyset$. Множество V_D содержит вершины, для которых $\text{dead}(s) = \text{active}(s)$, следовательно, система не может продолжать работу по причине блокировки информационных ресурсов.

2. Внутренняя вершина – вершина, обработанная алгоритмом. Множество внутренних вершин V_V также является дизъюнктым объединение двух подмножеств: $V_V = V_A \sqcup V_B$. Множество V_A содержит вершины, для которых $\text{efficient}(s) = \text{active}(s)$. Множество V_B содержит вершины, для которых: $\text{dead}(s) = \text{active}(s) - \text{efficient}(s) \neq \emptyset$.

Модифицированный алгоритм построения дерева достижимости заключается в следующем.

Построение дерева достижимости начинается с начальной разметки. Начальная разметка определяет граничную вершину, алгоритм обрабатывает только граничные вершины.

Для каждой граничной вершины v выполняется следующий набор действий.

1. Определяется множество $\text{active}(s)$, а так же его составляющие $\text{efficient}(s)$ и $\text{dead}(s)$.

2. Если $\text{efficient}(s) = \emptyset$, то вершина является терминальной. При этом, если $\text{active}(s) = \emptyset$, то вершина включается в множество V_E , в противном случае в множество V_D .

3. Если $\text{efficient}(s) \neq \emptyset$, для данной вершины анализируется маркировка s : в случае если в дереве существует вершина V_v для которой: $\forall v_i(s)=v(s)$, то данная вершина v объявляется дублирующей. В противном случае для каждой процедуры $t \in \text{efficient}(s)$ создается новая вершина v' дерева достижимости. Разметка новой вершины определяется в соответствии с (1).

4. Строится дуга с пометкой выполненной процедуры t_i , направленная от вершины v к вершине v' . Вершина v становится внутренней и включается в множество V_A , если $\text{efficient}(s)=\text{active}(s)$ и в множество V_B в противном случае. Вершина v объявляется граничной.

Алгоритм останавливает работу, когда в дереве не остается граничных вершин.

В результате построения покрывающего дерева сети Петри определяется набор вершин, принадлежащих множествам V_D и V_B . Вершины $v_i \in V_D$, соответствуют состояниям системы, при которых она не может продолжать работу по причине блокировки всех процедур. Вершины $v_i \in V_B$, соответствуют состояниям системы, при которых она утрачивает часть функциональности (некоторые процедуры уже не смогут выполняться).

5. Выводы

В работе показана возможность модификации аппарата сетей Петри. Сеть Петри с модифицированной динамикой позволяет адекватно описать функционирование распределенной системы обработки информации использующей два типа ресурсов (ресурсы с монопольным доступом и ресурсы с общим доступом). Алгоритм построения дерева достижимости для СПДМ позволяет выявить конфигурации событий системы, приводящие к потере функциональности. Таким образом, использование предложенных в работе модификаций сетей Петри, которые включают алгоритм построения дерева достижимости, открывает путь к повышению эффективности анализа распределенных систем обработки информации.

Список литературы: 1. Высокопроизводительные параллельные вычисления на кластерных системах. Материалы международного научно-практического семинара. // Под ред. проф. Стронгина Р. Г. Н. Новгород: Изд-во Нижегородского ун-та, 2002, 217 с. 2. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. –264 с. 3. Таненбаум Э., ван Стен М. Распределенные системы. Принципы и парадигмы. – СПб.: Питер, 2003. – 877 с. 4. Башкин В. А., Ломазова И. А. Подobie обобщенных ресурсов в сетях Петри // Труды второй Всероссийской научной конференции – М.: Издательский отдел факультета вычислительной математики и кибернетики МГУ им. М. В. Ломоносова, 2005. – С. 330-337. 5. Востокин С. В. Метод описания пространственно распределенных параллельных процессов. – СНЦ РАН, 2004. – 84 с.

Поступила в редколлегию 03.04.06

Н. И. БЕЗМЕНОВ, канд. техн. наук, *А. С. БОГАРСУКОВ*, аспирант,
Р. А. ЯВНИКОВ, студент

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕАЛИСТИЧНЫХ ЭФФЕКТОВ ОСВЕЩЕННОСТИ ТРЕХМЕРНЫХ СЦЕН ОБЪЕКТОВ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

У статті розглянуто питання формування реалістичних зображень тривимірних сцен в реальному часі. Аналізуються й порівнюються між собою методи, які базуються на моделі локального та глобального освітлення. На підставі результатів порівняння робляться висновки щодо доцільності використання кожного з них для рішення поставленої задачі.

Постановка задачі. Вероятно, среди всех технологий последнего десятилетия компьютерная графика (КГ) была и остается одной из самых впечатляющих и динамично развивающихся. В настоящее время ее методы интенсивно применяются при разработке рекламных роликов, игровых программ, кинофильмов, а также в научных исследованиях. В частности, большая часть современных разработок в этой области связана с повышением реализма получаемых изображений.

С увеличением мощности платформ, на которых работают графические приложения, растут требования к качеству получаемых изображений. До недавнего времени существовало два основных направления развития КГ:

- 1) направление, основанное на использовании аппаратных средств, предоставляемых платформой для ускорения расчетов преобразований и отображения трехмерных сцен; это позволяет получать высокую скорость процесса рисования сцены ценой лишь приблизительного воспроизведения эффектов глобального освещения;
- 2) направление, ставящее своей целью получение фотореалистичных изображений с корректными эффектами глобального освещения, что обуславливает моделирование физических законов распространения света и в настоящее время не поддерживается существующими платформами на аппаратном уровне; в этом случае ценой высокому качеству изображения является низкая скорость рисования кадра.

Так как перечисленные направления используют принципиально разные методы визуализации, их объединение не представляется возможным [1].

Данная статья исследует возможности применения методов обоих направлений для генерации фотореалистичных изображений в реальном времени.

Методы, использующие модель локального освещения. Как уже было отмечено, основное предназначение методов этой категории – получение изображений в реальном времени. В настоящее время все распространенные

приложения, генерирующие интерактивные изображения трехмерных сцен объектов, используют эти методы.

Все методы этой категории так или иначе используют один алгоритм формирования изображения:

- 1) формирование массива вершин, из которых состоят потенциально видимые объекты, с сопутствующей информацией; это включает в себя преобразование координат, отсечение невидимых поверхностей, составление и сортировка списков полупрозрачных объектов;
- 2) для некоторых объектов формирование карт отражения, теней и других эффектов освещения;
- 3) заливка полигонов, проецирование их на экранную плоскость, финальный тест видимости, сглаживание полученного изображения.

2-й и 3-й этапы алгоритма обычно полностью выполняются на процессоре графического ускорителя (GPU), 1-й – на основном процессоре (CPU). Именно выполнение основной части работы на видеоадаптере позволяет добиваться высокой производительности приложений, использующих данный подход. Однако, в силу особенностей конвейерной архитектуры GPU способен самостоятельно рассчитать цвет отдельной точки, учитывая лишь координаты (характеристики) точки, источников освещения и наблюдателя.

Для приближенного воспроизведения некоторых глобальных эффектов освещения (тени, отражения), используются т.н. карты освещенности, представляющие собой текстуру, в которую дополнительным проходом производится съемка сцены со специфическими настройками (shadow maps для построения теней, cube maps для имитации отражений). Хотя процесс создания этих карт аппаратно поддерживается современными GPU, его невозможно применить ко всем объектам сцены, кроме того, в силу ограниченности размеров и дискретности получаемой карты (текстуры), а также других факторов принципиально невозможно получение физически корректного воспроизведения эффектов глобального освещения этим методом [2-3].

В силу вышеперечисленных ограничений ни одно современное графическое приложение реального времени не реализует корректно эффекты глобального освещения, причем при внимательном рассмотрении дефекты изображения видны невооруженным глазом.

Методы, использующие модель глобального освещения. Существует два основных метода моделирования глобальных эффектов освещения:

- 1) метод трассировки лучей;
- 2) метод диффузного отражения.

Метод трассировки лучей основан на расчете траекторий движения лучей света между источниками освещения и наблюдателем согласно законам геометрической оптики. Это относительно простая (идейно), мощная и расширяемая методика визуализации, позволяющая получать физически корректные глобальные эффекты отражения и пропускания. Кроме того, метод выявляет невидимые поверхности, определяет затененные области,

предусматривает визуализацию эффектов прозрачности, генерирует перспективные проекции объектов сцены и собирает вклады в эффекты от различных источников света. Основной его недостаток заключается в том, что он не учитывает диффузное рассеяние света в точке пересечения каждого луча с поверхностью, – засветка окружающих объектов рассеянным светом игнорируется (это очень дорого), что заставляет использовать для расчетов постоянную фоновую составляющую интенсивности каждой точки. Кроме того, метод плохо приспособлен к работе с неточечными источниками освещения [4].

Метод диффузного отражения основывается на законах физики, описывающих распространение лучистой энергии на освещенной сцене. Он идеально подходит для визуализации статических сцен, в которых подавляющее количество объектов обладают диффузными свойствами (отсюда и название). Однако так как метод не учитывает положение наблюдателя, невозможно точное воспроизведение эффектов отражения и преломления света. Также данный метод плохо справляется с точечными источниками света [4].

Как можно заметить, два вышеописанных метода в некоторой степени являются антиподами – каждый из них отлично справляется с частью эффектов освещения, недоступной другому. Их объединение может дать очень хорошие результаты, однако есть один существенный момент: оба метода требуют очень большого количества ресурсов (прежде всего вычислительных), соответственно, объединенная модель страдает этим недостатком в еще большей мере.

Интерактивная трассировка лучей. Алгоритм трассировки лучей требует для работы огромное количество вычислительных ресурсов – уже при использовании разрешения 800×600 ему требуется просчитать как минимум 480000 только первичных лучей, а учитывая и вторичные лучи получим миллионы тестов пересечения, необходимых для работы базового алгоритма.

Хотя эти цифры и кажутся большими, однако показано, что сложность алгоритма трассировки лучей увеличивается логарифмически с увеличением количества примитивов, составляющих сцену, в то время, как сложность широко применяемых сейчас алгоритмов, основанных на растеризации (см. выше), увеличивается линейно. Таким образом, существует некоторое количество примитивов, начиная с которого выгоднее применять алгоритм трассировки лучей.

Ниже перечислены возможные техники оптимизации алгоритма трассировки лучей, которые могут существенно (во много раз) повысить его производительность без потери качества результирующего изображения [5]:

- 1) разбиение пространства сцены на подпространства, каждое из которых содержит небольшое количество объектов; это позволяет быстро сузить круг примитивов, с которыми луч может пересечься;
- 2) использование т.н. ограничивающих объемов простой формы для каждого объекта; так как предполагается, что до нахождения объекта, в

который попал луч, будет произведено несколько неудачных тестов над другими объектами, это позволяет существенно сократить время таких неудачных тестов;

- 3) использование инструкций SSE/SSE3 вместо FPU для ускорения математических операций над числами с плавающей точкой; в настоящее время почти все процессоры поддерживают т.н. SIMD набор инструкций, позволяющих одновременно производить операции над несколькими числами, что дает большой прирост производительности;
- 4) оптимизация процесса кэширования инструкций в CPU; современные процессоры содержат в себе кэш выполняемых команд ограниченного размера, а также предоставляют инструкции, управляющие заполнением этого кэша, с помощью использования которых можно существенно повысить производительность приложения;
- 5) оптимизация трассировки когерентных лучей; есть большая вероятность того, что лучи, выпущенные в близких направлениях, пересекутся с теми же объектами; используя этот факт можно предсказывать объект, в который попадет следующий луч;
- 6) использование GPU для выполнения части расчетов.

Выводы. Традиционно считается, что метод трассировки лучей не может быть использован для интерактивного построения изображений. Отчасти это связано с невозможностью/трудоемкостью использования GPU для ускорения расчетов, необходимых для реализации алгоритма. Однако последние исследования показали, что вполне возможно достичь достаточно высокой частоты кадров с помощью использования оптимизированных структур данных и эффективного использования аппаратных ресурсов современных ПК. И хотя до сих пор не было создано ни одного трассировщика лучей, способного на однопроцессорной машине выдавать действительно интерактивную частоту кадров при визуализации достаточно сложных сцен, у этой технологии безусловно есть огромный потенциал развития.

Список литературы: 1. Херн, Бейкер. Компьютерная графика и стандарт OpenGL. – М.: Издательский дом «Вильямс», 1168 с. 2004. 2. Пореев В. Компьютерная графика. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. 3. Эйнджел Э. Интерактивная компьютерная графика. Вводный курс на основе OpenGL, 2-е изд.: Пер. с англ. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2001. 4. Хилл Ф. OpenGL. Программирование компьютерной графики. Для профессионалов. – СПб.: Питер, 2002. 5. Безменов Н. И., Богарсуков А. С. Моделирование эффектов освещенности при визуализации объемных изображений. – //Вестник НТУ «ХПИ»: Системный анализ управление и инф. технологии. № 41 '2005. - Харьков: НТУ «ХПИ» – 2005. – С. 11 – 14.

Поступила в редколлегию 11.05.06

Г. Н. ЖОЛТКЕВИЧ, д-р техн. наук, Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина,
К. А. ФЕДОРЧЕНКО, Херсонский государственный университет

ОБ ОДНОМ КЛАССЕ КОНЦЕПТУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ

В класі напівсхем, що використовуються для концептуального моделювання інформаційних систем, знайдено підклас нерекурсивних напівсхем. Доведено, що будь-яка нерекурсивна напівсхема є схемою. Продемонстровано можливість явної побудови схеми бази даних за нерекурсивною напівсхемою, що дозволяє застосовувати запропоновану модель для автоматизації побудови та супроводження метаданих бази даних інформаційної системи.

Традиционная парадигма построения информационных систем базируется на ряде предположений, которые исключают возможность адаптации системы к структурным изменениям знаний о предметной области [1 – 2]. Статичность концептуальной модели предметной области является одним из таких предположений. Однако для широкого круга приложений такая статичность не характерна. Например, базы данных в исследовательских системах должны обладать механизмом модификации метаданных [3]. С возрастающей изменчивостью внешнего окружения организаций нестабильность метаданных становится характерной и для автоматизированных информационных управленческих систем (АИУС). В связи с этим в работе [4] была предложена алгебраическая метамодель, предназначенная для формальной спецификации концептуальных моделей предметных областей информационных систем, а в работе [5] показано, как эта метамодель может быть представлена средствами стандартных реляционных баз данных (РБД).

Как показывает анализ предметных областей управленческих информационных систем предложенный в цитируемых выше работах [4 – 5] подход к построению их моделей оказывается чрезмерно общим, не учитывающим специфику рассматриваемого класса информационных систем. Это позволяет ожидать существенного повышения эффективности обработки метаданных за счет учета такой специфики.

В связи с этим настоящая работа посвящена исследованию соответствующих сужений класса моделей, специфицируемых при помощи общей метамодели, с учетом указанной выше специфики. Подкласс моделей, который выделяется при таком сужении, назван далее авторами классом «нерекурсивных полусхем». Именно отсутствие рекурсивных определений характерно для предметных областей АИУС.

Целью настоящей работы, таким образом, является введение и исследование класса «нерекурсивных полусхем», как подкласса общего класса моделей – класса полусхем, введенного в [4].

Введем обозначения, используемые ниже.

$M_+(R, N)$ – множество частичных, хотя бы в одной точке определенных отображений из множества;

xR – подмножество $\{y \in Y \mid (x, y) \in R\}$ для бинарного отношения R между множествами X и Y ;

X^* – множество конечных последовательностей элементов множества X , включающее пустую последовательность, которая всегда обозначается символом e .

$h(x_1 \dots x_k) = x_1$ – для любой непустой последовательности элементов множества X .

$t(x_1 x_2 \dots x_k) = x_2 \dots x_k$ – для любой непустой последовательности элементов множества X .

Как и в работе [5] введем понятие полусхемы предметной области следующим определением.

Определение 1. Полусхемой предметной области назовем тройку $S = (N, R, D)$, где N, R – конечные множества, называемые множествами понятий и ролей соответственно, $D \subset N \times M_+(R, N)$, для которой выполняется условие: для $n \in N, f, g \in nD, r \in \text{dom}(f) \cap \text{dom}(g)$ верно $f(r) = g(r)$.

Для фиксированной полусхемы $S = (N, R, D)$ как и в [4] вводятся множества именуемых нитей понятий.

Определение 2. Элемент (n, w) множества $N \times R^*$ называется именуемой нитью понятия n , если выполнено одно из следующих двух условий:

1. $w = e$;
2. $w = r_1 r_2 \dots r_k$ и найдется последовательность пар $(n_i, f_i) \in D$, где $i = 1, \dots, k$, причем
 - 2.1. $n_1 = n$,
 - 2.2. $r_i \in \text{dom}(f_i), f_i(r_i) = n_{i+1}, i = 1, \dots, k-1$,
 - 2.3. $r_k \in \text{dom}(f_k)$.

При этом в случае 1 говорят, что длина именуемой нити равна 0 ($|(n, e)| = 0$), а в случае 2 – длина равна k ($|(n, r_1 r_2 \dots r_k)| = k$).

Утверждение 1. Если $(n, r_1 r_2 \dots r_k)$ – именуемая нить понятия n , $(n_i, f_i) \in D$, где $i = 1, \dots, k$ – последовательность из определения 2,

$(n'_i, f'_i) \in D$, где $i = 1, \dots, k$ – другая последовательность, для которой $n'_1 = n$ и $f'_i(r_i) = n'_{i+1}, i = 1, \dots, k-1$, тогда $n_i = n'_i, i = 1, \dots, k+1$, где $n_{k+1} = f_k(r_k)$, $n'_{k+1} = f'_k(r_k)$.

Доказательство немедленно следует из определения полусхемы.

Определение 3. Если $(n, r_1 r_2 \dots r_k)$ – именуемая нить понятия n , $n' \in N$, $(n_i, f_i) \in D, i = 1, \dots, k$ – последовательность из определения 2, причем $n' = n_i$ для некоторого $1 \leq i \leq k$ или $n' = f_k(r_k)$, тогда будем говорить, что именуемая нить $(n, r_1 r_2 \dots r_k)$ проходит через n' .

Из определения 3 и утверждения 1 немедленно следует

Утверждение 2. Если $(n, r_1 r_2 \dots r_k)$ – именуемая нить понятия n , $n' \in N$, $(n_i, f_i) \in D, i = 1, \dots, k$ – последовательность из определения 2, тогда последовательность n_1, \dots, n_k, n_{k+1} , где $n_{k+1} = f_k(r_k)$, определяется по $(n, r_1 r_2 \dots r_k)$ однозначно.

Следствие. Частичное отображение $\tau: N \times R^* \rightarrow N$ корректно определено на именуемых нитях понятий формулами

$$\begin{cases} \tau(n, e) = n \\ \tau(n, r_1 r_2 \dots r_k) = n_{k+1} \end{cases}$$

где n_{k+1} – последний элемент последовательности прохождений для именуемой нити $(n, r_1 r_2 \dots r_k)$.

Определение 4. Последовательность из утверждения 2 будем называть последовательностью прохождения именуемой нити.

Определение 5. Понятие $n \in N$ полусхемы $S = (N, R, D)$ называется рекурсивным, если для него существует именуемая нить $(n, r_1 r_2 \dots r_k)$, у которой в последовательности прохождения n_1, \dots, n_k, n_{k+1} найдутся $n_i = n_j$, где $1 \leq i < j \leq k+1$.

Определение 6. Понятие $n \in N$ полусхемы $S = (N, R, D)$ называется нерекурсивным, если оно не является рекурсивным.

Теорема 1. Понятие $n \in N$ полусхемы $S = (N, R, D)$ является нерекурсивным тогда и только тогда, когда все соответствующие ему именуемые нити по длине не превосходят некоторого фиксированного натурального числа.

Доказательство необходимости.

Пусть понятие $n \in N$ полусхемы $S = (N, R, D)$ является не рекурсивным, а $(n, r_1 r_2 \dots r_k)$ – именуемая нить этого понятия. Рассмотрим для этой нити

n_1, \dots, n_k, n_{k+1} – последовательность прохождения. В силу того, что понятие не рекурсивно, в последовательности n_1, \dots, n_k, n_{k+1} нет повторяющихся элементов, а значит, длина ее не может превосходить мощности множества N , которую и можно выбрать в качестве ограничивающей константы.

Доказательство достаточности.

Пусть длины всех именуемых нитей понятия $n \in N$ полусхемы $S = (N, R, D)$ равномерно ограничены некоторой константой L . Предположим, однако, что существует именуемая нить $(n, r_1 r_2 \dots r_k)$ этого понятия, в последовательности прохождения n_1, \dots, n_k, n_{k+1} которой есть два совпадающих элемента, например, $n_{i_1} = n_{i_2} = n'$, $1 \leq i_1 < i_2 \leq k+1$. Но тогда для произвольного $m > 0$ конструкции вида

$$\left(n, r_1 \dots r_{i_1-1} \left(r_{i_1} \dots r_{i_2-1} \right)^m r_{i_2} \dots r_k \right)$$

будут именуемыми нитями понятия n . Их длины L_m для разных $m > 0$, очевидно равны

$$\begin{aligned} L_m &= i_1 - 1 + m(i_2 - i_1) + k - i_2 + 1 = \\ &= k + (m-1)(i_2 - i_1), \end{aligned}$$

а значит, для произвольной константы L всегда можно подобрать такое $m > 0$, чтобы выполнялось $L_m > L$. Полученное противоречие завершает доказательство.

Следствие 1 теоремы 1. Множество именуемых нитей не рекурсивного понятия конечно.

Определение 7. Полусхему $S = (N, R, D)$ назовем *нерекурсивной*, если все ее понятия нерекурсивны.

Ключевым понятием при исследовании полусхем является понятие образца.

Определение 8. Для заданной полусхемы $S = (N, R, D)$ понятие $n \in N$ называется *базовым*, если $nD = \emptyset$.

Множество таких понятий далее обозначается через N_0 [5].

Определение 9. Для заданной полусхемы $S = (N, R, D)$ именуемая нить (n, w) называется *терминальной*, если $\tau(n, w) \in N_0$ [4, 5].

Определение 10. Для заданной полусхемы $S = (N, R, D)$ и понятия $n \in N$ образцом последнего называется $p = \{(n, w_i) \mid i = 1, \dots, Q\}$ – конечное множество терминальных именуемых нитей n , обладающее следующими свойствами:

1. если $n \in N_0$, то $p = \{(n, e)\}$;
2. если $n \notin N_0$, то существует $f \in nD$ такое, что
 - 2.1. $\text{im}(f) = h(p)$, $p = \bigcup_{r \in \text{dom}(f)} \{(n, \text{rt}(w_i)) \mid r = h(w_i), i = 1, \dots, Q\}$,
 - 2.2. для $r \in \text{dom}(f)$ $\{(f(r), t(w_i)) \mid r = h(w_i), i = 1, \dots, Q\}$ является образцом понятия $f(r)$.

Следствие 2 теоремы 1. Множество образцов не рекурсивной схемы конечно.

Напомним ключевое определение из [4].

Определение 11. Полусхема $S = (N, R, D)$ называется схемой, если для каждого ее понятия существует образец.

Основная теорема о нерекурсивных полусхемах (теорема 2). Всякая нерекурсивная полусхема является схемой.

Доказательство.

Очевидно, что все базовые понятия имеют образцы. Рекурсивно построим последовательность подмножеств множества N по формуле:

$$N_{k+1} = N_k \cup \{n \in N \mid (\exists f \in nD) \text{im}(f) \subset N_k\}.$$

Очевидно, что эта последовательность не убывает, а в силу конечности N она стабилизируется, т.е. $N_\infty = \bigcup_{k=1}^{\infty} N_k$ строится за конечное число шагов.

Из построения видно, что каждый элемент множества N_∞ имеет хотя бы один образец. Таким образом, полусхема является схемой тогда и только тогда, когда $N = N_\infty$.

Предположим, что это неверно. Тогда найдется $n \in N - N_\infty$ и $f_1 \in nD$ (в противном случае $n \in N_0 \subset N_\infty$).

Рассмотрим $p_1 = \{(n, r) \mid r \in \text{dom}(f_1)\}$ и заметим, что хотя бы для одного $r_1 \in \text{dom}(f_1)$ выполняется $f_1(r_1) \notin N_0$, иначе мы бы получили, что $n \in N_1 \subset N_\infty$. Повторив этот процесс для $f_1(r_1), \dots, f_1(r_s)$, где $\{f_1(r) \mid r \in \text{dom}(f_1) \wedge f_1(r) \notin N_0\}$, мы сможем подобрать $\{f_{2,1}, \dots, f_{2,s}\}$ с тем же свойством, что и f_1 . Этот процесс должен продолжаться бесконечно, в противном случае мы построим образец понятия n .

Согласно теореме 1, все именующие нити понятия нерекурсивной полусхемы равномерно ограничены по длине. Следовательно, описанный выше процесс не может продолжаться бесконечно, так как он на каждом

следующем шаге дает хотя бы одну именующую нить понятия p на единицу длиннее максимума длин именующих нитей, полученных на предыдущем шаге. Полученное противоречие и завершает доказательство теоремы.

Теперь мы можем описать структуру экземпляров, т.е. образцов, каждой именующей нити (p, w) которых поставлено в соответствие значение из домена возможных значений для базового понятия $\tau(p, w)$ (подробнее см. [4]). Таким образом, если рассматривать именующие нити как составные имена атрибутов, то каждый образец понятия дает отношение, представляющее некоторую точку зрения на это понятие. Следовательно, множество примеров объектов предметной области, описываемой не рекурсивной полусхемой, можно трактовать как реляционную базу данных.

Подводя итог, можно отметить следующее. В работе на основании результатов анализа предметных областей различных АИУС в терминах алгебраической метамодели, предназначенной для формальной спецификации структуры предметных областей и предложенной в работах [4 – 5], впервые выделен соответствующий класс полусхем, названный авторами классом нерекурсивных полусхем. Для выделения этого класса проведено разбиение множества понятий полусхемы на подмножества рекурсивных и нерекурсивных понятий. Для понятий сформулирован и доказан критерий их нерекурсивности в терминах алгебраической метамодели. Для представителей выделенного класса нерекурсивных полусхем доказано, что они являются схемами. Последний результат позволяет заменить достаточно трудоемкий алгоритм выяснения является ли полусхема схемой, предложенный и обоснованный в [4], простой проверкой нерекурсивности всех понятий полусхемы.

Полученные в работе результаты позволяют сделать вывод о возможности непосредственного представления нерекурсивных схем посредством реляционных баз данных. Алгоритм синтеза схемы базы данных по нерекурсивной полусхеме планируется построить в дальнейшем.

Список литературы: 1. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных, 6-е издание. – М.-СПб.-К.: Вильямс, 1999. – 846 с. 2. Грэхем И. Объектно-ориентированные методы. Принципы и практика. Издание третье. – М.-СПб.-К.: Вильямс, 2004. – 879 с. 3. Жолткевич Г.Н., Семенова Т.В. Концептуальное моделирование данных в исследовательских информационных системах средствами реляционных СУБД // Вестник Херсонского гос. техн. ун-та. – 2002, №15. – С. 75-79. 4. Жолткевич Г.Н., Семенова Т.В. К проблеме формализации концептуального моделирования информационных систем // Вісник Харківського нац. ун-ту ім. В. Н. Каразіна. – № 605. – 2003: Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління. – Вип. 2. – С. 33-42. 5. Жолткевич Г.Н., Семенова Т.В., Федорченко К. А. Представление полусхем предметных областей информационных систем средствами реляционных баз данных // Вісник Харківського нац. ун-ту ім. В. Н. Каразіна. – № 629, 2004: Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління. – Вип. 3. – С. 11-24.

Поступила в редколлегию 03.04.06

АХМАД АЛИ (АБДЕЛЬ КАРИМ) АЛЬМХЕРАТ, аспирант,
Г. Н. ЖОЛТКЕВИЧ, д-р техн. наук, ХНУ имени В. Н. Каразина
А. Г. ЖОЛТКЕВИЧ, ООО «Совместное украинско-словенское
предприятие «МОНИС»

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБМЕНА ИНФОРМАЦИЕЙ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ: КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ

У статті розглянута проблема імітаційного моделювання процесів обміну інформацією у розподілених програмних комплексах, зокрема інформаційних системах. Обґрунтовано необхідність створення інструментарію для забезпечення такого моделювання з метою визначення адекватності того чи іншого архітектурного шаблону до конкретної проектної ситуації. Запропонована концептуальна модель предметної області імітаційного моделювання процесів обміну інформацією в інформаційних системах.

1. Постановка общей проблемы

Растущая сложность задач, для решения которых применяются информационно-вычислительные системы, приводит к необходимости интеграции программных комплексов в единую систему. Возникающие в результате интеграции системы являются, как правило, системами с распределенными данными и их обработкой. Существует ряд архитектурных шаблонов проектирования таких систем [1], однако обоснование их применения носит умозрительный, а не технический характер. В связи с этим возникает проблема оценки эффективности использования того или иного архитектурного шаблона на фазе проектирования системы.

2. Анализ публикаций, постановка задачи

Одной из основных концепций программной инженерии является концепция повторного использования решений на разных уровнях: код, структура, проектное решение, архитектура [2]. Использование шаблонов (паттернов) проектирования при разработке программного обеспечения с момента появления работы [3] стало одним из основных инструментов повышения эффективности разработки за счет повторного использования на уровне архитектурных и проектных решений. Роль шаблонов проектирования как современного средства разработки программного обеспечения отмечена также в [4]. Детально шаблоны проектирования архитектурного уровня для корпоративных программных систем описаны в [5]. В работе [6] предложено архитектурное решение, ориентированное на интеграцию информационных систем на уровне корпорации с сохранением суверенитета каждого из интегрируемых компонентов над своим информационным ресурсом. Общей чертой всех указанных работ является подробное описание различных

архитектурных решений при отсутствии рекомендаций относительно методов оценки этих решений с целью обоснованного выбора какого-либо из них.

В связи с вышеизложенным, актуальной является задача разработки методологии объективной оценки возможностей и последствий использования существующих шаблонных решений для конкретной проектной ситуации. В настоящей работе предлагается решить эту задачу путем имитационного моделирования поведения распределенной информационной системы. Авторы предлагают описание подхода к имитационному моделированию информационных систем на концептуальном уровне. В работе также вводятся основные характеристики, анализ которых по результатам моделирования позволяет сравнить возможные последствия использования различных архитектурных шаблонов.

3. Основная часть

Несмотря на разнообразие развитых систем имитационного моделирования как общего назначения (например, GPSS), так и ориентированных на конкретные приложения (например, система NetCracker ориентирована на моделирование процессов в вычислительных сетях и сетях связи) [7], авторам не известны имитационные системы, язык которых был бы адекватен задачам моделирования процессов обмена данными в информационных системах.

Прежде всего, следует подчеркнуть, что мы будем рассматривать информационную систему как множество взаимодействующих элементов. Эти элементы мы будем называть капсулами (*Capsule*). Капсула представляет собой сложный, возможно распределенный, объект, который взаимодействует со своим окружением [4]. Капсула, с нашей точки зрения, может иметь закрытый для внешнего доступа информационный ресурс (в работе [6] рассматривается аналогичный объект, названный «информационным объектом»), структурно разделенный на компоненты данных: собственные данные (класс **OwnDataUnit**) и данные, являющиеся собственностью других капсул (коллекция объектов класса **AdoptedDataUnit**), используемые рассматриваемой капсулой (см. рис. 1).

При использовании, например, архитектурного шаблона клиент/сервер, очевидно, что клиентские капсулы не имеют собственного информационного ресурса, серверная же капсула монополюно владеет всеми информационными ресурсами системы.

Капсула является не просто хранилищем, но и совокупностью операторов на данных, обладая способностью выполнять задачи (*Task*) по их обработке (см. рис. 1: метод `perform()` класса *Task*). Эти задачи целесообразно разбить на два класса: транзакции (**Transaction**) – задачи, обеспечивающие модификацию данных информационного ресурса, и запросы (**Query**) – задачи, обеспечивающие доступ к данным для чтения. Следует отметить, что наличие у капсулы копий «чужих» данных приводит к необходимости синхронизации таких копий с оригиналом. Это обосновывает введение

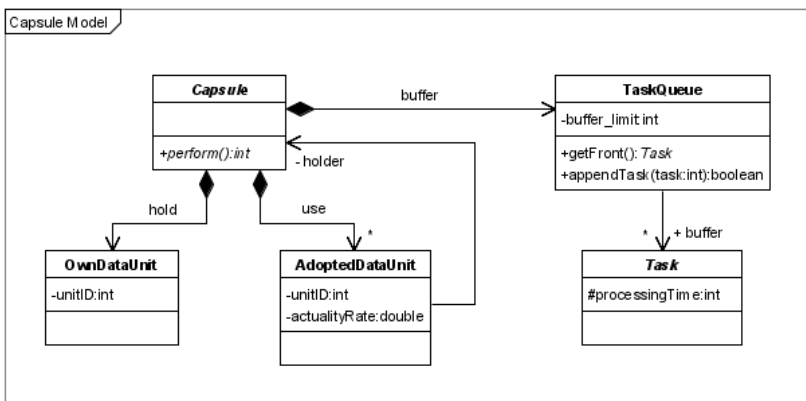


Рис. 1. Концептуальная модель

специального класса задач – синхронизаторов (**Synchro**), которые запрашивают актуальное состояние компонента данных у его владельца и, получив его, осуществляют обновление этого компонента. Мы предполагаем, что использование синхронизатора является единственным способом модификации не собственных компонентов данных капсулы.

В процессе автономного функционирования капсулы происходит постепенное снижение уровня актуальности данных «чужих» данных. Для описания текущего уровня актуальности объекта класса **AdoptedDataUnit** используется атрибут *actualityRate*, значение которого интерпретируется как вероятность получения актуального отчета на основании запроса к рассматриваемому объекту.

Полученные капсулой для исполнения задачи помещаются в очередь задач капсулы (класс **TaskQueue**), и упомянутый выше метод *perform()* при освобождении исполнительного механизма капсулы снимают с головы очереди задач капсулы задачу для обработки. При этом капсула переходит на время, определяемое атрибутом *processingTime* класса наследника класса **Task**, в состояние занятости (см. рис. 2).

Предполагается, что помещение новой задачи в очередь задач капсулы происходит только в том случае, если текущий объем буфера не превосходит значения атрибута *buffer_limit* класса **TaskQueue**. Следует обратить внимание, что для определенных задач моделирование этот атрибут может принимать значение *+infinity*.

Концептуальная модель задачи приведена на рис. 2.

Комментариев требует, на наш взгляд, только структура класса **Synchro**. В структуре этого класса инкапсулированы два объекта классов **Query** и **Transaction** соответственно.

Сформулируем теперь основные задачи, которые можно решать путем постановки имитационных экспериментов на моделях, построенных в рамках

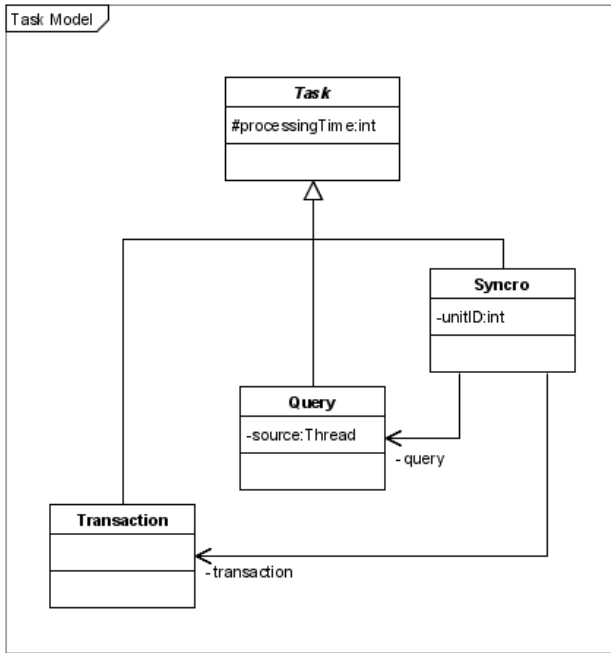


Рис. 2. Концептуальная модель

каркаса имитационного моделирования, базирующегося на решениях, описанных выше.

Во-первых, метод `perform()` класса *Capsule*, который в силу описанной сигнатуры (см. рис. 1) при реализации должен возвращать целое число – длительность в единицах модельного времени – обеспечивает решения задачи, которая поступила для выполнения, позволяет измерять временные характеристики системы.

Во-вторых, наличие атрибута `buffer_limit` для класса *TaskQueue* обеспечивает вычисление вероятности потери задачи в системе.

В-третьих, наличие атрибута `actualityRate` для класса *AdoptedDataUnit* позволяет решать задачу оценки вероятности принятия неправильного решения системой за счет использования устаревших данных.

Таким образом, основными измеряемыми в процессе имитационного эксперимента характеристиками системы в рамках предложенной концептуальной модели системы имитационного моделирования являются: риск принятия неправильного решения в результате выполнения той или иной задачи, который определяется вероятностью принятия неправильного решения за счет десинхронизации данных; риск потери задачи в очереди ожидания выполнения, который определяется вероятностью такого события; среднее время ожидания выполнения процесса.

4. Выводы

Таким образом, в работе предложена концептуальная модель каркаса имитационного моделирования поведения информационных систем с целью определения целесообразности использования тех или иных архитектурных шаблонов при их проектировании.

Концептуальная модель базируется на следующих предположениях:

1. Структурно-логически архитектура информационной системы может быть представлена множеством взаимодействующих капсул.
2. Каждая капсула инкапсулирует данные двух типов – данные, которыми она владеет, и данные которыми она пользуется.
3. Данные, которыми капсула владеет, могут свободно ее модифицироваться (т. е. над ними возможно выполнение транзакций в рамках этой капсулы), в то время как данные, которыми капсула пользуется, доступны только для чтения (т. е. над ними возможно выполнение только запросов в рамках этой капсулы).
4. Исключение при работе с данными, которыми капсула пользуется, возникает при работе с синхронизаторами. Синхронизаторы инкапсулируют как запрос, так и транзакцию, и только такая транзакция может быть выполнена над данными, которыми капсула пользуется, в рамках этой капсулы.
5. Эффективность исследуемой архитектуры определяется путем наблюдения в рамках имитационного эксперимента следующих характеристик – риск принятия неправильного решения в результате выполнения той или иной задачи, который определяется вероятностью принятия неправильного решения за счет десинхронизации данных; риск потери задачи в очереди ожидания выполнения, который определяется вероятностью такого события; среднее время ожидания выполнения процесса.

Дальнейшей своей задачей авторы видят разработку динамических моделей каркаса имитационного моделирования поведения информационных систем.

Список литературы: 1. Таненбаум Э., ван Стен М. Распределенные системы. Принципы и парадигмы. – СПб.: Питер, 2003. – 877 с. 2. Соммервилл И. Инженерия программного обеспечения. М.: Вильямс, 2002. – 624 с. 3. Гемма Э., Хелм Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования. – СПб.: Питер, 2003. – 366 с. 4. Грэхем И. Объектно-ориентированные методы. Принципы и практика. Третье изд. – М.: Вильямс, 2004. – 879 с. 5. Фаулер М. Архитектура корпоративных программных приложений. – М.: Вильямс, 2004. – 544 с. 6. Альмхерат Ахмад Али (Абдель Карим), Жолткевич Г. Н., Игнатов С.Ю. Об одном подходе к интеграции неоднородных информационных ресурсов // Вісник Харк. нац. ун-та. – № 629, 2004: Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління. – Вип. 3. – С. 48 – 55. 7. Рыжков Ю. Н. Имитационное моделирование. Теория и технологии. – СПб.: Корона Принт, 2004. – 380 с.

Поступила в редколлегию 03.04.06

Г. Г. АСЕЕВ, д-р. техн. наук, профессор (г. Харьков)

ПРОБЛЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ НОВОГО ЗНАНИЯ В ХРАНИЛИЩАХ ДАННЫХ МЕТОДАМИ KNOWLEDGE DISCOVERY IN DATABASES

Статья посвящена проблеме выявления нового знания в хранилищах данных – Knowledge Discovery in Databases – (KDD) и основному крокові цього процесу – Data Mining (DM) (розробці даних або, дослівно, «видобуткові даних»).

К настоящему времени сложилась ситуация, что происходит подмена понятий «обнаружение знаний в базах данных» методами Knowledge Discovery in Databases – (KDD) и «добыча данных» или «разработка данных» методами Data Mining (DM) [1-3]. Эта статья посвящена проблеме обнаружения нового знания в хранилищах данных – (KDD – Knowledge Discovery in Databases), а основной шаг этого процесса – Data Mining (DM) (разработка данных или, дословно, «добыча данных»), будет подвергнут анализу в следующей публикации.

Что такое Knowledge Discovery in Databases? Knowledge Discovery in Databases – аналитический процесс исследования человеком большого объема информации с привлечением средств автоматизированного исследования данных с целью обнаружения скрытых в данных структур или зависимостей. Предполагается полное или частичное отсутствие априорных представлений о характере скрытых структур и зависимостей. KDD включает предварительное осмысление и неполную формулировку задачи (в терминах целевых переменных), преобразование данных к доступному для автоматизированного анализа формату и их предварительную обработку, обнаружение средствами автоматического исследования данных (Data Mining) скрытых структур или зависимостей, апробация обнаруженных моделей на новых, не использовавшихся для построения моделей данных и интерпретация человеком обнаруженных моделей. KDD включает в себя проблемы использования источников данных, хранения данных, подготовки исходного набора данных, предобработки и очистки исходных данных, трансформации и нормализации данных, выдвижения гипотез, применения методов DM (построение моделей анализа, использование модели, наблюдение за моделью, постобработка данных и интерпретация полученных результатов, вывода систем отчетности).

Очертм некоторые рекомендации, следуя которым, можно подготовить качественные данные в нужном объеме для анализа. В этой последовательности действий все достаточно просто и логично, но, несмотря на это, пользователи почти всегда допускают одни и те же тривиальные ошибки. Надеемся, что изложенная последовательность действий позволит

допускать меньше ошибок такого рода. Ниже описан не жесткий набор правил, а, скорее, список рекомендаций, которых желательно придерживаться.

Источники данных. В качестве первичного источника данных должны выступать все сведения, которые могут пригодиться для принятия решения: базы данных систем управления предприятием, офисные документы, Интернет. Причем речь идет не только о внутренних, но и о внешних данных (макроэкономические показатели, конкурентная среда, демографические показатели и т. п.).

Хранение данных. Хотя в хранилище данных не реализуются технологии анализа, оно является той базой, на которой нужно строить аналитическую систему. При отсутствии хранилища на сбор и систематизацию необходимой для анализа информации будет уходить большая часть времени, что в значительной степени сведет на нет все достоинства анализа - ведь одним из ключевых показателей любой аналитической системы является возможность быстро получить результат.

Подготовка исходного набора данных. Этот этап заключается в создании набора данных, в том числе из различных источников, выбора обучающей выборки и т. д. Для этого должны существовать развитые инструменты доступа к различным источникам данных. Желательна поддержка работы с хранилищами данных и наличие семантического слоя, позволяющего использовать для подготовки исходных данных не технические термины, а бизнес понятия.

Методика анализа с использованием механизмов Data Mining базируется на различных алгоритмах извлечения закономерностей из исходных данных, результатом работы которых являются модели. Таких алгоритмов довольно много, но, несмотря на их обилие, использование машинного обучения и т. п., они не способны гарантировать качественное решение. Никакой самый изощренный метод сам по себе не даст хороший результат, т. к. критически важным становится вопрос качества исходных данных. Чаще всего именно качество данных является причиной неудачи.

Для того чтобы найти новое знание на основе данных большого хранилища недостаточно просто взять алгоритмы Data Mining, запустить их и ждать появления интересных результатов. Нахождение нового знания – это процесс, который включает в себя несколько шагов, каждый из которых необходим для уверенности в эффективном применении средств Data Mining.

В процессе подбора влияющих факторов необходимо максимально абстрагироваться от информационных систем и имеющихся в наличии данных. Очень часто встречается ситуация, когда пользователи говорят: «Вот есть такие данные, что можно на них получить?». Это порочная практика – мы должны решать задачу и подбирать данные для ее решения, а не брать имеющуюся информацию и придумывать что из них можно «выжать». Целью является решение актуальной задачи, а не оправдание затрат на сбор большого объема данных.

После подготовки таблицы с описанием факторов нужно экспертно оценить значимость каждого из факторов. Эта оценка не является окончательной, она будет отправной точкой. В процессе анализа вполне может оказаться, что фактор, который эксперты посчитали очень важным, таковым, по сути, не является и, наоборот, незначимый с их точки зрения фактор может оказывать значительное влияние. Но в любом случае, все варианты проанализировать сразу невозможно, нужно от чего-то отталкиваться, этой точкой и является оценка экспертов. К тому же, довольно часто реальные данные подтверждают их оценку.

Формализация и сбор данных. Далее необходимо определить способ представления данных, выбрав один из 4-х видов – число, строка, дата, логическая переменная (да/нет). Установить способ представления, т.е. формализовать некоторые данные просто – например, объем продаж в грн, это определенное число. Но довольно часто возникают ситуации, когда непонятно как представить фактор. Чаще всего такие проблемы возникают с качественными характеристиками. Например, на объемы продаж влияет качество товара. Качество – это довольно сложное понятие, но если этот показатель действительно важен, то нужно придумать способ его формализации. Например, определять качество по количеству брака на тысячу единиц продукции, либо экспертно оценивать, разбив на несколько категорий – отлично/хорошо/удовлетворительно/плохо.

Необходимо оценить стоимость сбора нужных для анализа данных. Дело в том, что некоторые данные легко доступны, например, их можно извлечь из существующих информационных систем. Но есть информация, которую не просто собрать, например, сведения о конкурентах. Поэтому необходимо оценить, во что обойдется сбор данных.

Чем больше будет данных для анализа, тем лучше, отбросить их можно на следующих этапах работ – это проще, чем собрать новые сведения. К тому же, необходимо учитывать, что не всегда экспертная оценка значимости факторов будет совпадать с реальной. Т.е. в начале не известно, что на самом деле является значимым, а что нет. Мы отталкиваемся от мнения экспертов относительно значимости факторов, но в действительности все может быть иначе. Поэтому желательно иметь большее число данных, чтобы иметь возможность оценить влияние максимального количества показателей.

Но сбор данных не является самоцелью. Если информацию получить легко, то, естественно, нужно ее собрать. Если данные получить сложно, то необходимо соизмерить затраты на ее сбор и систематизацию с ожидаемыми результатами. Есть несколько методов сбора, необходимых для анализа данных [4, 5].

Получение из учетных систем. Обычно, в учетных системах есть различные механизмы построения отчетов и экспорта данных, поэтому извлечение нужной информации из них, чаще всего, относительно несложная операция.

Получение сведений из косвенных данных. О многих показателях можно

судить по косвенным признакам и этим нужно воспользоваться. Например, можно оценить реальное финансовое положение жителей определенного региона следующим образом. В большинстве случаев имеется несколько товаров, предназначенных для выполнения одной и той же функции, но отличающихся по цене: товары для бедных, средних и богатых. Если получить отчет о продажах товара в интересующий регион и проанализировать пропорции, в которых продаются товары для бедных, средних и богатых, то можно предположить, что чем больше доля дорогих изделий из одной товарной группы, тем более состоятельны в среднем жители данного региона.

Использование открытых источников. Большое количество данных присутствует в открытых источниках, таких как статистические сборники, отчеты корпораций, опубликованные результаты маркетинговых исследований и прочее.

Проведение собственных маркетинговых исследований и аналогичных мероприятий по сбору данных. Это может быть достаточно дорогостоящим мероприятием, но, в любом случае, такой вариант сбора данных возможен.

Ввод данных «вручную», когда данные вводятся по различного рода экспертным оценкам сотрудниками организации. Этот метод наиболее трудоемкий.

Стоимость сбора информации различными методами существенно отличается по цене и необходимому для этого времени, поэтому нужно соизмерять затраты с результатами. Возможно, от сбора некоторых данных придется отказаться, но факторы, которые эксперты оценили, как наиболее значимые нужно собрать обязательно, не смотря на стоимость этих работ, либо вообще отказаться от анализа. Очевидно, что если эксперт указал на некоторый фактор как важный, то не учитывать его просто нельзя, т. к. мы рискуем провести анализ, ориентируясь на второстепенные малозначащие факторы. И, следовательно, получить модель, которая будет давать плохие и нестабильные результаты. А такая модель не представляет практической ценности.

Собранные данные нужно преобразовать к единому формату, например, Excel, текстовой файл с разделителями, либо любая СУБД. Данные обязательно должны быть унифицированы, т.е. одна и та же информация везде должна описываться одинаково. Обычно проблемы с унификацией возникают при сборе информации из разнородных источников. В этом случае унификация является серьезной задачей.

При построении модели необходимо помнить одно правило, касающееся корректности исходных данных: если на вход задачи поступает «мусор», то и результатом тоже будет «мусор». Исходные данные могут находиться или в одной базе, или в нескольких. Перед «загрузкой» данных в хранилище необходимо учесть, что различные источники данных могут быть спроектированы под определенные задачи и, соответственно, возникает проблемы, связанные с объединением данных: различные форматы

представления данных (одна и та же по смыслу переменная – например, количество – может быть представлена в различных базах разными типами данных – int или short); разное кодирование данных (например, разный формат даты); различные способы хранения данных; отличающиеся единицы измерения (дюймы и сантиметры); а также частота сбора данных и дата последнего обновления. Даже если данные находятся в одной базе, то все равно надо обращать пристальное внимание на пропущенные значения и значения, нарушающие целостность базы («выбросы»).

Аналитик должен всегда знать, как, где и при каких условиях собираются данные, и быть уверенным, что все данные, которые используются для проведения анализа, измеряют одно и то же одинаковым способом.

Предобработка и очистка исходных данных. Для того, чтобы эффективно применять методы Data Mining, следует обратить серьезное внимание на вопросы предобработки данных. Данные могут содержать пропуски, шумы, аномальные значения и т. д. Кроме того, данные могут быть избыточны, недостаточны и т. д. В некоторых задачах требуется дополнить данные некоторой априорной информацией. Наивно предполагать, что если подать данные на вход системы в существующем виде, то на выходе получим полезные знания. Данные должны быть качественны и корректны с точки зрения используемого метода DM. Поэтому один из основных этапов KDD заключается в предобработке данных. Более того, иногда размерность исходного пространства может быть очень большой, и тогда желательно применение специальных алгоритмов понижения размерности. Это как отбор значимых признаков, так и отображение данных в пространство меньшей размерности.

При больших объемах хранилищ данных практически невозможно напрямую применить методы DM. Если не будут произведены формализация и сбор данных и их представления, как описано в предыдущих подразделах, то тогда плохое «качество» исходных данных явится одной из самых серьезных проблем. В связи с тем, что в большинстве случаев источником информации для аналитических систем является корпоративное хранилище данных, в котором аккумулируются сведения из множества разнородных источников, острота проблемы существенно возрастает.

Необходимость предварительной обработки при анализе данных возникает независимо от того, какие технологии и алгоритмы используются. Более того, эта задача может представлять самостоятельную ценность в областях, не имеющих непосредственного отношения к анализу данных. При использовании же механизмов анализа, в основе которых лежат самообучающиеся алгоритмы, такие как нейронные сети, деревья решений и прочее, хорошее качество данных является ключевым требованием.

Очевидно, что исходные («сырые») данные чаще всего нуждаются в очистке. В процессе этого восстанавливаются пропущенные данные, редактируются аномальные значения, вычитается шум, проводится сглаживание. При этом используются алгоритмы робастной фильтрации,

спектрального и вейвлет анализа, последовательной рекуррентной фильтрации, статистического анализа.

На этом этапе производится построение витрины данных, которая будет подвергаться дальнейшей обработке, или, говоря другими словами, производится наполнение витрины или «загрузка» в неё тех данных, которые были отобраны на предыдущих этапах. В это же время производится исправление всех ошибок, которые были выявлены, то есть очистка. Существуют различные аспекты очистки данных. Все они направлены на нахождение и исправление ошибок, которые были допущены ещё на этапе сбора информации. Ошибкой в данных могут считаться:

- пропущенное значение;
- невозможное событие (неверно набранное значение – «выброс»).

Коррекция производится на основе здравого смысла, использования правил и/или с привлечением хорошо знающего предметную область эксперта. То есть транзакция или запись в базе данных, в которой есть такая ошибка, может быть исправлена или, в спорных случаях, исключена из дальнейшего рассмотрения.

После проверки согласованности данных, данные преобразовываются и переформатируются в соответствии с результатами оценки. Это делается для большего удобства наблюдения за данными. Данные дискретных событий преобразовываются в специально разработанную или стандартную форму, если таковая имеется, в которой отражаются время и описание событий. Когда пользователи будут легко разбираться в этой форме, они смогут быстро изучить события, которые лежали в основе построения этой формы. Может показаться, что этот шаг дублирует этап сбора данных, но на самом деле это два совершенно разных этапа. На первом из них происходит отбор данных для ускорения машинной обработки информации (анализа) без потери качества, на втором данные приводятся к виду, удобному для визуального контроля пользователя. Теперь человек проводящий анализ может наиболее полно представить себе исходные данные. Это бывает необходимо для различного рода отчетов, когда необходимо кратко охарактеризовать исходные данные применяемые для анализа.

Для анализируемых процессов различной природы, данные должны быть подготовлены специальным образом для упорядоченных данных, неупорядоченных данных и транзакционных данных.

Упорядоченные данные. Такие данные нужны для решения задач прогнозирования, когда необходимо определить каким образом поведет себя тот или иной процесс в будущем на основе имеющихся исторических данных. Чаще всего в качестве одного из фактов выступает дата или время, хотя это и не обязательно, речь может идти и о неких отсчетах, например, данные, с определенной периодичностью собираемые с датчиков.

Для упорядоченных данных (обычно это временные ряды), каждому столбцу соответствует один фактор, а в каждую строку заносятся упорядоченные по времени события с единым интервалом между строками.

Не допускается наличие группировок, итогов и прочее – нужна обычная таблица.

Если для процесса характерна сезонность/цикличность, необходимо иметь данные хотя бы за один полный сезон/цикл с возможностью варьирования интервалов (понедельное, помесечное...). Т. к. цикличность может быть сложной, например, внутри годового цикла квартальные, а внутри кварталов недельные, то необходимо иметь полные данные как минимум за один самый длительный цикл.

Максимальный горизонт прогнозирования зависит от объема данных:

- данные на 1,5 года – прогноз максимум на 1 месяц;
- данные за 2–3 года – прогноз максимум на 2 месяца.

В общем случае максимальный горизонт прогнозирования (время, на которое можно строить достаточно достоверные прогнозы) ограничивается не только объемом данных. Мы исходим из предположения, что факторы, определяющие развитие процесса будут оказывать влияние и в будущем примерно такое же, что и на текущий момент. Данное предположение справедливо не всегда. Например, в случае слишком быстрого изменения ситуации, появления новых значимых факторов и т.п. это правило не работает. Поэтому в зависимости от задачи требования к объему могут сильно изменяться. Использование слишком большого объема данных для анализа так же нецелесообразно, т. к. в этом случае мы будем строить модель по старой истории, и, следовательно, возможно будем учитывать факторы, возможно, уже утратившие свою значимость.

Неупорядоченные данные. Такого рода данные нужны для задач, где временной фактор не имеет значения, например, оценка кредитоспособности, диагностика, сегментация потребителей. В таких случаях мы считаем ситуацию статичной и поэтому информация о том, что одно событие произошло раньше другого, значения не имеет.

Для неупорядоченных данных каждому столбцу соответствует фактор, а в каждую строку заносится пример (ситуация, прецедент). Упорядоченность строк не требуется. Не допускается наличие группировок, итогов и прочее – нужна обычная таблица.

Количество примеров (прецедентов) должно быть значительно больше количества факторов. В противном случае высока вероятность, что случайный фактор окажет серьезное влияние на результат. Если нет возможности увеличить количество данных, то придется уменьшить количество анализируемых факторов, оставив наиболее значимые.

Желательно, чтобы данные покрывали как можно больше ситуаций реального процесса и пропорции различных примеров (прецедентов) должны примерно соответствовать реальному процессу. Мы пытаемся построить модели на основе предложенных данных, поэтому, чем ближе данные к действительности, тем лучше. Необходимо понимать, что система не может знать о чем-либо, что находится за пределами собранных для анализа данных. Например, если при создании системы диагностики больших

подавать только сведения о больных, то система не будет знать о существовании в природе здоровых людей. И соответственно, любой человек с ее точки зрения будет обязательно чем-то болен.

Транзакционные данные. Транзакционные данные используются в алгоритмах поиска ассоциативных правил, этот метод часто называют «анализом потребительской корзины». Под транзакцией подразумевается несколько объектов или действий, сгруппированных в логически связанную единицу. Очень часто данный механизм используется для анализа покупок (чеков) в супермаркетах. Но, в общем случае, речь может идти о любых связанных объектах или действиях, например, продажа туристических туров с набором сопутствующих услуг (оформление виз, доставка в аэропорт, услуги гида и прочее). Используя данный метод анализа, находятся зависимости вида, «если произошло событие *A*, то с определенной вероятностью произойдет событие *B*».

Анализ транзакций целесообразно производить на большом объеме данных, иначе могут быть выявлены статистически необоснованные правила. Алгоритмы поиска DM способны быстро перерабатывать огромные массивы информации, т. к. основное достоинство алгоритмов заключается именно в масштабируемости, т.е. способности обрабатывать большие объемы данных. Примерное соотношение между количеством объектов и объемом данных:

- 300–500 объектов – более 10 тыс. транзакций;
- 500–1000 объектов – более 300 тысяч транзакций.

При недостаточном количестве транзакций целесообразно уменьшить количество анализируемых объектов, например, сгруппировав их.

Но термин «предобработка» можно трактовать шире, а именно как процесс предварительного экспресс анализа данных. Например, оценить фактор как значимый или нет, все ли факторы учтены для объяснения поведения результирующей величины и т.д. Для этих целей используются такие алгоритмы, как корреляционный анализ, факторный анализ, метод главных компонент, регрессионный анализ и др. (<http://www.basegroup.ru/>).

Трансформация, нормализация данных. Этот шаг необходим для тех методов, которые требуют, чтобы исходные данные были в каком-то определенном виде. Необходимо стараться приближать данные к нормальному или равномерному распределению. Часто используют следующий способ нормализации: пусть есть a - среднее и σ - дисперсия.

Тогда $x \rightarrow \frac{x-a}{\sigma}$. Часто такое преобразование проводят перед подачей данных на вход нейросетей.

Выдвижение гипотез. Для того чтобы наиболее полно использовать все преимущества технологий Data Mining необходимо ясно представить цели будущего анализа. В зависимости от целей проводится построение модели. Гипотезой в данном случае будем считать предположение о влиянии определенных факторов на исследуемую нами задачу. Форма этой

зависимости в данном случае значения не имеет. Т.е. мы может сказать, что на продажи влияет отклонение нашей цены на товар от среднерыночной, но при этом не указывать, как, собственно, этот фактор влияет на продажи. Для решения этой задачи и используется Data Mining. Автоматизировать процесс выдвижения гипотез не представляется возможным, по крайней мере, на сегодняшнем уровне развития технологий. Эту задачу должны решать эксперты – специалисты в предметной области. Полагаться можно и нужно на их опыт и здравый смысл. Нужно постараться максимально использовать их знание о предмете и собрать как можно больше гипотез/предположений. Обычно для этих целей хорошо работает тактика мозгового штурма. На первом шаге нужно собрать и систематизировать все идеи, их оценку будем производить позже. Результатом данного шага должен быть список с описанием всех факторов.

Например, для задачи прогнозирования спроса это может быть список следующего вида: сезон, день недели, объемы продаж за предыдущие недели, объем продаж за аналогичный период прошлого года, рекламная компания, маркетинговые мероприятия, качество продукции, бренд, отклонение цены от среднерыночной, наличие данного товара у конкурентов...

Выводы. Суммируя вышесказанное, видно, что обнаружение новых знаний в больших хранилищах данных не является простым применением методов Data Mining. Иерархически выше находятся процессы исследования большого объема информации с привлечением средств Knowledge Discovery in Databases, которые включают в себя проблемы использования источников данных, хранения данных, подготовки исходного набора данных, предобработки и очистки исходных данных, трансформации и нормализации данных, выдвижения гипотез, которые подготавливают базу применения методов ДМ (построение моделей анализа, использование модели, наблюдение за моделью, постобработка данных и интерпретация полученных результатов, вывода систем отчетности). Предложенная последовательность действий не зависит от предметной области, поэтому ее можно использовать для любой сферы деятельности.

Список литературы: 1. Мусаев А. А. Интеллектуальный анализ данных: Клондайк или Вавилон? [Электронный ресурс] / А. А. Мусаев. – Режим доступа: <http://www.bizcom.ru /analysis/> – Загл. с экрана. 2. Арсеньев С. Б. Использование технологии анализа данных в интеллектуальных информационных системах. Управление информационными потоками / С. Б. Арсеньев, В. Б. Бритков, Н. А. Маленкова // Сб. тр. Ин-та систем. анализа РАН. – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – С. 47–68. 3. Орехов С. В. Применение технологии Data Mining при решении задачи ситуационного управления системой водоснабжения города в условиях аварийности / С. В. Орехов // Вест. нац. техн. ун-та «ХПИ». - № 6. – 2003. – С. 97-101. 4. Арустамов А. Анализируй это / А. Арустамов // Компьютерра. – 2002. – № 21 (446). – С. 18-24. 5. Арустамов А. Data Mining – подготовка исходных данных [Электронный ресурс] / А. Арустамов. – Режим доступа: <http://www.basegroup.ru/tasks/>. – Загл. с экрана.

Поступила в редколлегию 07.03.06

Г. Н. ЖОЛТКЕВИЧ, д-р техн. наук,
АХМАД ЮСЕФ ИБРАХИМ ИБРАХИМ, аспирант, ХНУ им. В.Н. Каразина

МОДЕЛЬ ХРАНЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ПОЛУСХЕМ СРЕДСТВАМИ РЕЛЯЦИОННЫХ БАЗ ДАННЫХ

В статті розглянута задача забезпечення якості інформації в інформаційних системах за рахунок формалізації структури інформації, якою обмінюються система та її оператори. Структурування інформації, як метод забезпечення її коректності, пропонується проводити на основі єдиної мета моделі – теорії напівсхем. Запропонована концептуальна модель представлення зразків напівсхем в інформаційній системі.

Качество информации является одним из определяющих факторов качества информационных управляющих систем. Актуальность проблемы обеспечения качества информации в информационных управляющих системах связана, в первую очередь, с тем, что принимаемые на основании недостоверной, неактуальной, неточной информации управленческие решения могут привести к серьезным проблемам для объекта управления. Рассматривая проблему обеспечения качества информации в информационных системах, исследователи выделяют различные аспекты ее решения [1 – 5]. В качестве одного из факторов повышения качества информации является формализация структуры документов и создание интеллектуальных программных средств поддержки оборота формализованных документов. Введение формализованных документов должно базироваться на строгих математических моделях, отражающих концептуальный (структурно-логический) аспект предметной области. Авторами в настоящей работе в основу построения таких моделей положена общая алгебраическая метамодель (теория полусхем), впервые предложенная Жолткевичем Г. Н. и Семеновым Т. В. в работе [6]. Дальнейшее развитие этот аппарат получил благодаря работе [7], авторами которой удалось представить общую метамодель средствами реляционной алгебры и, тем самым, обеспечить ее технологическую поддержку. Несмотря на то, что теория полусхем оперирует с экземплярами (образцами [6]) понятий, однако исследование методов их обработки остаются за ее рамками. В связи с этим представляется перспективным расширение метамодели в этом направлении. Первый шаг сделан в работе [8], где показано, что каждый образец понятия полусхемы изоморфен некоторому маркированному графу. Несмотря на теоретическую важность этого результата, проясняющего структуру образцов понятий в теории полусхем, практическое его использование требует технологического обеспечения обработки и хранения маркированных деревьев, представляющих образцы понятий.

Целью настоящей работе является исследование возможности использования реляционной модели данных для организации хранения образцов полусхемы.

В настоящей работе используется система обозначений и определений работ [6, 7], которая приводится ниже.

Для пары множеств X, Y обозначим

$M_+(X, Y)$ – множество частичных, хотя бы где-то определенных, отображений из X в Y ;

$\text{dom}(f)$ – область определения отображения $f \in M_+(X, Y)$;

$\text{im}(f)$ – область значения отображения $f \in M_+(X, Y)$;

xR – подмножество $\{y \in Y \mid (x, y) \in R\}$ для бинарного отношения R между множествами X и Y ;

X^* – множество конечных последовательностей элементов множества X , включающее пустую последовательность, которая всегда обозначается символом ε ;

$h(x_1 \dots x_k) = x_1$ – для любой непустой последовательности элементов множества X ;

$t(x_1 x_2 \dots x_k) = x_2 \dots x_k$ – для любой непустой последовательности элементов множества X .

Полусхемой предметной области назовем тройку $S = (N, R, D)$, где N, R – конечные множества понятий и ролей соответственно, $D \subset N \times M_+(R, N)$, для которой выполняется условие:

для $n \in N, f, g \in M_+(R, N), r \in R$ таких, что $(n, f) \in D, (n, g) \in D$ и $r \in \text{dom}(f) \cap \text{dom}(g)$, верно $f(r) = g(r)$.

Для полусхемы $S = (N, R, D)$ понятие $n \in N$ называется **базовым**, если для всякого $f \in M_+(R, N)$ выполняется $(n, f) \notin D$. Множество базовых понятий полусхемы будем обозначать N_0 .

Пусть $S = (N, R, D)$ является полусхемой и для некоторого $n \in N$ существует $f \in M_+(R, N)$ такое, что $(n, f) \in D$. Тогда будем говорить, что для понятия n задан **вариант определения** f .

В работе [7] показано, что полусхема может быть однозначно представлена реляционной базой данной с двумя отношениями. Концептуальная модель базы данных в нотации языка UML представлена на рис. 1. Соответствующие этой модели семантические ограничения приведены ниже на языке OCL (Object Constraint Language) [9].

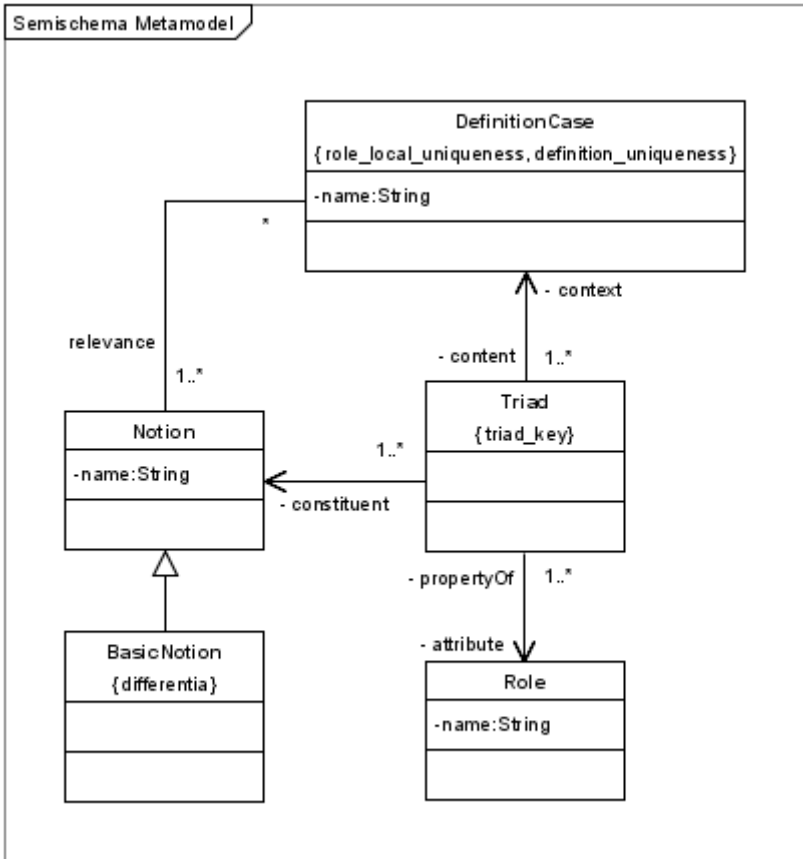


Рис. 3. UML метамодель полусхем.

package SemischemaMetamodel

context BasicNotion **inv** differentia :
 self.relevance->size() = 0

context Triad **inv** triad_key :
 self.attribute.propertyOf->intersection(
 self.context.content) = Set{self}

context DefinitionCase **inv** definition_uniqueness :
 DefinitionCase.allInstances()->select(f : DefinitionCase |
 f.content = self.content) = Set{self}

context DefinitionCase **inv** role_local_uniqueness :

```

DefinitionCase.allInstances()->forall(f |
  DefinitionCase.allInstances()->forall(g |
    f <> g and f.relevance->intersection(
      g.relevance)->notEmpty() and
    forall(r : Role |
      f.content.attribute->intersection(
        g.content.attribute)-

```

>includes(r) **implies**

```

  f.content->select(t : Triad |
    t.attribute = r).constituent =
  g.content->select(t : Triad |
    t.attribute = r).constituent)))

```

endpackage

В работе [8] определено маркированное дерево.

Под деревом мы будем понимать ориентированный граф

$$G = (\mathbf{V}, \mathbf{E}, \text{beg} : \mathbf{E} \rightarrow \mathbf{V}, \text{end} : \mathbf{E} \rightarrow \mathbf{V}),$$

обладающий следующими свойствами:

1. множество $\mathbf{V} - \text{end}(\mathbf{E})$ состоит из одного элемента, который обозначается через `root` и называется корнем дерева;
2. для каждого $v \in \mathbf{V}$, отличного от `root`, существует единственный путь, началом которого является `root`, а концом v .

Маркированным деревом называется восьмерка

$$T = (\mathbf{V}, \mathbf{E}, M_{\mathbf{V}}, M_{\mathbf{E}}, \text{beg} : \mathbf{E} \rightarrow \mathbf{V}, \text{end} : \mathbf{E} \rightarrow \mathbf{V}, \\ m_{\mathbf{V}} : \mathbf{V} \rightarrow M_{\mathbf{V}}, m_{\mathbf{E}} : \mathbf{E} \rightarrow M_{\mathbf{E}}),$$

для которой $(\mathbf{V}, \mathbf{E}, \text{beg} : \mathbf{E} \rightarrow \mathbf{V}, \text{end} : \mathbf{E} \rightarrow \mathbf{V})$ является деревом.

Как показано в работе [8], образцы понятий, определенные в [6] являются специальным образом маркированными деревьями.

Для полусхемы $S = (\mathbf{N}, \mathbf{R}, \mathbf{D})$ маркированное дерево

$$T = (\mathbf{V}, \mathbf{E}, \mathbf{D} \cup \mathbf{N}_0, \mathbf{R}, \text{beg} : \mathbf{E} \rightarrow \mathbf{V}, \text{end} : \mathbf{E} \rightarrow \mathbf{V}, \\ m_{\mathbf{V}} : \mathbf{V} \rightarrow \mathbf{D} \cup \mathbf{N}_0, m_{\mathbf{E}} : \mathbf{E} \rightarrow \mathbf{R}),$$

удовлетворяющее следующим условиям:

1. $m_{\mathbf{V}}(v) \in \mathbf{N}_0$ тогда и только тогда, когда v – лист дерева;
2. если $m_{\mathbf{V}}(v) = (n, f) \in \mathbf{D}$, то $m_{\mathbf{E}}$ устанавливает взаимно однозначное соответствие между $\{e \in \mathbf{E} \mid \text{beg}(e) = v\}$ и $\text{dom}(f)$;

3. если $v, v' \in \mathbf{V}$, $e \in \mathbf{E}$, $\text{beg}(e) = v$, $\text{end}(e) = v'$, $m_V(v) = (n, f)$, а $m_V(v') = (n', g)$ (для некоторого g) или $m_V(v') = n'$, и $m_E(e) = r$, то $f(r) = n'$,

будем называть образцом понятия n_0 , где $m_V(\text{root}) = (n_0, f_0)$ для некоторого f_0 .

На рис. 2 представлена концептуальная модель образца полусхемы и далее приведены ограничения целостности на языке OCL.

package PatternModel

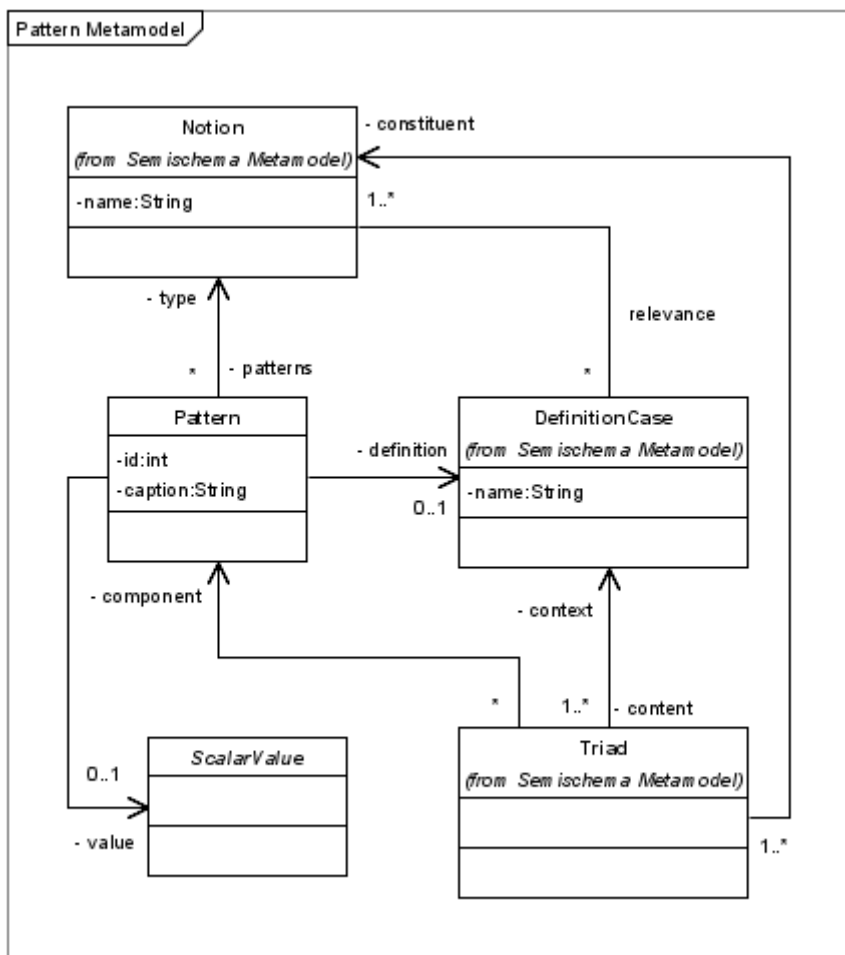


Рис. 4. UML метамодель образца полусхемы

```

context Pattern inv basic_or_complex :
    self.type.ocllsType(BasicNotion) implies
        self.definition->isEmpty() and
        self.value->notEmpty()

and
not self.type.ocllsType(BasicNotion) implies
    self.definition->notEmpty() and
    self.value->isEmpty()

context Pattern inv integrity :
    self.type.relevance->includes(self.definition)

```

endpackage

Таким образом, в настоящей работе

1. показано, что для хранения образцов полусхемы можно использовать реляционную модель данных, концептуальная модель которой представлена на рис. 2;
2. выявлены семантические ограничения для предложенной модели.

В дальнейшем необходимо построить аксиоматическую модель реляционной базы данных для хранения образцов полусхемы и разработать методы проверки корректности хранилища образцов полусхемы, базирующиеся на реляционном исчислении.

Список литературы: 1. *Rose F.* The Economics, Concept, and Design of Information Intermediaries. – Berlin: Springer, 1999. – 266 p. 2. *Аксенов Е.* Качество информации: от очистки данных – к модели предприятия. – PCWEEK. Корпоративные системы. – №36(354), 2002. – <http://www.pcweek.ru/Year2002/N36/CP1251/CorporationSystems/chapt1.htm>. 3. *Eppler M. J.* Managing Information Quality. – Berlin: Springer, 2003. – 302 p. 4. *Sy B. K., Gupta A.K.* Information-Statistical Data Mining: Warehouse Integration with Examples of Oracle Basics. – The International Series in Engineering and Computer Science. – Vol. 757, 2004. – 312 p. 5. *Bacharach M., Board O.* The quality of information in electronic groups. – Netnomics. – № 4, 2002. – Pp. 73 – 97. 6. *Жолткевич Г. Н., Семенова Т. В.* К проблеме формализации концептуального моделирования информационных систем. – Вісник Харк. нац. ун-та. Серія „Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління”. – № 605(2), 2003. – С. 33 – 42. 7. *Жолткевич Г. Н., Семенова Т. В., Федорченко К. А.* Представление полусхем предметных областей информационных систем средствами реляционных баз данных. – Вісник Харк. нац. ун-та. Серія „Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління”. – № 629(3), 2004. – С. 11 – 24. 8. *Жолткевич Г. Н., Ибрахим Ахмад Юсеф Ибрахим.* О возможности представления образцов понятий полусхем маркированными деревьями. – X.: Системи обробки інформації. – Вип. 2 (51), 2006. – С. 20 – 26. 9. OMG Unified Modelling Language Specification. Version 1.5. – An Adopted Formal Specification of the Object Management Group, Inc. – 2003. – 736 p.

Поступила в редколлегию 02.04.06

Т.В. СЕМЕНОВА, аспирант ХНУ имени В. Н. Каразина

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШАБЛОНОВ ПОЛУСХЕМ В ПРОЦЕССЕ ПОСТРОЕНИЯ СТРУКТУРНО-ЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

У статті наведено апарат шаблонних напівсхем, як розвиток теорії напівсхем, що була запропонована у [1-2]. Розглядаються засоби використання шаблонних напівсхем у процесі побудови структурно-логічної моделі предметної області інформаційної системи.

1. Актуальность и постановка задачи.

Компьютеризованные информационные системы играют важную роль в современной промышленности, науке, технике и социальной сфере. Постоянно растущая сложность таких систем приводит к необходимости использования широкого спектра инструментальных программных средств для их разработки, что позволяет создателям системы построить комплекс согласованных моделей разрабатываемой системы и обеспечить таким образом повышение качества проектирования. Развитие программной индустрии в направлении автоматизации разработки информационных систем на базе комплексного моделирования существенных аспектов системы иллюстрируется созданием технологических решений, базирующихся на языке UML [3]. Интеграция моделей, регламентируемых языком UML, обеспечивает достаточно адекватное определение проектируемой системы.

Исследователи процессов разработки программных систем выделяют три основных аспекта, которые должны найти отражение в проектных документах на систему: данные, объекты или концепции и их структуры; архитектуру или невременные процессы; и динамику или поведение системы [4]. При этом для представления и анализа данных и их структуры используются структурно-логические модели. Общеизвестно, что процесс построения структурно-логической (концептуальной) модели предметной области является базовым и основополагающим при разработке информационной системы [5]. Ошибки и неточности, допущенные на этапе концептуального моделирования, являются наиболее дорогостоящими, поскольку требуют фактически полного повторения проектного процесса.

Сложность процесса концептуального моделирования объясняется тем, что он состоит в формализации и структуризации знаний, выделении базовых понятий предметной области и формулировке их определений, установление взаимосвязей между выделенными понятиями на основании представлений экспертов предметной области. Процесс концептуального моделирования требует доработок и уточнения модели, проверки корректности определенных в ней понятий предметной области и

установленных взаимосвязей, и, следовательно, имеет итеративный характер. Следует отметить, что существующие CASE-средства [6-7] не поддерживают указанные выше особенности структурно-логического моделирования. Следует отметить, что в большинстве своем для этапа концептуального проектирования они предоставляют только графические редакторы и средства визуализации диаграммы.

В связи с этим в работах [1, 2] авторами предложен алгебраический подход к построению концептуальных моделей предметных областей, базирующийся на введенном ими классе алгебраических объектов – полусхем. Этот подход позволил построить алгоритмы проверки корректности концептуального описания предметной области с точки зрения существования образцов понятий, определяемых полусхемой. Полусхема, корректная в том смысле, что все определяемые ее понятия имеют не менее одного образца, названа авторами схемой предметной области. Таким образом, схема может рассматриваться как концептуальная модель предметной области, поскольку фиксирует только структурные отношения между понятиями.

Настоящая работа посвящена дальнейшему исследованию схем, которые используются в качестве формализованной структурно-логической модели предметной области. В частности, рассматривается вопрос выделения шаблонных схем, которые позволят усовершенствовать процесс создания модели предметной области и облегчить ее анализ.

2. Основная часть.

2.1. Введение в теорию полусхем

Приведем основные понятия и определения теории полусхем [1].

N – конечное множество, элементы которого соответствуют именам понятий предметной области.

R – конечное множество, элементы которого соответствуют именам ролей, т.е. ссылкам внутри экземпляра понятия на его структурные части.

Для пары множеств X, Y обозначим $M_+(X, Y)$ – множество частичных, хотя бы где-то определенных, отображений из X в Y .

Определение 1.

Полусхемой предметной области называется тройка $S = (N, R, D)$, где N, R – конечные множества, $D \subset N \times M_+(R, N)$, для которой выполняется условие: для $n \in N, f, g \in M_+(R, N), r \in R$ таких, что $(n, f) \in D, (n, g) \in D$ и $r \in \text{dom}(f) \cap \text{dom}(g)$, верно $f(r) = g(r)$.

Частичное отображение $\tau: N \times R \rightarrow N$ задается следующим образом: $\tau(n, r)$ определено в том и только том случае, если существует $f \in M(R, N)$,

для которого $(n, f) \in D$, $r \in \text{dom}(f)$ при этом $\tau(n, r) = f(r)$. Можно рассмотреть расширенный вариант частичного отображения $\tau: N \times R^* \rightarrow N$.

Определение 2.

Пусть тройка $S = (N, R, D)$ является полусхемой и для некоторого $n \in N$ существует $f \in M_+(R, N)$ такая, что $(n, f) \in D$. Тогда говорят, что для понятия n задан вариант определения f .

Определение 3.

Именующей нитью понятия n называется элемент (n, w) из множества $N \times R^*$, который удовлетворяет одному из следующих условий:

1. $w = e$ и $(n, \varepsilon) \in D$;
2. для $w = r_1 r_2 \dots r_k$ в последовательности $n_0 = n$, $n_i = \tau(n_{i-1}, r_i)$, где $i = 1, \dots, k$, все члены определены.

Множество именующих нитей понятия n обозначается через $T(n)$.

Можно рассмотреть расширенный вариант частичного отображения $\tau: T \rightarrow N$, где $T = \bigcup_{n \in N} T(n)$.

Определение 4.

Пусть $n \in N$, $t \in T(n)$. Если $\tau(t) \in N_0$, то t называется терминальной именующей нитью, где $N_0 = \{n \in N \mid (n, \varepsilon) \in D\}$. Элементы множества N_0 называются базовыми понятиями.

Через $T_0(n)$ обозначается множество терминальных именующих нитей понятия n , а через $F(T_0(n))$ множество всех конечных подмножеств множества $T_0(n)$.

Ключевым в предлагаемой модели является следующее

Определение 5.

Образцом понятия $n \in N$ называется конечное множество p терминальных именующих нитей этого понятия, удовлетворяющее следующему условию:

для всякой именующей нити $t = (n, w) \in p$ и для всякого представления w в виде $w_1 r w_2$, где $w_1, w_2 \in R^*$, $r \in R$, найдется единственное отображение

$f \in M(\mathbb{R}, \mathbb{N})$, для которого $(\tau(n, w_1), f) \in D$, $r \in \text{dom}(f)$, и для всех $r' \in \text{dom}(f)$ в p найдется нить вида $(n, w_1 r' v_{r'})$ для некоторого $v_{r'} \in \mathbb{R}^*$.

Через $P(n)$ обозначается множество образцов понятия $n \in \mathbb{N}$, а через $P = \bigcup_{n \in \mathbb{N}} P(n)$ – множество всех образцов понятий из \mathbb{N} .

Определение 6.

Полусхема $S = (\mathbb{N}, \mathbb{R}, D)$ называется схемой, если для любых $n \in \mathbb{N}$ и $f \in M(\mathbb{R}, \mathbb{N})$, для которых выполнено $(n, f) \in D$, можно построить хотя бы один образец $p \in P(n)$ в соответствии с вариантом определения f , т.е.

$$(n, f) \in D \text{ и } p = \bigcup_{r \in \text{dom}(f)} \{t \in p \mid \exists (w \in \mathbb{R}^*) t = (n, rw)\}$$

Из сформулированного свойства схемы следует тот факт, что, если представленная в терминах полусхем предметная область является схемой, то все понятия определены корректно, так как имеют хотя бы один образец. Таким образом, процесс построения структурно-логической модели предметной области можно условно разбить на два этапа: первый - описание определений понятий предметной области и связей между ними в терминах полусхем; второй - проверка свойств схемы для построенной полусхемы.

Кроме того, для дальнейшего изложения материала нам потребуется понятие морфизма полусхем, которое более подробно обсуждается в [8].

Определение 7.

Пусть $S_1(\mathbb{N}_1, \mathbb{R}_1, D_1)$ и $S_2(\mathbb{N}_2, \mathbb{R}_2, D_2)$ - полусхемы. Морфизмом $\varphi: S_1 \rightarrow S_2$ называется пара отображений $\varphi = (\varphi_N, \varphi_R)$ таких, что $\varphi_N: \mathbb{N}_1 \rightarrow \mathbb{N}_2$, $\varphi_R: \mathbb{R}_1 \rightarrow \mathbb{R}_2$ и выполнено соотношение

$$(\forall n \in \mathbb{N}_1)(\forall f \in nD_1)(\exists g \in \varphi_N(n)D_2) \quad \varphi_N \circ f = g \circ \varphi_R.$$

Для представления полусхем используется следующая графическая нотация. Понятия (сущности) предметной области обозначаются прямоугольниками, а варианты определения – окружностями с закрашенным центром.

Приведем пример.

Рассмотрим предметную область, в которой определяется понятие курса (дисциплины). Курс характеризуется названием и количеством часов, а также перечнем тех курсов, которые необходимо изучить предварительно.

Графическое представление соответствующей полусхемы приведено на рис. 1.

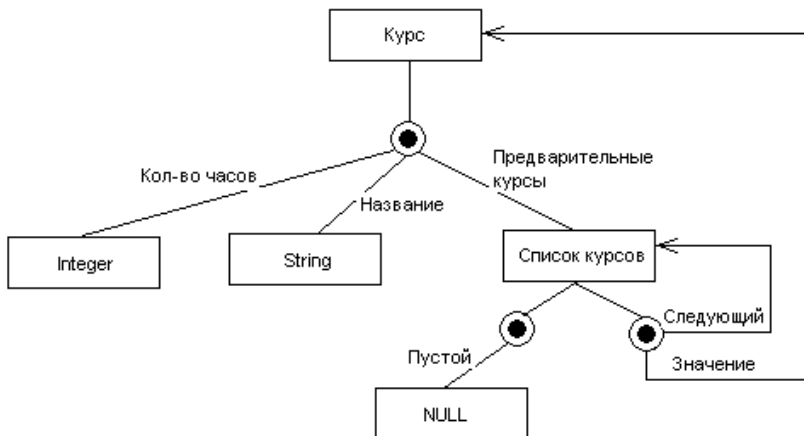


Рис. 1.

2.2. Понятие десигната

Перейдем к дальнейшему исследованию полусхем. Среди множества всех полусхем выделим подмножество таких, которые, упрощенно говоря, служат для определения некоторого единого понятия. Поскольку тройка $S = (N, R, D)$, полученная в результате определения одного понятия, также является полусхемой, это не противоречит общей теории. Такие полусхемы назовем десигнатами некоторого понятия.

Определение 8.

Пусть $S = (N, R, D)$ - полусхема и n, m - понятия из N . Будем говорить, что понятие m используется в определении понятия n , если существует такая нить $t = (n, w)$, что $\tau(t) = m$.

Введем ряд обозначений.

Пусть $N_k = \{n \in N \mid (\exists t = (k, w)) \tau(t) = n\}$ - множество понятий,

использующихся в определении понятия k из N . Очевидно, что $k \in N_k$, так как $\tau(k, \varepsilon) = k$.

Пусть $R_k = \{r \in R \mid (\exists n \in N_k) (\exists f \in M(R, N)) (n, f) \in D \wedge r \in \text{dom}(f)\}$ -

множество ролей, использующихся в определении понятия k из N .

Пусть $D_k = \{(n, f) \in D \mid n \in N_k\}$.

Утверждение 1.

Пусть $S = (N, R, D)$ - полусхема. Тройка $S_k = (N_k, R_k, D_k)$, где N_k, R_k, D_k определены выше, является полусхемой.

Определение 9.

Будем говорить, что полусхема $S = (N, R, D)$ является *десигнатом* понятия $n \in N$, если $S_n = S$.

Поясним введенное определение на примере.

Пример 1.

Пусть полусхема $S = (N, R, D)$ определена следующим образом:

$$N = \{n, n_1, n_2, n_3, n_4\}$$

$$R = \{r_1, r_2, r_3, r_4\}$$

$$D = \{(n, f), (n_2, g)\},$$

где функции $f, g \in M(R, N)$ определены следующим образом:

$$f(r_1) = n_1, f(r_2) = n_2, g(r_3) = n_3, g(r_4) = n_4.$$

Графическое представление полусхемы $S = (N, R, D)$ приведено на рис. 2.

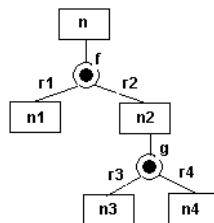


Рис. 2.

Приведенная полусхема S является десигнатом понятия n , так как $S_n = S$. С другой стороны, полусхема S не является десигнатом понятия n_2 , поскольку $N_{n_2} = \{n_2, n_3, n_4\}$, а следовательно $N_{n_2} \neq N$.

Отметим, что полусхема может являться десигнатом сразу относительно нескольких понятий.

2.3. Операции на полусхемах

Для дальнейшего исследования необходимо ввести ряд операций.

Определение 10.

Пусть $S_1 = (N_1, R_1, D_1)$ и $S_2 = (N_2, R_2, D_2)$ - полусхемы. Будем говорить, что полусхема S_2 слабо включает полусхему S_1 (обозначение $S_1 \subset S_2$), если выполнены следующие условия:

1) $N_1 \subset N_2, R_1 \subset R_2$

2) существует морфизм $\varphi: S_1 \rightarrow S_2$ такой, что

$$\varphi = (\varphi(i_N, i_R), i_N: N_1 \rightarrow N_2, i_R: R_1 \rightarrow R_2)$$

Поясним приведенное определение на примере.

Пример 2.

Пусть полусхема $S_1 = (N_1, R_1, D_1)$ определена следующим образом:

$$N_1 = \{n, n_3, n_4\},$$

$$R_1 = \{r_3, r_4\},$$

$$D = \{(n, g)\},$$

где функция $g \in M(R, N)$ определены

следующим образом: $g(r_3) = n_3$, $g(r_4) = n_4$.

Графическое представление полусхемы $S_1 = (N_1, R_1, D_1)$ приведено на рис. 3.

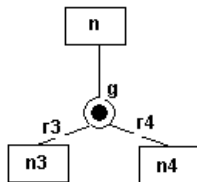


Рис. 3.

Пусть полусхема $S_2 = (N_2, R_2, D_2)$ определена следующим образом:

$$N_2 = \{n, n_1, n_2, n_3, n_4\}$$

$$R_2 = \{r_1, r_2, r_3, r_4\}$$

$$D = \{(n, f), (n, g)\},$$

где функции $f, g \in M(R, N)$ определены

следующим образом: $f(r_1) = n_1$, $f(r_2) = n_2$,

$g(r_3) = n_3$, $g(r_4) = n_4$. Графическое

представление полусхемы $S_2 = (N_2, R_2, D_2)$ приведено на рис. 4.

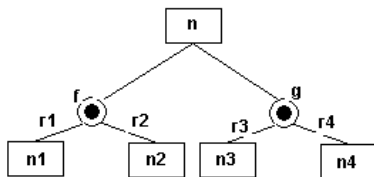


Рис. 4.

Полусхема S_2 слабо включает полусхему S_1 .

Как следует из примера, слабое включение в одну сторону не влечет за собой слабого включения в обратную сторону.

Замечание

Пусть $S_1 = (N_1, R_1, D_1)$ - полусхема и $S_2 = (N_2, R_2, D_2)$ - схема. При этом S_2 слабо включает S_1 . Тогда S_1 не обязательно является схемой.

Определение 11.

Пусть $S_1 = (N_1, R_1, D_1)$ и $S_2 = (N_2, R_2, D_2)$ - полусхемы. Будем говорить, что полусхема S_2 сильно включает полусхему S_1 (обозначение $S_1 \prec S_2$), если выполнены следующие условия:

1) $S_1 \subset S_2$

2) $(\forall n \in N_1)(\forall f : (n, f) \in D_2)(n, f) \in D_1$

Для полусхем S_1 и S_2 из Примера 2 сильное включение не выполнено, поскольку для понятия $n \in N_1$ (а значит $n \in N_2$) в полусхеме S_2 имеется вариант определения f , т.е. $(n, f) \in D_2$, но при этом $(n, f) \notin D_1$.

Утверждение 2.

Пусть $S_1 = (N_1, R_1, D_1)$ - полусхема и $S_2 = (N_2, R_2, D_2)$ - схема. Если $S_1 \prec S_2$, то тогда S_1 также является схемой.

Определение 12.

Пусть $S_1 = (N_1, R_1, D_1)$ и $S_2 = (N_2, R_2, D_2)$ - полусхемы. Полусхема $S = (N, R, D)$ является пересечением полусхем S_1 и S_2 (обозначение $S = S_1 \cap S_2$), если $S \prec S_1$ и $S \prec S_2$ и S является максимальной в том смысле, что не существует такой полусхемы \tilde{S} , что $S \prec \tilde{S}$ и каждая из полусхем S_1 и S_2 сильно включает \tilde{S} .

Определение 13.

Пусть $S_1 = (N_1, R_1, D_1)$ и $S_2 = (N_2, R_2, D_2)$ - полусхемы и $\varphi = (\varphi_N, \varphi_R)$ - морфизм из S_1 в S_2 . Образом морфизма φ будем называть тройку $\tilde{S} = (\tilde{N}, \tilde{R}, \tilde{D})$ такую, что:

- 1) $\tilde{N} = \varphi_N(N_1)$, $\tilde{R} = \varphi_R(R_1)$
- 2) для каждого $n \in \tilde{N}$ выполнено

$$n\tilde{D} = \left\{ g \in M(\tilde{R}, \tilde{N}) \mid (\exists n \in N_1)(\exists f \in nD_1)\varphi_N \circ f = g \circ \varphi_R \right\}$$

2.4. Шаблонная полусхема.

Определение 14.

Пусть $S_1 = (N_1, R_1, D_1)$ и $S_2 = (N_2, R_2, D_2)$ - полусхемы. Будем говорить, что S_2 является **встроенным шаблоном** для S_1 , если выполнены следующие условия:

- 1) существует морфизм $\varphi: S_2 \rightarrow S_1$
- 2) S_2 является концептом
- 3) $\varphi(S_2) \prec S_1$

Пример 3.

Пусть полусхема S_1 задана графически, как показано на Рис. 5.

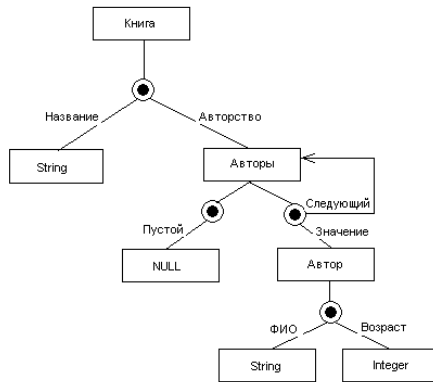


Рис.5.

Полусхема S_2 , представленная на Рис. 6, является встроенным шаблоном для S_1 .

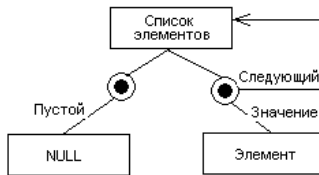


Рис. 6.

Приведем определение соответствующего морфизма $\varphi: S_2 \rightarrow S_1$:

$$\varphi_N(\text{Список_элементов}) = \text{Авторы}, \quad \varphi_N(\text{Null}) = \text{Null},$$

$$\varphi_N(\text{Элемент}) = \text{Автор}, \quad \varphi_R(\text{Пустой}) = \text{Пустой},$$

$$\varphi_R(\text{Следующий}) = \text{Следующий}, \quad \varphi_R(\text{Значение}) = \text{Значение}$$

Следует отметить, что список элементов часто встречается в определении понятий, а потому выделение его как шаблона позволит оптимизировать процесс проектирования.

Утверждение 4.

Если S_2 - шаблонная полусхема для S_1 , а S_3 - шаблонная полусхема для S_2 , то S_3 является шаблонной полусхемой и для S_1 .

Обозначим через $T(S)$ множество шаблонных полусхем для S .

Очевидно, что в силу конечности множеств N , R , D множество $T(S)$ является конечным.

Можно провести факторизацию множества $T(S)$ относительно отношения изоморфности полусхем Q . Тогда $T(S)/Q$ - фактор множество, а $[\tilde{S}] \in T(S)/Q$ - представитель класса шаблонных полусхем.

3. Выводы.

Выделение набора шаблонных полусхем для заданной предметной области дает возможность выделить типичные для нее определяющие структуры. Это позволяет объективировать шаблонные конструкции, свойственные данной предметной области, что может стать полезным при дальнейшем проектировании и разработке информационной системы.

Шаблонные полусхемы могут применяться также на этапе проектирования исходной полусхемы. Опыт показывает, что существует набор стандартных конструкций (шаблонов), которые используются в большинстве предметных областей. К таким шаблонным конструкциям относится, например, список понятий. Определение списка в терминах полусхем является несложной, но трудоемкой задачей, если в определении понятий список будет участвовать достаточно часто. Решением указанной проблемы может стать выделение списка в качестве шаблонной полусхемы.

Еще одним важным применением шаблонных полусхем может стать определение шаблонных конструкций самим проектировщиком. Это особенно актуально, если в предметной области используются типичные конструкции для определения большого числа понятий. Следует отметить, что выделение шаблонных полусхем еще на этапе проектирования, позволяет разработчику структурировать свои знания о предметной области, что является несомненным достоинством и дает преимущества на последующих этапах проектирования и разработки информационной системы.

Список литературы: 1. Жолткевич Г.Н., Семенова Т.В. К проблеме формализации концептуального моделирования информационных систем // Вісник Харківського національного університету. Серія «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління», №605, 2003, с. 33-42. 2. Жолткевич Г.Н., Семенова Т.В., Федорченко К.А. Представление полусхем предметных областей информационных систем средствами реляционных баз данных // Вісник Харківського національного університету. Серія «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління», №629, 2004, с. 11-24. 3. Буч Г., Якобсон А., Рамбо Дж. UML. Классика CS. 2-е изд. / Пер. с англ.; Под общей редакцией проф. С. Орлова – СПб.: Питер, 2006. – 736 с. 4. Сомервилл, Ифн. Инженерия программного обеспечения, 6-у издание. : Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2002. – 624с.: ил. 5. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. – М.: Высш. шк., 1985. – 271 с., ил. 6. Боггс У., Боггс М. UML и Rational Rose. - М.: "ЛЮРИ", 2000. - 582 с. 7. Кватрани, Терри Rational Rose 2000 и UML. Визуальное моделирование : перевод с : англ. / Терри Кватрани ; Предисл. Грейди Буч ; перевод А.Б. Литвин . - М. : ДМК Пресс, 2001 . - 176 с. 8. Семенова Т.В. Морфизмы полусхем и их приложения. // Вісник Харківського національного університету. Серія «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління», №703, 2005, с. 198-206.

Поступила в редколлегию 03.04.06

Н.В. ШАРОНОВА, д-р. техн. наук, ***О.В. КАНИЩЕВА, САЙЕД
МОХАММАД ТАУХИД СИДДИКИ***

ЭФФЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИЙ DATA MINING

У статті розглянуто метод компараторної ідентифікації, як один із логічних методів Data Mining, для розв'язання задач обробки текстів природної мови у автоматизованих інформаційних бібліотечних системах. При цьому ставиться завдання розв'язання таких проблем: представлення знань у бібліотечній системі; розробка природно-мовного інтерфейсу бібліотечної системи та моделювання певних інтелектуальних функцій людини для аналітико-синтетичної обробки документів.

Введение. Автоматизация библиотечно-информационных процессов, систем и сетей обусловлена непрерывно увеличивающимся объемом различной информации во всех отраслях человеческой деятельности и соответствующими потребностями пользователей оперативно, полно и качественно получать документные и электронные первоисточники. Эти потребности, совмещенные со сложностью и трудоемкостью неавтоматизированной обработки нарастающего информационного потока, стимулировали в нашей стране проникновение компьютеров и связанных с ними средств и технологий в практику библиотечно-информационной работы. Сегодняшняя автоматизированная информационно-библиотечная система (АИБС) представляет собой наиболее продвинутую современную информационно–поисковую систему, обеспечивающую поиск среди больших массивов информации по различным критериям.

Современные компьютерные технологии позволяют накопить за короткий промежуток времени гигантский объемы информации. Для обработки этой информации в последнее время появились решения, известные под общим названием “Data mining”. Эти решения позволяют обнаруживать в сырых численных данных при помощи математических методов (моделирование, прогнозирование, кластеризация, классификация и т.д.) ранее неизвестные нетривиальные практически полезные и доступные для интерпретаций новые знания. Как правило, методы Data mining оперируют однородными данными нескольких типов (покупатели – товары, история торгов – цены на акции и т.д.). С появлением Интернета и систем электронного документооборота все большее количество информации стало храниться в текстовом виде. Это привело к появлению решений для обработки текстовой информации – Text mining. Такие системы осуществляют при помощи лингвистических методов следующие действия: тематический поиск в текстах, классификация документов, ответ на запросы, тематическое индексирование документов, поиск по ключевым словам, выявление объектов и связей между ними, реферирование и т.д. [1,2].

Постановка задачи. Целью данного исследования является разработка математического и лингвистического обеспечения АИБС, представляющего собой модели, алгоритмы и методы, охватывающие процессы классификации, предметизации, реферирования, аннотирования и т.п. При этом ставится задача решения трёх теоретических проблем: представления знаний библиотечной системы; компьютерная лингвистика, решение которой обеспечивает разработку естественно-языкового интеллектуального интерфейса библиотечной системы; и моделирование интеллекта человека в процессе «понимания» при аналитико-синтаксической обработке документа.

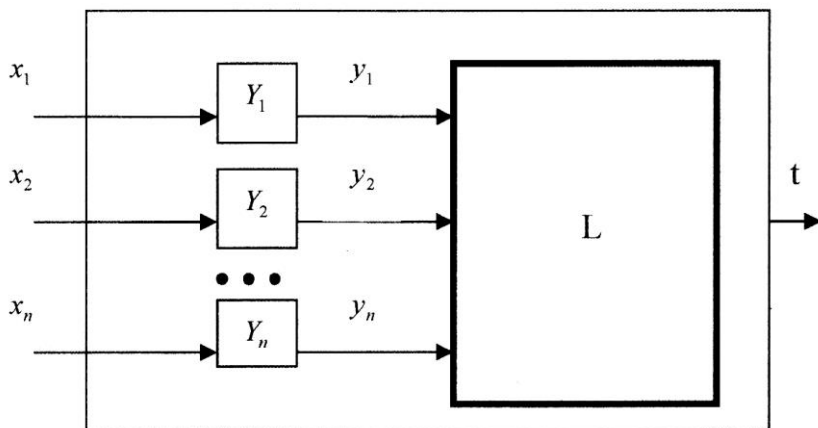
Метод компарации при работе с информационными объектами. Систематизация документов и организация предметно–тематического поиска в базах данных библиотечной системы определяется, прежде всего, инструментом (методикой) системы классификации, используемой в конкретном каталоге. Соответствие найденной информации запросу пользователя зависит от выбранных правил структурного объединения баз данных, в основе которых лежит методология классификации объектов. Для построения модели классификации документов в полнотекстовой базе данных и ключевых слов в словаре предлагается использовать один из основных методов теории интеллекта – метод сравнения, или метод компараторной идентификации информационных объектов [3, 4].

Классическая задача идентификации состоит в том, что по входному x и выходному y сигналам объекта определить закон $y = F(x)$ преобразования сигнала этим объектом. Такую идентификацию называют прямой, поскольку она осуществляется при непосредственном доступе к выходному сигналу объекта. Однако в ряде случаев возникает необходимость в косвенной идентификации объекта, когда у исследователя нет прямого доступа к выходному сигналу. Многие задачи этого типа можно решать методом компараторной идентификации объекта. Данный метод позволяет излагать основные положения теории интеллекта дедуктивным способом, исходя исключительно из физически наблюдаемых фактов, он хорошо зарекомендовал себя при обработке лингвистических объектов различных уровней языка.

Обрабатываемые библиотечными системами объекты являются дискретными, конечными и детерминированными, что позволяет использовать при обработке объектов АИБС метод компараторной идентификации. Сущность метода представлена на рисунке.

На вход системы подаётся множество сигналов x_1, x_2, \dots, x_n . Под сигналом мы понимаем условные знаки, служащие для передачи информации (тексты документов, ключевые понятия и т.д.). Входные сигналы берутся из конечных множеств X_1, X_2, \dots, X_n , причём $x_1 \in X_1, x_2 \in X_2, \dots, x_n \in X_n$. В результате работы системы, осуществляющей обработку библиотечной информации, на выход поступает определённое множество элементов

y_1, y_2, \dots, y_n . В нашем случае под y_1, y_2, \dots, y_n можно понимать ключевые понятия, дескрипторы УДК, ББК и т.д. Причем $y_1 \in Y_1, y_2 \in Y_2, \dots, y_n \in Y_n$.



Сущность метода компараторной идентификации

Элементы y_1, y_2, \dots, y_n однозначно зависят от сигнала x_1, x_2, \dots, x_n . Это означает, что существуют функции $y_1 = f_1(x_1), y_2 = f_2(x_2), \dots, y_n = f_n(x_n)$, которые ставят в соответствие каждому $x_1 \in X_1, x_2 \in X_2, \dots, x_n \in X_n$ элемент $y_1 \in Y_1, y_2 \in Y_2, \dots, y_n \in Y_n$. Причем каждому из сигналов $x_i \in X_i$ соответствует вполне определенный элемент $y_i \in Y_i$. Таким образом, каждая из функций f_i представляет собой сюръекцию, отображающую множество X_i на множество $Y_i, i \in \{1, 2, \dots, n\}$. Сюръекцией называют всюду определенную функцию, у которой область значений совпадает с областью прибытия. Функции f_i характеризуют способность системы соотносить информацию, передаваемую условным знаком – сигналом с элементом, отражающим его смысл и соответствующим той или иной классификации.

В ходе работы системы проверяется существование некоторого отношения Q , связывающего элементы y_1, y_2, \dots, y_n , которые появляются на выходе системы после сигналов x_1, x_2, \dots, x_n , поступающих на вход системы. Если для этих элементов отношение Q выполняется, то компаратор присваивает переменной q значение 1; если не выполняется, то q присваивается значение 0. Таким образом, в процессе работы компаратор

реализует предикат $q = Q(y_1, y_2, \dots, y_n)$, соответствующий отношению Q . Предикат q характеризует механизм сравнения элементов y_1, y_2, \dots, y_n . Именно эта операция сравнения позволяет назвать данный метод методом компарации.

Предикат $P(x_1, x_2, \dots, x_n) = Q(f_1(x_1), f_2(x_2), \dots, f_n(x_n))$ характеризует работу системы, осуществляющую интеллектуальную библиографическую обработку документальной информации, которая на сигналы x_1, x_2, \dots, x_n реагирует ответом $q = P(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Моделирование любой из задач аналитико-синтаксической обработки информации заключается в том, чтобы из свойств предиката P , осуществляющего компараторную идентификацию информационных объектов, извлечь внутреннюю структуру сигналов x_1, x_2, \dots, x_n , элементов y_1, y_2, \dots, y_n , вид функций f_1, f_2, \dots, f_n и вид предиката Q . В общем случае система получает k заданий, которые выполняет поочередно для различных наборов входных сигналов. Закономерности обработки сигналов записываются в виде системы логических условий:

$$\begin{cases} K_1(L_1, L_2, \dots, L_k) = 1 \\ K_2(L_1, L_2, \dots, L_k) = 1 \\ \dots \\ K_j(L_1, L_2, \dots, L_k) = 1, \end{cases} \quad (1)$$

связывающих между собой предикатные переменные L_1, L_2, \dots, L_k . Здесь K_1, K_2, \dots, K_j - предикаты от предикатов L_1, L_2, \dots, L_k . Предикат $L_i(x_1, x_2, \dots, x_n)$, $i \in \{1, 2, \dots, k\}$ задан на декартовом произведении $X_{1i} \times X_{2i} \times \dots \times X_{ni}$. Решение $L_1 = P_1, L_2 = P_2, \dots, L_k = P_k$ удовлетворяет системе уравнений (1).

Под универсумом элементов U мы будем понимать все возможные тексты документов полнотекстовой базы данных, вторичные документы (реферат, аннотация, библиография), ключевые понятия, дескрипторы, рубрики и подрубрики, входящие в рубрикатор АИБС и т.д. Из элементов универсума образуются подмножества $X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{ni}$, связанные с конкретной задачей обработки информации, в АИБС. На декартовых произведениях $X_{1i} \times X_{2i} \times \dots \times X_{ni}$ определены предикаты P_i , которые характеризуют работу системы, выполняющую ту или иную аналитико-синтаксическую обработку документально – информационных библиотечных потоков. Вводятся предикатные переменные L_1, L_2, \dots, L_k , которые связываются логическими уравнениями. Эти уравнения выступают исходными постулатами метода компараторной идентификации. Из них, как

из аксиом, дедуктивно выводятся зависимости, характеризующие внутреннюю структуру элементов универсума U и предикатов P_1, P_2, \dots, P_k .

Для решения этой задачи необходим единый универсальный, хорошо разработанный математический аппарат. Желательно, чтобы этот математический аппарат был ориентирован также и на моделирование всех уровней лингвистической обработки текстов документов. Опыт исследования закономерностей передачи информации на естественном языке, а именно с такой информацией мы имеем дело в библиотечных системах, показывает, что рационально пользоваться одним формальным аппаратом описания закономерностей передачи и интеллектуального преобразования информации. Необходимы формализмы для описания предикатов, которые реализуются при любом виде интеллектуальной библиотечной обработки текстовой информации, для формирования уравнений, описывающих свойства этих предикатов. Таким наиболее универсальным аппаратом, служащим для описания закономерностей обработки информации на естественном языке, и является алгебра конечных предикатов и метод компараторной идентификации [4, 5].

Множество всех n – арных предикатов, заданных на U^n , на котором определены операции дизъюнкции, конъюнкции и отрицания, называется алгеброй n – арных предикатов на U . При этом операции дизъюнкции, конъюнкции и отрицания являются базисными для алгебры предикатов. Алгебра предикатов при любом значении n является разновидностью булевой алгебры. Алгебра предикатов полна в том смысле, что любой ее предикат можно представить в виде суперпозиции базисных операций, примененных к базисным элементам. Показано, что на языке АКП могут быть описаны любые конечные отношения, поэтому любой другой математический аппарат, предназначенный для описания произвольных конечных отношений, в логическом смысле обязательно будет эквивалентен алгебре конечных предикатов [4].

Таким образом, метод компараторной идентификации позволяет пользователю вести узкотематический и многоаспектный поиск документов в полнотекстовых базах даны, а работникам библиотек автоматизировать процесс рубрикации, требующим специальных знаний в данной предметной области.

Основные результаты и выводы. Обзор современного состояния и перспектив развития математического и лингвистического обеспечения библиотечных систем показал, что значительную пользу может принести система детализированных моделей, служащих основой для конструирования интегральной АИБС. Ключевой проблемой этой области осталась автоматизация анализа содержания текстов документов, то есть аналитико-синтаксическая обработка (классификация, предметизация, систематизация и т.д.). Существующие библиотечные системы в своем большинстве статичны и не поддерживают динамичность библиотечных процессов, заключающихся,

прежде всего, в изменении условий классификации, возникающих в случае роста предметной области и развития знания.

В отличие от других ранее применяемых методов, метод компараторной идентификации, предложенный в данном исследовании для моделирования процессов обработки библиотечных объектов, позволяет моделировать процедуры интеллектуальной (в том числе семантической) обработки документов, учитывая изменение условий классификации путем корректировки словаря терминов. Классификация и систематизация документов в полнотекстовой базе данных основывается на тождественности текстов документов по отношению к определенной подтеме и тождественности ключевых терминов по отношению к определенной подрубке. Использование данного метода позволило ввести и обосновать понятие дескрипторно – текстового предиката, формально представляющего отношения между текстом и соответствующим ему ключевым термином.

Поскольку Data Mining - это процесс обработки ранее неизвестных нетривиальных практически полезных и доступных интерпретации знаний, необходимых для принятия решений в различных сферах человеческой деятельности, то предложенный в данной работе метод компараторной идентификации по отношению к библиотечным данным можно квалифицировать как один из логических методов, разрабатываемых в Data Mining. Таким образом, рассмотренные модели и методы обработки текстовой информации в АИБС, использующие основные подходы Data Mining и Text Mining, могут представлять интерес для разработчиков информационно – поисковых, экспертных, аналитических средств информационных систем широкого назначения.

Список литературы: 1. Пономарёв В.В. Концептуальная модель комплекса средств лингвистического и программного обеспечения экспертно – поисковой системы с элементами социопсихолингвистической детерминации. – М.: « ДИАЛОГ – МИФИ », 2004. С 3 – 10, С 17 – 19. 2. Шрайберг Я.Л. Основные положения и принципы разработки автоматизированных библиотечно-информационных систем и сетей: главные тенденции окружения, основные положения и предпосылки, базовые принципы. – М.: Либерея, 2001. – 104с. 3. Хайрова Н.Ф., Шаронова Н.В. Автоматизированные информационные системы: задачи обработки информации – Х.: Нар. укр. акад., 2002. – 120с. 4. Шабанов – Кушнарченко Ю.П.. Теория интеллекта: Проблемы и перспективы. Ю.П. Шабанов – Кушнарченко – Х.: Вища шк., 1987. – 158с. 5. Шабанов-Кушнарченко Ю.П., Шаронова Н.В. Компараторная идентификация лингвистических объектов. – К., ИСИО, 1993. – 116 с.

Поступила в редколлегию 04.04.06

П.Е. ПУСТОВОЙТОВ, канд. техн. наук, НТУ «ХПИ» (г. Харьков),

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ПУАССОНОВСКИМ ВХОДЯЩИМ ПОТОКОМ И НЕМАРКОВСКИМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ

У роботі запропоновано методіку аналізу системи масового обслуговування із пуассоновским входним потоком та немарківським обслуговуванням. Показано, що якщо розподіл тривалості обслуговування у цій системі є асиметричним і може бути апроксимованим розподілом Ерланга необхідного порядку, то для аналізу системи може бути побудована марківська модель.

Введение. Анализ литературы.

Для исследования систем массового обслуживания традиционно используются марковские модели, возникающие, если принять допущения о том, что входящий поток заявок на обслуживание – пуассоновский, а закон распределения продолжительности обслуживания является экспоненциальным [1,2]. Есть несколько важных побудительных причин применения этих математических схем. Во-первых, в этом случае аналитические описания процессов функционирования разнообразных по структуре и особенностям построения систем массового обслуживания оказываются чрезвычайно простыми и допускают возможность получения решения в замкнутой форме. Во-вторых, в современной теории случайных процессов пуассоновский поток занимает особое положение, подобное тому, какое в математической статистике занимает нормальный закон распределения случайных величин, поскольку пуассоновский поток является предельным при суперпозиции непуассоновских потоков. Наконец, в-третьих, оценки эффективности систем, получаемые при использовании гипотезы о пуассоновости входящего потока, являются наиболее пессимистическими (дают оценку снизу реальной эффективности анализируемой системы), поскольку пуассоновский поток является «самым случайным» из всех потоков с фиксированной интенсивностью.

Вместе с тем, в весьма близком соседстве с классическими задачами теории массового обслуживания находятся другие задачи, для решения которых требуется привлечение гораздо более серьезного математического аппарата. Необходимость отхода от марковских схем возникает, когда входящий поток – не пуассоновский, либо закон распределения продолжительности обслуживания не является экспоненциальным, либо и то, и другое имеют место одновременно. Следует отметить, что аналитические достижения для немарковских моделей не столь впечатляющи и исчерпывающи, как для марковских. Достаточно полные результаты получены только для одноканальных систем обслуживания путем

использования очень эффективного метода вложенных цепей Маркова, предложенного Д. Кендаллом [3]. Их применение для анализа, в частности, систем типа $M/G/1$ основывается на возможности наблюдения за скачкообразным изменением состояния системы в моменты выбытия из нее обслуженных требований. Элементы матрицы переходов при этом интерпретируются как вероятности того, что в интервале, начинающемся в момент начала обслуживания очередного требования и заканчивающемся в момент завершения этой процедуры, в систему поступит некоторое определенное число требований. При использовании этого метода удается построить производящую функцию искомого распределения (p_k) , $k = 0, 1, 2, \dots$, вероятностей состояний системы.

Для многоканальных систем метод вложенных цепей Маркова не применим. Для анализа таких систем с отказами и произвольным законом распределения продолжительности обслуживания все необходимые конечные соотношения совпадают, в силу теоремы Севастьянова Б.А. [4], с соответствующими, полученными для марковских систем. Однако для систем с ожиданием дело обстоит не так благополучно. Здесь наиболее сильные результаты связаны с получением так называемой формулы Полячека-Хинчина [5], определяющей стационарное распределение времени ожидания начала обслуживания.

Таким образом, продолжение исследований немарковских систем сохраняет актуальность. В ситуации, когда возможности прямых методов анализа таких систем, по-видимому, исчерпаны, дальнейшее продвижение может быть получено при использовании их марковских аппроксимаций. Рассмотрим, в частности, возможность получения марковского описания процесса обслуживания.

Постановка задачи.

Возможности аппроксимации произвольных распределений суммой экспоненциальных с полиномиальными множителями обсуждались в [6]. Как отмечают авторы этой идеи, ее реализация наталкивается на ряд трудностей собственно аппроксимации, а также получения простых расчетных соотношений. Другой, рассматриваемый ниже подход состоит в использовании того обстоятельства, что законы распределения продолжительности обслуживания для большинства практических систем обладают важным свойством: они отрицательно асимметричны. Это обстоятельство позволяет использовать для их аппроксимации законы распределения Эрланга надлежащего порядка, которые изначально и конструктивно обладают упомянутым свойством. Возникающая при этом двухпараметрическая оптимизационная задача легко решается. Сформулируем теперь задачу построения марковской модели системы обслуживания, в которой распределение продолжительности обслуживания описывается законом распределения Эрланга.

Цель работы.

Цель работы – построение марковской модели системы с немарковским обслуживанием.

Методика решения задачи.

Для построения модели используем следующий прием. Предположим, что реальное распределение продолжительности обслуживания аппроксимируется законом Эрланга p -го порядка. Как известно, этот закон описывает распределение случайного интервала, возникающего, если просеять простейший поток, выделив из него каждое p -ое событие [7]. Этот факт позволяет немарковский процесс перехода системы из k -го состояния в $(k+1)$ отобразить в виде марковского путем ввода надлежащего числа промежуточных состояний. Пусть, например, в систему поступает поток Эрланга 2-го порядка, интенсивности a . Тогда для марковского описания перехода из состояния E_k в состояние E_{k+1} введем промежуточное состояние $E_{k,1}$. Эту же операцию осуществим для всех других состояний системы. Пусть теперь в эту альтернативную систему поступает пуассоновский поток той же интенсивности a и система находится в состоянии E_k . Тогда очередная заявка потока переведет систему из E_k в $E_{k,1}$, а следующая за ней – из $E_{k,1}$ в E_{k+1} (рис. 1). Таким образом, реальный переход из E_k в E_{k+1} произойдет под воздействием просеянного потока, т.е. потока Эрланга второго порядка.



Рисунок 1 – Марковский граф переходов под воздействием потока Эрланга второго порядка

Используем эту идею для описания процесса обслуживания, аппроксимируемого потоком Эрланга второго порядка. Граф состояний и переходов системы приведен на рис. 2. Здесь для простоты описано функционирование системы с отказами, что никак не снижает общности предлагаемой методики.

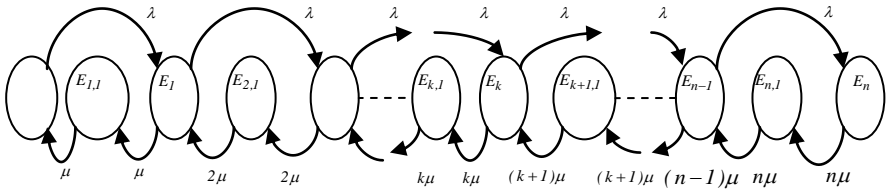


Рисунок 2 – Граф состояний и переходов системы с пуассоновским входящим потоком и эрланговским обслуживанием

На этом рисунке:

E_k - состояние, когда в системе занято ровно k каналов, $k = 0, 1, 2, \dots, n$;

$E_{k,I}$ - буферное состояние, соответствующее ситуации, когда в системе, по-прежнему, занято ровно k каналов, обслуживание заявки продолжается с той же интенсивностью, $k = 0, 1, 2, \dots, n - 1$;

λ - интенсивность входящего пуассоновского потока;

μ - интенсивность обслуживания.

Приведенному графу состояний и переходов соответствует система линейных алгебраических уравнений относительно искомых вероятностей состояний.

$$\begin{aligned}
 & -\lambda P_0 + \mu P_{1,I} = 0, \\
 & \mu P_1 - \mu P_{1,I} = 0, \\
 & \lambda P_0 + 2\mu P_{2,I} - (\lambda + \mu) P_1 = 0, \\
 & 2\mu P_2 - 2\mu P_{2,I} = 0, \\
 & \dots\dots\dots \\
 & \lambda P_{k-1} + (k+1)\mu P_{k+1,I} - (\lambda + k\mu) P_k = 0, \\
 & (k+1)\mu P_{k+1} - (k+1)\mu P_{k+1,I} = 0, \\
 & \dots\dots\dots \\
 & \lambda P_{n-2} + n\mu P_{n,I} - [\lambda + (n-1)\mu] P_{n-1} = 0, \\
 & n\mu P_n - n\mu P_{n,I} = 0, \\
 & \lambda P_{n-1} - n\mu P_n = 0.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Эта система уравнений, конечно, может быть легко решена, например, по формулам Крамера или любым численным методом. Вместе с тем, специфическая структура этой системы допускает аналитическое решение с использованием следующего искусственного приема.

Просуммируем первое уравнение системы со вторым, третье с четвертым и т.д., третье от конца с предпоследним. Тогда система (1) преобразуется к виду

$$\begin{aligned} \lambda P_0 - \mu P_1 &= 0, \\ \lambda P_0 + 2\mu P_2 - (\lambda + \mu) P_1 &= 0, \\ &\dots\dots\dots \\ \lambda P_{k-1} + (k+1)\mu P_{k+1} - (\lambda + k\mu) P_k &= 0, \\ &\dots\dots\dots \\ \lambda P_{n-2} + n\mu P_n - [\lambda + (n-1)\mu] P_{n-1} &= 0, \\ \lambda P_{n-1} - n\mu P_n &= 0. \end{aligned} \tag{2}$$

Введем вспомогательную переменную

$$z_k = \lambda P_{k-1} - k\mu P_k, \quad k = 1, 2, \dots, n. \tag{3}$$

Подставляя (3) в (2), получим

$$z_1 = z_2 = \dots = z_n = 0,$$

откуда

$$\begin{aligned} P_1 &= \frac{\lambda}{\mu} P_0; \\ &\dots\dots\dots \\ P_k &= \frac{\lambda^k}{k! \mu^k} P_0; \\ &\dots\dots\dots \\ P_n &= \frac{\lambda^n}{n! \mu^n} P_0. \end{aligned}$$

Таким образом, неизвестные P_1, P_2, \dots, P_n выражены через P_0 , которое найдем из условия нормировки.

Из всех четных уравнений системы (1) следует

$$P_1 = P_{1,1}, \quad P_2 = P_{2,1}, \quad \dots, \quad P_n = P_{n,1}.$$

Тогда условие нормировки имеет вид

$$\sum_{k=0}^n P_k + \sum_{k=1}^n P_{k,1} = P_0 + 2 \sum_{k=1}^n P_k = P_0 \left[1 + 2 \sum_{k=1}^n \frac{\lambda^k}{k! \mu^k} \right] = 1.$$

Отсюда

$$P_0 = \frac{1}{1 + 2 \sum_{k=1}^n \frac{\lambda^k}{k! \mu^k}},$$

$$P_k = \frac{\lambda^k}{k! \mu^k} \Big/ \left(1 + 2 \sum_{\ell=1}^n \frac{\lambda^\ell}{\ell! \mu^\ell} \right), \quad k = 1, 2, \dots, n.$$

Истинная вероятность состояния E_k , соответствующего занятости ровно k каналов, равна

$$P_{k,n} = P_k + P_{k,1} = \frac{2 \frac{\lambda^k}{k! \mu^k}}{1 + 2 \sum_{\ell=1}^n \frac{\lambda^\ell}{\ell! \mu^\ell}}, \quad k = 1, 2, \dots, n.$$

$$P_{0,n} = P_0.$$

Таким образом, получены расчетные соотношения для получения распределения вероятностей состояний системы обслуживания, на вход которой поступает пуассоновский поток заявок, а случайное время обслуживания описывается распределением Эрланга второго порядка. Понятно, что использованный в работе прием преобразования немарковской системы с эрланговским обслуживанием в марковскую, применим и для случая, когда аппроксимацией произвольного, но асимметричного, распределения продолжительности обслуживания является распределение Эрланга произвольного порядка. При этом в граф состояний и переходов следует ввести надлежащее число промежуточных состояний.

Выводы. Предложена методика анализа системы массового обслуживания с пуассоновским входящим потоком и немарковским обслуживанием. Показано, что если распределение продолжительности обслуживания в такой системе асимметрично и может быть аппроксимировано распределением Эрланга надлежащего порядка, то для ее анализа может быть построена адекватная марковская модель.

Список литературы: 1. Хинчин А.Я. Работы по математической теории массового обслуживания. -М.: Физматгиз, 1963. -298с. 2. Кофман А., Крюон Р. Массовое обслуживание: Пер. с франц. -М.: Мир, 1965. -348 с. 3. Kendall D.G. Stochastic processes occurring in the theory of queues and their analysis by the method of the imbedded Markov chain. Annals of Math. Statist., 1953. -V.24. -pp.348-354с. 4. Севастьянов Б.А. Формулы Эрланга в телефонии при произвольном распределении длительности разговора. Труды III Всес. математического съезда. -М.: Изд. АН СССР, 1959. -Т.4. -с.68-70. 5. Риордан Дж. Вероятностные системы обслуживания: Пер. с англ. -М.: «Связь», 1966, -184с. 6. Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н. Введение в теорию массового обслуживания. -М.: «Наука», 1969. -492с. 7. Гихман И.И., Скороход А.В., Ядренко М.И. Теория вероятностей и математическая статистика. -К.: Вища школа, 1979. -408с.

Поступила в редколлегию 15.02.2006

Л.Г. РАСКИН, д-р. техн. наук,

О.В. СЕРАЯ, канд. техн. наук,

РЕШЕНИЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЗАДАЧИ НАЗНАЧЕНИЯ С НЕЧЕТКИМИ ВХОДНЫМИ ДАННЫМИ

Розглянуто булеву розподілену задачу з нечіткими входними даними. Запропоновано просту обчислювану процедуру наближеного розв'язання задачі, яка основана на гауссовом уявленні нечітких її параметрів.

Введение. Формулировка многих практических задач в экономике, технике, военном деле и т.д. сводится к математической модели, характерной для так называемых распределительных задач линейного программирования. Эта модель имеет вид: найти набор $X = \{x_{ij}\}$, минимизирующий линейную форму

$$L(X) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

и удовлетворяющий ограничениям

$$\sum_{j=1}^n r_{ij} x_{ij} = a_i, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (4)$$

Распределительная задача по своим свойствам близка к транспортной, что позволяет применить для ее решения обобщенный метод потенциалов [1].

Специфический частный случай возникает, если переменные x_{ij} , $i = 1, 2, \dots, m$, $j = 1, 2, \dots, n$, - булевы. Приведем пример практической задачи, приводящей к этой схеме. Пусть в систему обработки, содержащую m разноэффективных каналов поступает n разнотипных заявок. Введем

c_{ij} - прибыль, получаемая в результате обработки j -й заявки i -м каналом, $i = 1, 2, \dots, m$, $j = 1, 2, \dots, n$;

r_{ij} - ресурс, расходуемый при обслуживании j -й заявки i -м каналом, $i = 1, 2, \dots, m$, $j = 1, 2, \dots, n$;

a_i - суммарный ресурс i -го канала, $i = 1, 2, \dots, m$;

x_{ij} - параметр назначения, равный 1, если i -й канал назначен для обслуживания j -й заявки, и 0 - в противном случае.

Тогда математическая модель задачи имеет вид: найти булев набор переменных $X = (x_{ij})$, минимизирующий (1) и удовлетворяющий ограничениям

$$\sum_{j=1}^n r_{ij} x_{ij} \leq a_i, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

Эта задача достаточно сложна. Для ее решения могут быть использованы общие методы решения целочисленных задач линейного программирования: отсечения, эффективного перебора [1, 2], а также приближенные методы.

Сложность задачи еще более возрастает, если исходные данные не могут быть заданы точно и, в связи с этим, описаны нечеткими числами. Сформулируем распределительную задачу назначения в условиях нечетких входных данных.

Постановка задачи. Пусть параметры c_{ij} , $i = 1, 2, \dots, m$, $j = 1, 2, \dots, n$, задачи есть нечеткие числа с гауссовыми функциями принадлежности вида

$$\mu(c_{ij}) = \exp\left\{-\frac{(c_{ij} - m_{ij})^2}{2\sigma_{ij}^2}\right\}. \quad \text{Тогда, как можно показать, целевая функция (1)}$$

будет описана нечетким числом с функцией принадлежности

$$\mu(L(x)) = \exp\left\{-\frac{(L - m_\Sigma)^2}{2D_\Sigma}\right\}, \quad (7)$$

где

$$m_\Sigma = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n m_{ij} x_{ij}, \quad D_\Sigma = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sigma_{ij}^2 x_{ij}^2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sigma_{ij}^2 x_{ij}. \quad (8)$$

Введем некоторый достаточно высокий уровень принадлежности d для нечеткого числа L с функцией принадлежности (7). Решая уравнение

$$\exp\left\{-\frac{(L - m_\Sigma)^2}{2D_\Sigma}\right\} = d,$$

найдем левую границу интервала значений нечетких чисел L , уровень принадлежности которых не ниже d . Она, очевидно, равна

$$L(d) = m_{\Sigma}(x) - \left(\frac{2D_{\Sigma}}{\ln d} \right)^{\frac{1}{2}} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n m_{ij} x_{ij} - k \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sigma_{ij}^2 x_{ij} \right)^{\frac{1}{2}}, k = \left(\frac{2}{\ln d} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

Теперь естественно поставить задачу отыскания булева набора X , максимизирующего (9) и удовлетворяющего (5), (6). Полученная задача является комбинаторной, для ее решения могут быть использованы методы направленного перебора (типа «ветвей и границ»). Однако, как известно, эффективность этих методов быстро растет с увеличением размерности задачи. В связи с этим рассмотрим приближенную процедуру ее решения.

Основные результаты. Предлагаемая процедура является итерационной, на каждом шаге которой осуществляется улучшение плана, полученного к текущей итерации. Пусть проделано k итераций решения задачи и получен некоторый план $X^{(k)} = (x_{ij}^{(k)})$. Сформируем новый план $X^{(k+1)} = (x_{ij}^{(k+1)})$ по правилу

$$X^{(k+1)} = \begin{cases} x_{ij}^{(k)}, & i \neq i_0, i \neq i_1, j \neq j_0, \\ x_{ij}^{(k)} + I, & i = i_0, j = j_0, \\ x_{ij}^{(k)} - I, & i = i_1, j = j_0. \end{cases} \quad (10)$$

Ясно, что план $X^{(k+1)}$ может быть реализован только в том случае, если $x_{i_0 j_0}^{(k)} = 0$, $x_{i_1 j_0}^{(k)} = I$.

Рассчитаем приращение целевой функции (9), получаемое при переходе от плана $X^{(k)} = (x_{ij}^{(k)})$ к плану $X^{(k+1)} = (x_{ij}^{(k+1)})$. Оно, очевидно, равно

$$\begin{aligned} \Delta_{i_0, i_1, j_0} &= m_{i_0, j_0} - m_{i_1, j_0} - k \left[\left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sigma_{ij}^2 x_{ij}^{(k)} + \sigma_{i_0, j_0}^2 \right)^{\frac{1}{2}} - \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sigma_{ij}^2 x_{ij}^{(k)} \right)^{\frac{1}{2}} \right] + \\ &+ k \left[\left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sigma_{ij}^2 x_{ij}^{(k)} + \sigma_{i_1, j_0}^2 \right)^{\frac{1}{2}} - \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sigma_{ij}^2 x_{ij}^{(k)} \right)^{\frac{1}{2}} \right] = \\ &= m_{i_0, j_0} - m_{i_1, j_0} + k \left[\left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sigma_{ij}^2 x_{ij}^{(k)} + \sigma_{i_1, j_0}^2 \right)^{\frac{1}{2}} - \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sigma_{ij}^2 x_{ij}^{(k)} + \sigma_{i_0, j_0}^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right]. \quad (11) \end{aligned}$$

Теперь, с учетом (10), решение задачи реализуется следующим образом в два этапа. На первом этапе последовательно решается n независимых задач максимизации (9) при ограничениях (6), начиная с плана $x_{ij}^{(0)} = 0$, $i = 1, 2, \dots, m$, $j = 1, 2, \dots, n$. При этом для каждого j^* искомый наилучший план определяется набором, задаваемым формулой

$$x_{ij^*} = \begin{cases} 1, i = i^*, \\ 0, i \neq i^*, \end{cases}, \quad i^* = \arg \max_i (m_{ij^*} - k\sigma_{ij^*}).$$

В результате решения этих n задач получаем план $X^{(1)} = (x_{ij}^{(1)})$, причем в каждом столбце матрицы назначений, соответствующей этому плану, содержится ровно одна единица. Первый этап завершен.

Теперь проверяются ограничения (5). Если все они выполняются, решение задачи получено. В противном случае осуществляется переход ко второму этапу.

На втором этапе выделим номера строк, для которых ограничение (5) не выполняется, разбив множество $E = \{1, 2, \dots, m\}$ на два подмножества

$$E^+ = \left\{ i : i = 1, 2, \dots, m, \sum_{j=1}^n r_{ij} x_{ij}^{(1)} - a_i > 0 \right\} \text{ и } E^{(0)} = E \setminus E^+.$$

Теперь для каждого j отыскивается наилучший вариант перемещения назначения из строки, принадлежащей подмножеству E^+ в строку из подмножества $E^{(0)}$. Наилучший вариант перемещения определяется соотношением

$$(i_0, i_1, j_0)^* = \arg \min_{i_0, i_1, j_0} \Delta_{i_0, i_1, j_0}, \quad i_0 \in E^{(0)}, \quad i_1 \in E^+, \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

Процедура завершается, если на очередной итерации окажется, что все $\Delta_{i_0, i_1, j_0} \geq 0$, $i_0 \in E^{(0)}$, $i_1 \in E^+$, $j = 1, 2, \dots, n$.

Описанная процедура конечна и чрезвычайно проста, что обеспечивает возможность ее реализации в задачах высокой размерности.

Выводы. Предложена простая вычислительная процедура решения распределительной задачи назначения для случая, когда параметры целевой функции задачи определены, как гауссовы нечеткие числа. При этом получено аналитическое описание функции принадлежности нечеткого значения целевой функции, предложен естественный критерий оптимальности решения и описана процедура отыскания решения.

Список литературы: . Юдин Д.Б., Гольштейн Е.Г. Задачи линейного программирования транспортного типа. – М.: Наука, 1969. – 346с. 2 Вагнер Г. Основы исследования операций. В 3-х томах: Пер. с англ. –М.:МИР, 1972. 3.Саати Т. Целочисленные методы оптимизации и связанные с ними экстремальные проблемы: Пер. с англ. – М.: МИР, 1973. – 298с.

Поступила в редколлегию 1.03.06

Л.Г. РАСКИН, д-р. техн. наук, НТУ «ХПИ»
В.С. ЗАРУБИН, А.С. ИВАЩЕНКО

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Запропоновано математичну модель планування модульного виробництва. Показано, що задача планування може бути розв'язана ітераційно з використанням послідовності простих задач.

Введение. Проблема планирования современного многономенклатурного массового производства на содержательном уровне многократно и детально обсуждалась [1-3]. Формальное описание возникающих при этом задач с учетом их высокой размерности было выполнено в [4]. В этой работе было показано, что эффективное направление преодоления «проклятия размерности» состоит в использовании декомпозиционного подхода. С практической точки зрения декомпозиция реализуется путем внедрения модульного принципа организации производства. При этом все множество станков, обеспечивающих изготовление изделий, разбивается на совокупность модулей. Поскольку все станки являются переналаживаемыми, каждый модуль может изготавливать изделия разных типов, образующих группу, "привязанную" к этому модулю. В каждую группу естественно включать те типы изделий, для которых продолжительности взаимных переналадок минимальны. В работе [4] задача планирования производства сведена к последовательному решению двух подзадач.

При решении первой подзадачи осуществляется построение плана назначений групп, удовлетворяющего требуемому плану-заказу производства с минимальным временными затратами. Во второй подзадаче с учетом найденного плана назначений отыскивается оптимальное распределение оставшегося неизрасходованного ресурса модулей с целью максимизации основного критерия - суммарное количество изготовленных изделий.

Там же показано, что формальная модель первой подзадачи имеет вид: найти план $X = (x_{ij})$, максимизирующий

$$F(X) = \sum_{k=1}^K \left[A_k - \sum_{i \in M_k} T_{ik} x_{ik} \right] \quad (1)$$

и удовлетворяющий ограничениям

$$A_k - \sum_{i \in M_k} T_{ik} x_{ik} \geq 0, \quad k = 1, 2, \dots, p. \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^k x_{ik} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (3)$$

Здесь

$$x_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-я группа изделий производится } k\text{-м модулем,} \\ 0 & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

M_k - множество групп изделий, которые могут изготавливаться k -м модулем,

A_k - временной ресурс k -го модуля,

T_{ik} - суммарное время выполнения плана по изделиям, входящим в i -ю группу, k -м модулем с учетом переналадок.

Для решения этой подзадачи предложен схематически описанный алгоритм. Формальная постановка второй подзадачи не приведена.

Постановка задачи. Сформулированная первая подзадача (1)-(3) является булевой распределительной задачей назначения.

Формальная модель второй подзадачи: найти план $T = (T_{jk})$ распределения оставшегося временного ресурса для каждого из модулей, максимизирующий

$$P(T) = \sum_{k=1}^p \sum_{j \in Nk} T_{jk} \eta_{jk} \quad (4)$$

и удовлетворяющий ограничениям

$$\sum_{j \in Nk} T_{jk} \leq R_k(X^*) = A_k - \sum_{i \in Mk} T_{ik} x_{ik}^*, k = 1, 2, \dots, p. \quad (5)$$

Здесь

$X^* = (x_{ik}^*)$ - решение задачи (1)-(3).

$N_k = \{j : j \in E_i, x_{ik}^* = 1\}$ - множество номеров изделий, включенных в план изготовления для k -го модуля,

η_{jk} - производительность k -го модуля для изделий j -го типа.

Основные результаты. Рассмотрим методику решения сформулированных задач. Оптимизационная процедура решения первой подзадачи состоит из двух этапов: предварительного и основного. На предварительном этапе последовательно осуществляется назначение наиболее производительного модуля для каждой из групп изделий. При этом формируется матрица назначений $\{x_{ik}^{(0)}\}$ в соответствии с соотношением

$$x_{ik}^{(0)} = \begin{cases} 1, & k = k_0, \\ 0 & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad k_0 = \arg \min_k (T_{ik}). \quad (6)$$

Понятно, что план назначений, формируемый соотношениями (6) является оптимальным в смысле критерия (1), если не учитывать ограничений (2). Поэтому, если полученный на предварительном этапе план удовлетворяет ограничениям (2), то решение первой подзадачи получено. В противном

случае, на основном этапе осуществляется коррекция плана, полученного на предварительном этапе, с целью удовлетворения этим ограничениям.

Пусть $X^{(0)} = (x_{ik}^{(0)})$ - план, полученный на предварительном этапе. Вычислим значения ресурса модулей, расходуемого для реализации плана.

$$G_k^{(0)} = \sum_{i=1}^m T_{ik} \cdot x_{ik}^{(0)}.$$

В результате сравнения полученных значений $G_k^{(0)}$ с ресурсными ограничениями R_k , $k=1,2,\dots,K$, все множество номеров модулей $M = \{1, 2, \dots, K\}$ разобьется на три подмножества:

$$M^- = \{k : G_k^{(0)} > R_k\}, \quad M^+ = \{k : G_k^{(0)} < R_k\}, \quad M^{(0)} = \{k : G_k^{(0)} = R_k\}$$

Столбцы плана, имеющие номера $k \in M^{(0)}$, будем называть нулевыми, столбцы с номерами $k \in M^+$ - избыточными (ресурс модуля не использован полностью, избыточен), столбцы с номерами $k \in M^-$ - недостаточными (план не может быть реализован ввиду недостаточности ресурса).

Процедура коррекции, выполняемая на основном этапе, может быть одношаговой и многошаговой.

Одношаговая процедура. Решаемая этой процедурой задача состоит в том, чтобы из выбранного недостаточного столбца передать назначение в избыточный столбец с минимальными потерями производительности. В соответствии с этим выберем тройку (i_1^*, k_1^*, k_2^*) , для которой

$$(i_1^*, k_1^*, k_2^*) = \arg \min_i \left\{ T_{ik_2} - T_{ik_1} \right\}$$

$$\begin{matrix} k_1 \in M^- \\ k_2 \in M^+ \end{matrix}$$

Если при этом выполняется неравенство

$$G_{k_2} + T_{ik_2} < R_{k_2}, \tag{7}$$

то назначение на выполнение i -й работы от модуля k_1 , ресурс которого недостаточен, может быть передано модулю k_2 , ресурс которого избыточен.

Тогда план назначений $X^{(0)}$ будет изменен следующим образом:

$$x_{ij} = \begin{cases} x_{ik}^{(0)} - 1, & i = i^*, k = k_1^* \in M^-, \\ x_{ik}^{(0)} + 1, & i = i^*, k = k_2^* \in M^+, \\ x_{ik}^{(0)}, & [(i = i^*) \cap (k \neq k_1^*)] \cup (k \neq k_2^*) \end{cases} \tag{8}$$

Понятно, что реализация преобразования (8) делает столбец k_1 менее недостаточным, а столбец k_2 - менее избыточным. Повторение этих

одношаговых коррекций через конечное число шагов приведет к целочисленному плану, удовлетворяющему ограничениям.

Нужно заметить, что коррекция плана, использующая только одношаговые процедуры, не всегда эффективна. Могут быть ситуации, когда многошаговая процедура приведет к лучшему плану назначений, чем одношаговая.

Рассмотрим фрагмент плана назначений, приведенный на рис. 1

	к2	к3	к1
i_1	0 / 220	0 / 300	1 / 200
i_2	1 / 210	0 / 220	0 / 300
	+	+	-

Рис.1 Фрагмент плана назначений

На этом рисунке приведен план назначений для двух типов изделий (i_1 и i_2), реализуемый модулями соответственно k_1 и k_2 . Каждая клетка плана разделена диагоналями. При этом справа внизу занесены данные о времени выполнения заказа соответствующим модулям в условных единицах, а слева сверху - элементы плана назначений.

Пусть столбец k_1 - недостаточен, а столбцы k_2 и k_3 - избыточны. Одношаговая коррекция в этой ситуации связана с передачей назначения для выполнения плана по изделию i_1 к модулю k_2 или k_3 . Если при этом передача $(i_1, k_1) \rightarrow (i_1, k_2)$ приводит к нарушению неравенства (7), то остается единственная возможность коррекции $(i_1, k_1) \rightarrow (i_1, k_3)$, приводящая к потере суммарной производительности в 100 единиц. Вместе с тем, здесь возможна двухшаговая коррекция: $(i_1, k_1) \rightarrow (i_1, k_2); (i_2, k_2) \rightarrow (i_2, k_3)$, решающая проблему. При этом новый план назначений по изделиям i_1 и i_2 приведен на рис.2, а суммарная потеря производительности составляет всего 30 единиц.

	к2	к3	к1
i_1	1 / 220	0 / 300	0 / 200
i_2	0 / 210	1 / 220	0 / 300

Рис.2 Фрагмент плана назначений (после коррекции)

В соответствии со сказанным двухшаговая процедура реализуется следующим образом. Отыскиваем пятерку $(i_1^*, i_2^*, k_1^*, k_2^*, k_3^*)$, для которой

$$(i_1^*, i_2^*, k_1^*, k_2^*, k_3^*) = \arg \min_{\substack{i_1, i_2 \\ k_1 \in M^- \\ k_2 \in M^+ \\ k_3 \in M^+}} \left\{ (T_{i_1 k_2} - T_{i_1 k_1}) + (T_{i_2 k_3} - T_{i_2 k_2}) \right\}.$$

Тогда коррекция плана назначений осуществляется по формуле

$$x_{ik} = \begin{cases} x_{ik}^{(0)} - I, & (i = i_1^*, k = k_1^*) \cap (i = i_2^*, k = k_2^*), \\ x_{ik}^{(0)} + I, & (i = i_1^*, k = k_2^*) \cap (i = i_2^*, k = k_3^*), \\ x_{ik}^{(0)}, & [(i = i_1^*, k \neq k_1^*, k \neq k_2^*) \cap (i = i_2^*, k \neq k_3^*, k \neq k_3^*) \cap (i \neq i_1^*) \cap (i \neq i_2^*)]. \end{cases}$$

Рассмотрим, наконец, методику решения второй подзадачи (4)-(5) - общей задачи планирования производства. Прежде всего, отметим, что специфика ограничений (5) позволяет исходную двухиндексную задачу (4)-(5) преобразовать в последовательность гораздо более простых одноиндексных независимых задач, решаемых для каждого модуля в отдельности. При этом для k -го модуля целевая функция имеет вид

$$P_k(T) = \sum_{j \in N_k} T_{jk} \eta_{jk}. \quad (9)$$

Искомое для k -го модуля распределение (T_{jk}) оставшегося ресурса $R_k(X^*)$ должно максимизировать (9), удовлетворяя ограничению (5).

Решение этой задачи тривиально и имеет вид

$$T_{jk} = \begin{cases} \frac{A_k - \sum_{i \in M_k} T_{ik} x_{ik}^*}{\eta_{jk}}, & j = j^*, \\ 0, & j \neq j^*, \end{cases}$$

$$j^* = \arg \max_{j \in N_k} \frac{A_k - \sum_{i \in M_k} T_{ik} x_{ik}^*}{\eta_{jk}}.$$

Выводы. Таким образом, предложена итерационная вычислительная процедура решения задачи планирования модульного производства высокой размерности. При этом исходная сложная задача сведена к итерационной последовательности гораздо более простых задач, что существенно ослабляет трудности, связанные с размерностью задачи.

Список литературы: 1. Кузин Б.И., Юрьев В.Н., Шахдинаров Г.М. Методы и модели управления фирмой. – СПб.: Питер, 2001. – 432с. 2. Шмален Г. Основы и проблемы экономики предприятия. – М.: Финансы и статистика, 1996. – 204с. 3. Сачко Н.С. Организация и оперативное планирование машиностроительного производства. – Мн.: Высшая школа, 1977. – 592с. 4. Раскин Л.Г., Зарубин В.С. Планирование модульного производства. // Вестник НТУ «ХПИ». –Х.: НТУ «ХПИ». – 2005. -№41.- СС. 149-152.

Поступила в редколлегию 14.05.06

В. В. САЙКО, канд. техн. наук, ИП «Стратегия»

ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОДАЖ ПО ТОВАРНОЙ ГРУППЕ

У роботі запропонована модель, що дозволяє прогнозувати обсяг та рентабельність продажів на основі заданого об'єму товарної групи та обсягу товарних запасів. Графічна інтерпретація моделі дозволяє наочно ілюструвати наслідки рішень, пов'язаних із асортиментною політикою.

The paper explains the model to predict sales volume and profitability of stocks. The model is based on a commodity group volume and sizes of commodity stocks. Graphic interpretation of the model allows to illustrate evidently the consequences of the planned sales decisions.

Введение. Ужесточение конкурентной борьбы требует постоянного совершенствования методов планирования и управления продажами. Для предприятий розничной торговли ключевой задачей становится оптимизация ассортимента и товарных запасов.

Традиционным решением этой задачи считается метод планирования структуры ассортимента с использованием коэффициентов эластичности реализации отдельных групп товаров в общем объеме товарооборота [1]. Однако, не смотря на широкую популярность, метод оперирует объемами реализации исключительно в денежном выражении, не исключает ошибок в

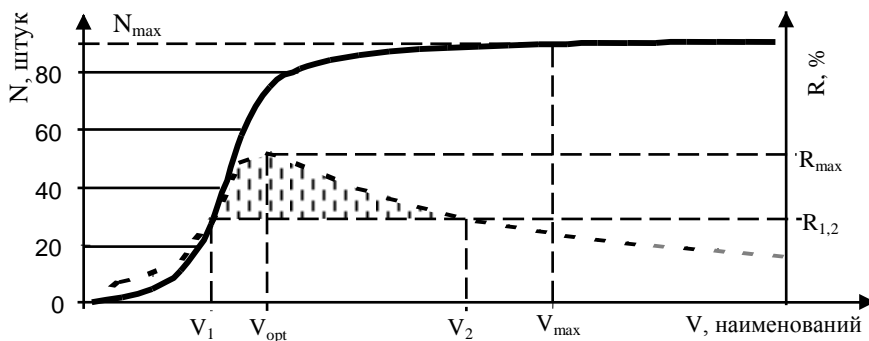


Рис. 1. Зависимость объема реализации N от объема товарной группы V и динамика изменения рентабельности R

оценке спроса за прошлые периоды и не объясняет причин различной коммерческой привлекательности товарных групп.

В специальной литературе все чаще упоминается о пилотных методах прогноза эффективности ассортимента, предназначенных для поддержки принятия управленческих решений [2, 3]. В работе [4], например, изложен

опыт применения метода Холмстрёма (J. Holmström) для компании с неустойчивым ассортиментом. Метод основан на построении временных рядов и прогнозе результатов увеличения доли той или иной группы товаров в общих товарных запасах. Однако и направления поиска оптимума и интерпретация прогнозов полностью определяются компетентностью маркетолога. Субъективность оценок, безусловно, снижает точность используемого метода. Кроме того, планирование от достигнутого уровня допускает возможность системных ошибок в оценке спроса.

Постановка задачи. Таким образом, в известных методиках планирования продаж проблема ассортимента и проблема товарных запасов традиционно рассматриваются раздельно. Оценка и прогнозы спроса происходят без учета достигнутой степени реализации рыночного потенциала товарной группы. Целью настоящего исследования является разработка модели, позволяющей прогнозировать эффективность решений, связанных как с ассортиментной политикой, так и с управлением запасами в розничной торговле продуктами питания.

Результаты. В [5] было показано, что объем i -той товарной группы (V_i) и объем продаж в натуральном выражении (N_i) связаны функцией:

$$N_i = \arctg(k_i V_i - a) \frac{N_{\max}}{b} + \frac{N_{\max}}{c}, \quad (1)$$

где k_i – коэффициент чувствительности, a, b, c – константы, установленные эмпирическим путем, а N_{\max} – объем продаж, при котором увеличение вдвое объема товарной группы приводит к увеличению продаж не более, чем на 2%. Функциональная зависимость (1) наглядно иллюстрируется графиком (см. рис. 1). Первая точка перегиба связана с тем, что при малом объеме товарной группы покупатель не воспринимает предложенный ассортимент как возможность выбора и часто отказывается от покупки. Вторая точка перегиба свидетельствует о начинающемся насыщении ассортимента – товары конкурируют друг с другом, затрудняя выбор покупателя и заставляя его игнорировать незнакомые торговые марки. Кривая сбыта выше уровня N_{\max} приобретает характер асимптоты и отражает гипотетический сбыт, обусловленный уже не маркетинговым давлением, а экономическими условиями. Таким образом, предложенная формула более точно отражает динамику процесса насыщения сбыта, чем традиционные логистические кривые [6,7], часто используемые для описания экономических явлений.

Практическая ценность модели состоит в том, что на основании выражения (1) можно рассчитать оптимальный объем товарной группы при различных объемах средних товарных запасов по группе. В качестве критерия

оптимальности будем использовать рентабельность запасов R , которую предлагается рассчитывать по формуле:

$$R_i = \frac{N_i r_i}{V_i Z_i p_i},$$

где N_i – объем реализации i -той группы в натуральном выражении, r_i – средняя норма прибыли на единицу товара группы, V_i – объем товарной группы (наименований), Z_i – средние товарные запасы на наименование, p_i – удельная стоимость товарных запасов. Рис.1 наглядно иллюстрирует важное обстоятельство - один и тот же уровень рентабельности запасов $R_{1,2}$ достигается при разных объемах товарной группы (V_1 и V_2).

Функциональная зависимость (1) была сформулирована для использования в программном тренинге, где величина N_{\max} устанавливалась в качестве одного из начальных условий. Однако в реальной практике насыщение объема товарной группы связано, прежде всего, с покупательской активностью в зоне влияния торговой точки и условиями конкуренции. Понятие «широкий ассортимент» для покупателей столичного супермаркета и сельского магазина существенно отличается.

Таким образом, для прогнозирования сбыта при различных значениях объема товарной группы и величины товарных запасов следует решить такие задачи:

- определение коэффициента чувствительности k_i ;
- определение уровня насыщения сбыта N_{\max} по товарной группе.

Покажем, что функциональная зависимость (1) может использоваться в качестве инструмента поддержки принятия решений в реальных условиях.

По определению, на исследуемой кривой существует точки с координатами: (V_{\max}, N_{\max}) и (V_1, N_1) , связанные условиями: $V_1 = 2V_{\max}$; $N_1 = 1,02N_{\max}$. Тогда справедлива запись:

$$\arctg(2k_i V_{\max} - a) \frac{1}{b} - \arctg(k_i V_{\max} - a) \frac{1}{b} \leq 0,02. \quad (2)$$

Здесь V_{\max} – предельное количество наименований i -той товарной группы, установленное на основании предложений региональных поставщиков. Действительно, для конкретной торговой точки достижение уровня $V = V_{\max}$ будет означать достижение предельного уровня реализации, который может измениться только в случае изменения общей покупательской активности при изменении экономических условий. Решение уравнения (2) в Excel методом подбора параметров позволяет определить k_i товарной группы. Однако с целью упрощения программной реализации предлагаемой методики использовался следующий путь решения:

$$\frac{1,02N_{\max} - \frac{N_{\max}}{c}}{N_{\max}} b = \arctg(k_i 2V_{\max} - a) \Rightarrow \operatorname{tg}(1,02b - b/c) + \pi \tau = 2k_i V_{\max} - a,$$

где n – любое целое число или ноль. Тогда искомым коэффициент равен:

$$k_i = \frac{\operatorname{tg}(1,02b - b/c) + a + n\pi}{2V_{\max}}. \quad (3)$$

Последнее выражение задает семейство кривых, удовлетворяющих условию (2) и предполагает наличие нескольких вариантов значений N_{\max} . Множественность значений N_{\max} отражает зависимость уровня реализации конкретной торговой точки от сезонных колебаний спроса.

Коэффициент k_i дает представление о скорости насыщения сбыта, обусловленной конкретными геосоциальными особенностями зоны влияния торговой точки. Однако прогнозные данные могут быть получены только при установлении уровня N_{\max} , специфичного для каждой торговой точки и конкретного сезона. Для определения N_{\max} необходимо использовать реальные данные по (V_i, N_i) . В этом случае возможно применение метода наименьших квадратов:

$$\sum_{j=1}^G \left[N_{ij} - N_{\max} \left(\frac{\operatorname{arctg}(k_i V_{ij} - a)}{b} + \frac{1}{c} \right) \right]^2 \rightarrow \min, \quad (4)$$

где G – количество пар данных (V_i, N_i) , полученных на основе изучения учетной документации торговой точки.

Дифференцируя выражение (4) по N_{\max} получим:

$$\sum_{j=1}^G 2 \times \left[N_{ij} - N_{\max} \left(\frac{\operatorname{arctg}(k_i V_{ij} - a)}{b} + \frac{1}{c} \right) \right] \times \left(\frac{\operatorname{arctg}(k_i V_{ij} - a)}{b} + \frac{1}{c} \right) = 0,$$

или, в записи, удобной для последующей программной реализации:

$$N_{\max} = \frac{\sum_{j=1}^G 2N_{ij} \left(\frac{\operatorname{arctg}(k_i V_{ij} - a)}{b} + \frac{1}{c} \right)}{\sum_{j=1}^G 2 \times \left(\frac{\operatorname{arctg}(k_i V_{ij} - a)}{b} + \frac{1}{c} \right)^2}. \quad (5)$$

Тогда, при известной норме прибыли, удельной стоимости товарных запасов и среднемесячных товарных запасах, можно записать:

$$R_i = \frac{\operatorname{arctg}(k_i V_i - a) N_{\max} r_i / b + N_{\max} r_i / c}{V_i Z_i p_i}. \quad (6)$$

Для приведения формулы к виду, удобному для дифференцирования, введем следующие коэффициенты:

$$A = \frac{N_{\max} r_i}{Z_i p_i b}, \quad B = \frac{N_{\max} r_i}{Z_i p_i c}.$$

Условия экстремума функции (6) в области $V=1 \dots V_{\max}$ можно установить, дифференцируя ее по V_i . В результате получим выражение (7), с помощью которого определяется рекомендуемый объем i -той товарной группы $V_i = V_{\text{opt}}$:

$$\frac{A k_i}{V_i (1 + (k_i V_i - a)^2)} - \frac{\arctg(k_i V_i - a) A + B}{V_i^2} = 0. \quad (7)$$

Учитывая то, что V_i принимает целочисленные значения в области $[1, V_{\max}]$, решение уравнения (7) удобно организовать путем подбора значений.

Апробация модели проводилась на основе данных, предоставленных тремя торговыми точками г. Желтые Воды. В качестве примера в табл. 1 приведен фрагмент расчета оптимального значения объемов товарных групп V_{opt} . По результатам расчетов в среде Excel генерировались графики, примеры которых изображены на рис. 2, 3.

Графическое отображение результатов позволило более наглядно представить последствия возможных маркетинговых решений. На рис. 2, например, показан случай, когда потенциал товарной группы раскрыт не полностью. Максимальная рентабельность запасов может быть достигнута при увеличении объема товарной группы.

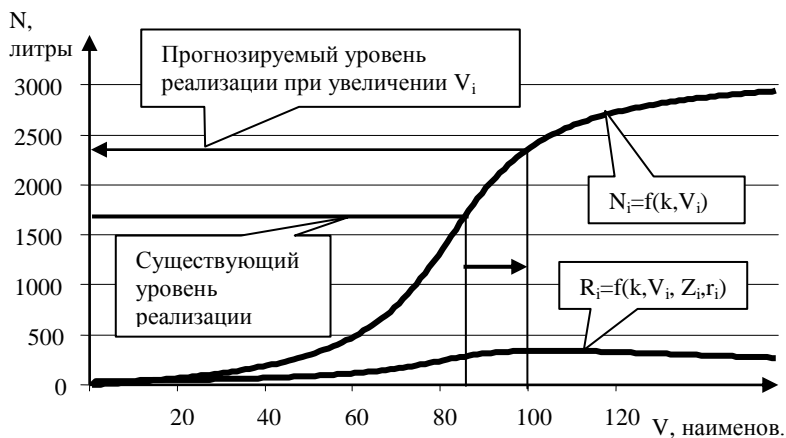


Рис. 2. Анализ объема товарной группы «Соки»

Результаты расчета V_{opt} по отдельным товарным группам

Наименования товарных групп	Средние товарные запасы на единицу ассортимента, Z	Коэффициент чувствительности ассортимента, k	N_{max}	Средняя торговая наценка на единицу, грн	A	B	V_{opt}
Мясо (птица)	248	0,467	12411	1,27	5,66486	7,75520	13
Колбасн. изд.	15	0,038	20498	2,00	280,653	384,215	162
Масло слив.	47	0,290	1408	1,51	3,67869	5,03613	22
Сахар	554	3,263	4997	0,33	2,31836	3,1738	4
Конфеты	15	0,018	4718	2,06	33,9579	46,4884	267
Печенье	33	0,048	6001	1,24	26,1151	35,751	149
Соль	1101	2,802	1228	0,09	0,1315	0,18009	3
Хлеб	2	0,563	10953	0,23	32030,5	43849,7	30
Мука	267	1,709	962	0,22	0,32508	0,44504	4
Соки	16	0,060	2960	0,52	9,83999	13,4709	105
Безалк. нап.	43	0,098	6514	0,33	5,47409	7,49403	58
Водка	10	0,037	2106	2,08	60,2571	82,4920	169
Коньяк	7	0,189	210	6,33	36,8462	50,4425	32
Вино	6	0,029	1040	2,15	66,1017	90,4932	218

Рис. 3, напротив, иллюстрирует случай, когда целесообразно сокращение объема товарной группы, или уменьшение товарных запасов.

Выводы. Проведенный анализ используемых подходов к оптимизации ассортимента и товарных запасов показал, что указанные задачи решаются без учета их взаимосвязи, а основной недостаток традиционного планирования от достигнутого уровня заключается в возможности системных ошибок в оценке спроса. Предложенная математическая модель отражает комплексный подход к планированию и связывает объем товарной группы,

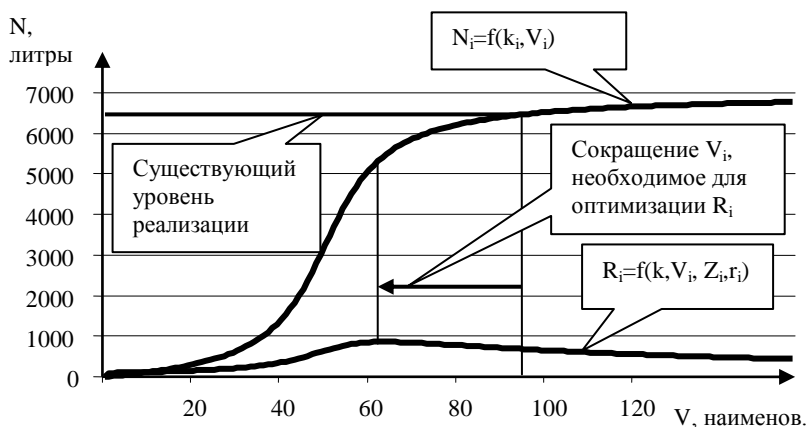


Рис. 3. Анализ объема товарной группы «Безалкогольные напитки»

товарные запасы, реализацию в натуральном выражении и рентабельность запасов. Практическая ценность модели состоит в том, что она позволяет рассчитать оптимальный объем товарной группы при различных объемах средних товарных запасов по группе.

Графическая интерпретация предложенной модели наглядно отражает последствия решений, связанных с планированием продаж. Модель успешно использовалась для оценки рыночного потенциала на трех предприятиях розничной торговли продуктами питания. В настоящее время проходит более масштабная ее апробация.

- Список литературы:** 1. Мазаракі А.А., Лігоненко Л.О., Ушакова Н.М. Економіка торгівельного підприємства. Підручник Під ред. Н.М. Ушакової // Київ: „Хрещатик”.- 1999.- 800 с. 2. Holmström, J., 1998, "Handling product range complexity: a case study on re-engineering demand forecasting", Business Process Management Journal, 4, 3, 241-58. 3. Reese, S., 2000, "The human aspects of collaborative forecasting", Journal of Business Forecasting Methods & Systems, 19, 4, 3-9. 4. Smaros J., Hellström M. Using the assortment forecasting method to enable sales force involvement in forecasting// International Journal of Physical Distribution & Logistics Management ,Volume 34 Number 2 2004 .-p. 140-157. 5. Сайко В.В. Моделирование ассортиментной политики торгового предприятия в программном тренинге //Економіка: теорія та практика. Вип. 114. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2003 – с. 44-54. 6. Трояновский В.М. Математические модели в менеджменте.- М.: Издательство РДЛ. 2003.- 256с. 7. Быковская И.В., Плотников С.В., Подчернин В.М. К вопросу о формировании маркетингового бюджета // Маркетинг в России и за рубежом.- 2001.- №6(26). – с. 46-52.

Поступила в редколлегию 27.03.06

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ РИСКОВОГО ПОРТФЕЛЯ ЦЕННЫХ БУМАГ

Стаття присвячена вибору оптимального розподілу часток активів в портфелі цінних паперів. Проаналізовано моделі оптимізації фондового портфелю Марковіца та Шарпа. Наведено приклад формування оптимальної структури портфеля цінних паперів підприємств України.

Введение. На Украине рынок ценных бумаг начал активно развиваться только с началом приватизации. Современный фондовый рынок Украины можно считать достаточно сформированным, что позволяет рассматривать практическое вложение средств в ценные бумаги. В таких условиях становится актуальным рассмотрение инвестиционного процесса в условиях украинского рынка. Важнейшую роль в управлении инвестициями играет теория оптимального портфеля, предназначенная для формирования диверсифицированного портфеля ценных бумаг, соответствующего требованиям инвестора к прибыли и риску [1]. В данной статье приводится анализ моделей портфеля и на примере украинских эмитентов проводится численная оптимизация портфеля из пяти видов ценных бумаг.

Анализ основной методики. Пусть доходность портфеля из N ценных бумаг R_p и его риск σ_p определяются функциями:

$$R_p = R_p(W, \sigma, r), \quad \sigma_p = \sigma_p(W, \sigma, r), \quad (1)$$

где $W = (W_1, \dots, W_N)$, $\sigma = (\sigma_1, \dots, \sigma_N)$ и $r = (r_1, \dots, r_N)$ - векторы долей ценных бумаг, их рисков и доходностей соответственно. Векторы σ и r для данного портфеля заданы, а вектор W требуется найти при ограничениях:

сумма долей всех акций постоянна:

$$W_1 + W_2 + \dots + W_N = 1, \quad (2)$$

доля акции не может быть отрицательной:

$$W_i \geq 0, \quad i = \overline{1, N}. \quad (3)$$

Решением задачи является определенная целевая структура портфеля, представленная набором значений (W_1, W_2, \dots, W_N) . Идеальная постановка задачи оптимизации портфеля – получить максимальную доходность при минимальном риске – некорректна [2]. Существует два варианта корректной постановки задачи оптимизации портфеля.

1. Зададим максимально допустимую величину риска σ_{req} . Прямая задача оптимизации сводится к выбору структуры портфеля, при которой его риск не превышает заданного значения, а доходность максимальна:

$$R_p \rightarrow \max; \sigma_p \leq \sigma_{req}; W_i \geq 0; \sum W_i = 1. \quad (4)$$

2. Зададим минимально допустимую величину доходности R_{reg} . Обратная задача оптимизации сводится к выбору структуры портфеля, при которой его доход не ниже заданного значения, а риск минимален:

$$R_p \geq R_{reg}; \sigma_p^2 \rightarrow \min; W_i \geq 0; \sum W_i = 1. \quad (5)$$

На практике используют множество моделей портфеля ценных бумаг, из которых чаще других применяются модели Марковица и Шарпа.

Основная идея модели Марковица заключается в статическом рассмотрении будущего дохода как случайной переменной, т.е. доходы по отдельным ценным бумагам случайно изменяются в некоторых пределах [3].

Модель Марковица включает следующие основные допущения:

- за доходность ценных бумаг принимается математическое ожидание доходностей ценных бумаг портфеля (1);
- за риск ценных бумаг принимается СКО доходности (1);
- степень взаимосвязи между ценными бумагами выражается коэффициентом линейной корреляции.

Ожидаемая доходность портфеля определяется по формуле:

$$R_p = \sum_{i=1}^N W_i \cdot r_i \quad (6)$$

Риск портфеля ценных бумаг определяется функцией:

$$\sigma_p = \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (W_i \cdot W_j \cdot \sigma_{ij})} \quad (7)$$

где W_i, W_j - доли вложений в i -ю и j -ю ценные бумаги;

σ_{ij} - ковариация между доходностями i -й и j -й ценных бумаг:

$$\sigma_{ij} = \sigma_i \cdot \sigma_j \cdot \rho_{ij}, \quad (8)$$

где σ_i, σ_j — риски ценных бумаг (среднеквадратичные отклонения),

ρ_{ij} — коэффициент линейной корреляции доходностей бумаг i и j .

Индексная модель Шарпа основывается на многолетних наблюдениях и выявлении того факта, что нормы прибылей большинства акций зависят

преимущественно от одного фактора (фактора рынка). Рост рыночных индексов влечет за собой рост стоимости большинства акций и наоборот [4]. Модель Шарпа в отличие от модели Марковица не учитывает корреляцию бумаг в портфеле, дает некорректные результаты в случае значительных колебаний доходностей активов, не связанных с рыночными изменениями, использует более широкую базу статистических наблюдений.

Постановка задачи. С учетом указанных допущений применим классическую модель Марковица (6)-(8) для формирования оптимального портфеля ценных бумаг эмитентов Украины.

Для рассмотрения выбраны акции пяти компаний, три из которых включены в корзину ПФТС (Днепроэнерго, Западэнерго, Укрнефть), остальные (Мотор-Сич, Турбоатом) были выделены как имеющие высокие показатели нормы прибыли среди представленных на торгах ПФТС акций [5]. За исходные данные взяты котировки акций указанных за период с 1.09.2005 по 28.02.2006 [6,7].

Доходность ценной бумаги предприятия определяется как относительная доходность за 1 день:

$$r_i = \frac{1}{T} \cdot \sum_{t=2}^T \frac{P_t - P_{t-1}}{P_{t-1}} \cdot 100\%, \quad i = \overline{1, N}, \quad (9)$$

где P_t, P_{t-1} - стоимость продажи и покупки акции i -го вида в последовательных периодах, T - количество периодов, N - количество видов активов[8]. Коэффициенты модели Марковица представлены в табл. 1.

Таблица 1

Эмитент	Доходность актива (r_i), %	СКО (σ_i), %	Коэффициент корреляции (ρ)	
Днепроэнерго	20,29	6,62	$\rho_{DZ} = 0,64$	$\rho_{ZM} = 0,39$
Западэнерго (Z)	10,48	4,07	$\rho_{DU} = -0,08$	$\rho_{ZT} = 0,46$
Укрнефть (U)	6,50	3,78	$\rho_{DM} = 0,53$	$\rho_{UM} = 0,01$
Мотор-Сич (M)	13,54	7,02	$\rho_{DT} = 0,06$	$\rho_{UT} = 0,04$
Турбоатом (T)	36,74	16,91	$\rho_{ZU} = -0,25$	$\rho_{MT} = 0,09$

Для всех рассматриваемых активов, кроме акций Днепроэнерго, выполняется закономерность: чем выше доходность, тем выше риск. Активы Днепроэнерго, в свою очередь, высокодоходны и имеют низкий риск. Анализ коэффициентов корреляции позволяет сделать вывод о наличии достаточно сильной прямой линейной связи между изменением доходности активов Днепроэнерго, Западэнерго и Мотор-Сич, а также активов Западэнерго, Турбоатом и Мотор-Сич. Другие корреляционные связи между представленными активами слабо выражены.

Для решения оптимизационной задачи в постановке (4) и (5) была сформирована целевая вектор-функция, состоящая из трех компонент:

1) внешней штрафной функции нарушения условия в виде неравенства принадлежности варьируемых параметров (долей акций в портфеле) единичной области и условия в виде равенства (2);

2) внешней штрафной функции нарушения ограничения в виде неравенства $\sigma^2_p \leq \sigma_{req}$ (для прямой задачи) или $R_p \geq R_{req}$ (для обратной задачи);

3) функции риска (7) для прямой задачи или отрицательной функции дохода (6) для обратной задачи.

Моделирование портфеля и нахождение численного решения поставленной задачи условной оптимизации производились с помощью программного комплекса, разработанного в среде системы MATLAB.

Основные результаты. В результате минимизации целевой функции векторным методом Нелдера-Мида деформируемого многогранника со скользящим допуском [9] из начала координат были получены распределения долей акций в оптимальном портфеле из пяти видов ценных бумаг для заданных значений доходности и риска (табл. 3).

В табл. 2 и на рис. 1,2 приведены результаты решения задачи оптимизации (4), (5) для портфеля из двух видов ценных бумаг. В структуру портфеля включены акции Днепроэнерго и Укрнефть. Данный пример позволяет проиллюстрировать поиск оптимального решения в двумерном пространстве параметров и отображающем его пространстве критериев.

Таблица 2

Акции	Прямая задача			Обратная задача		
	$\sigma_{req}=12$	$\sigma_{req}=19$	$\sigma_{req}=31$	$R_{req}=12$	$R_{req}=15$	$R_{req}=18$
Днепроэнерго	0,386	0,623	0,837	0,399	0,617	0,834
Укрнефть	0,614	0,377	0,163	0,601	0,383	0,166
Характеристики портфеля						
Доходность, %	11,816	15,094	18,033	12,000	15,000	18,000
Риск, %	11,865	19,000	31,000	12,091	18,704	30,836

На рис.1 отражен процесс поиска оптимальной структуры двухвидового портфеля в допустимой области, обеспечивающей выполнение условия (3) и ограниченной единичным квадратом. Сплошной и пунктирной линиями показаны траектории всех и лучших точек поиска соответственно. Точка минимума векторной целевой функции лежит внутри квадрата на линии ограничения в виде равенства (2).

На рис.2 отражен поиск оптимального портфеля в пространстве критериев. Точка минимума целевой функции принадлежит левой нижней границе достижимой области, соответствующей паретооптимальной области.

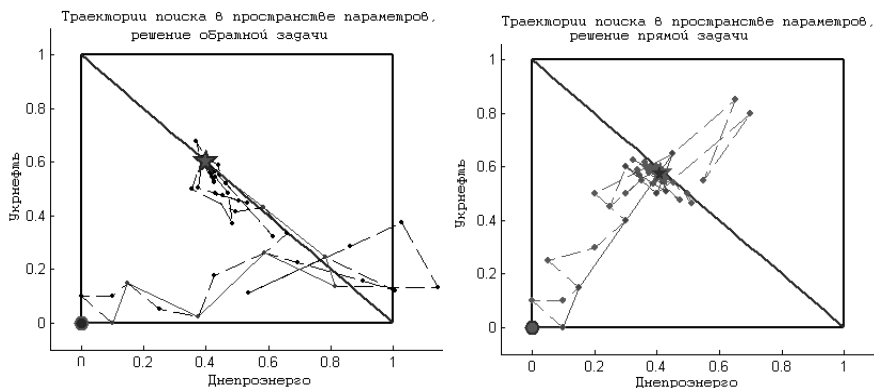


Рис. 1 Решение задачи оптимизации в допустимой области

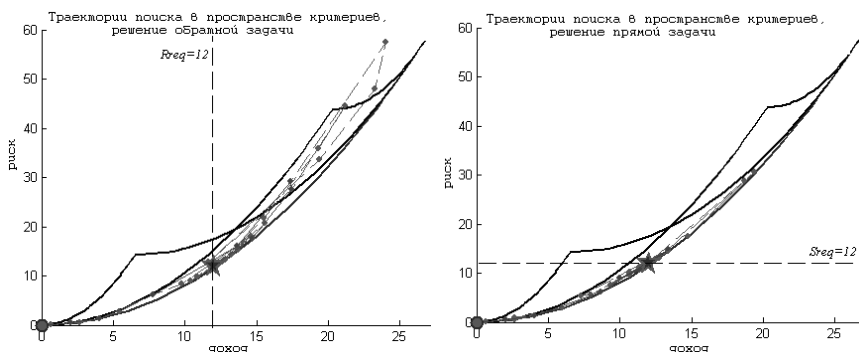


Рис. 2 Решение задачи оптимизации в достижимой области

Анализ табл.3 показывает, что с увеличением ожидаемой доходности портфеля части менее доходных активов Укрнефть и Западэнерго в результирующем распределении снижаются, при этом доля акций Укрнефть, имеющих минимальную доходность из всех рассматриваемых, уменьшается быстрее. Вклад наиболее рискованных акций Турбоатома в структуру оптимального портфеля растет с ростом риска и доходности портфеля.

В структуре решений прямой и обратной задачи для значений параметров «доходность-риск», отличающихся незначительно, заметны колебания долей акций Днепроэнерго и Мотор-Сич, характеризующихся наличием тесной корреляционной связи. Указанные расхождения можно объяснить замещением менее доходных и более рискованных активов Мотор-Сич акциями

Днепроэнерго. В то же время положительная корреляция изменений доходностей акций Днепроэнерго и Западэнерго не вызывает замещения одного вида другим, т.к. ни один из них не имеет однозначного превосходства: активы Днепроэнерго характеризуются большей доходностью, Западэнерго – меньшим риском.

Таблица 3

Акции	Прямая задача				Обратная задача			
	$\sigma_{req}=6$	$\sigma_{req}=9$	$\sigma_{req}=15$	$\sigma_{req}=30$	$R_{re}=12$	$R_{req}=15$	$R_{req}=18$	$R_{req}=21$
D	0,151	0,171	0,165	0,197	0,155	0,332	0,399	0,285
Z	0,396	0,382	0,290	0,243	0,342	0,326	0,255	0,234
U	0,314	0,119	0,114	0,062	0,303	0,147	0,111	0,058
M	0,111	0,289	0,255	0,202	0,171	0,141	0,092	0,136
T	0,028	0,039	0,176	0,296	0,029	0,054	0,143	0,287
Характеристики портфеля								
Доходность, %	11,800	13,580	17,031	20,553	12,078	15,005	18,002	21,007
Риск, %	5,900	8,665	15,000	30,000	5,900	8,800	14,680	29,150

Выводы. Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы. 1. Учет статистических характеристик и взаимных корреляционных связей ценных бумаг способствует диверсификации портфеля, существенно снижающей его риск по сравнению с риском включенных в него активов. 2. Модель Марковица является основой возникновения модели Шарпа и других существующих на сегодняшний день моделей. 3. Методом Нелдера-Мида эффективно решены задачи оптимизации портфеля.

Список литературы: 1. Савчук В.П., Дудка В. Оптимізація фондового портфелю www.management.com.ua/finance/index.php. 2. Вітлінський В.В., Верченко П.І. Аналіз управління економічним ризиком.- К., 2000. 450 с. 3. Markowitz H. Portfolio Selection // Journal of Finance, vol.VII, №1, March 1952. p. 77-91. 4. Шарп У., Александер Г, Бейли Дж. Инвестиции. - М.: Инфра-М, 1997, 1200 с. 5. www.pfts.com.ua. 6. Котиловки акций <http://www.kommersant.ua/archive/archive.html>. 7. Котиловки акций www.fin.org.ua/pfts.php. 8. Ценные бумаги: учебник /Под ред. В.И. Колесникова. – М.: Финансы и статистика, 2000. 9. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. – М.: Мир, 1975. 534с.

Поступила в редколлегию 27.04.06

В. П. СЕВЕРИН, канд. техн. наук, **М.С. ШЕРГІНА**

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ДВУВИДОВОГО ПОРТФЕЛЯ ЦЕННЫХ БУМАГ

Поставлено задачу оптимізації структури портфеля цінних паперів. Обрано модель задачі двукритеріальної оптимізації портфеля інвестора. Розроблено методи оптимізації для рішення даної задачі. Отримано аналітичне рішення даної задачі при оптимізації двувидового портфеля цінних паперів за допомогою чисельних методів.

Основной задачей в процессе оптимального формирования портфеля ценных бумаг является задача распределения определенной суммы денег по различным альтернативным вложениям с целью максимизации доходности. Любое вложение капитала связано с постоянной опасностью проигрыша, а значит, в оптимизационных задачах по выбору портфеля ценных бумаг необходимо учитывать риск. В принципе, для создания портфеля ценных бумаг достаточно инвестировать деньги в какой-либо один вид финансовых активов. Но такой однородный по содержанию портфель будет нести высокую норму риска. Гораздо более распространенной формой является так называемый диверсифицированный портфель. Использование диверсифицированного портфеля устраняет разброс в нормах доходности различных финансовых активов и снижает риски. В общем случае задача оптимизации портфеля состоит в выборе такого распределения средств между активами, при котором происходит максимизация прибыли при заданных ограничениях на уровень риска.

Статья посвящена проблемам, стоящим перед инвестором, формирующим портфель ценных бумаг. Дана общая математическая постановка задачи оптимизации портфеля, составляемого только из рискованных ценных бумаг, а также найдено аналитическое решение поставленной задачи.

Постановка задачи оптимизации структуры портфеля

Портфель ценных бумаг инвестора – совокупность ценных бумаг, принадлежащих данному инвестору. Пусть инвестор формирует свой портфель на множестве из N ($N > 1$) различных ценных бумаг. Капитал инвестора распределяется между различными активами в некоторых пропорциях x_j , где $j = \overline{1, n}$, удовлетворяющих условию:

$$\sum_{i=1}^n x_j = 1.$$

Совокупность величин $\{x_j\} (j = \overline{1, n})$ определяет структуру портфеля ценных бумаг. Имеет место следующая интерпретация $\{x_j\}$:

- $x_j > 0$ доля x_j капитала инвестора вложена в ценную бумагу j ;

- $x_j = 0$ ценная бумага j отсутствует в портфеле инвестора;
- $x_j < 0$ относительно ценной бумаги j совершена операция “короткая продажа” (short sale);

Доходность портфеля:

$$R_p = \sum_{j=1}^n R_j x_j ,$$

где R_j — доходность ценной бумаги j .

Ожидаемая доходность портфеля:

$$m_p = E(R_p) = \sum_{j=1}^n x_j E(R_j) = \sum_{j=1}^n x_j m_j .$$

Для записи дисперсии воспользуемся определением ковариации двух случайных величин R_i и R_j :

$$V_{ij} = E((R_i - m_i)(R_j - m_j)) .$$

Дисперсия доходности портфеля:

$$V_p^2 = E((R_p - m_p)^2) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j E((R_i - m_i)(R_j - m_j)) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j V_{ij} .$$

Модель двухкритериальной оптимизации портфеля инвестора
Математическая формулировка данной задачи имеет вид:

$$m_p = \sum_{j=1}^n x_j m_j \rightarrow \max , \tag{1}$$

$$V_p^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j V_{ij} \rightarrow \min , \tag{2}$$

$$\sum_{j=1}^n x_j = 1 . \tag{3}$$

Точка (x_1, \dots, x_n) принадлежит множеству таких допустимых точек задачи, которые не могут быть улучшены сразу по двум критериям — m и V . В теории многокритериальной оптимизации такие решения называются *Парето-оптимальными*.

Чтобы пояснить смысл этого понятия, представим контур, соединяющий точки с координатами m , V , вычисленными для допустимых точек некоторого «условного» множества x (рис.1).

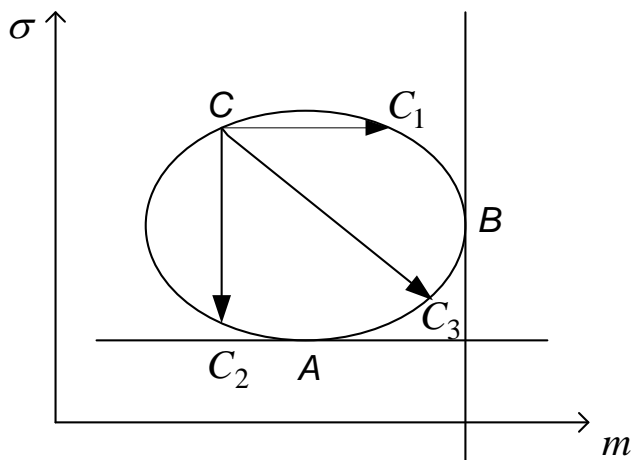


Рис.1 Восходящая дуга AB соответствует Парето-оптимальному множеству решений

Множеству эффективных точек соответствует восходящая дуга AB : для любой посторонней точки, например C , можно построить улучшающую ее точку (*) в том смысле, что либо $m^* > m, V^* = V$ (точка C_1), либо $m^* = m, V^* < V$ (точка C_2), либо $m^* > m, V^* < V$ (точка C_3), а для «своих» точек этого сделать нельзя.

Аналитическое решение задачи двухвидового портфеля

Представим решение задачи об оптимизации портфеля ценных бумаг в аналитическом виде.

Рассмотрим случай для двух параметров x_1, x_2 (ценных бумаг), т.е. $n = 2$.

Допустимая область D :

$$D' = \{x \mid 0 \leq x_1, x_2 \leq 1\},$$

$$D = \{x \mid x \in D', h(x) = 0\}.$$

Ограничение области поиска оптимального решения:

$$h(x) = x_1 + x_2 - 1.$$

Функция дохода $f_1(x)$:

$$f_1(x) = m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2 \rightarrow \max.$$

Функция риска $f_2(x)$:

$$f_2(x) = V_1 \cdot x_1^2 + V_2 \cdot x_2^2 + V_3 \cdot x_1 \cdot x_2 \rightarrow \min.$$

Вид функций дохода и риска с указанием значений переменных:

$$m_1 = 3, \quad m_2 = 1 \Rightarrow f_1(x) = 3x_1 + x_2.$$

$$V_1 = 2, \quad V_2 = 1, \quad V_3 = 1 \Rightarrow f_2(x) = 2x_1^2 + x_2^2 + x_1 \cdot x_2.$$

Требуется найти: D, G, x^*, f^* .

Определение границ достижимой области G .

$$f_1 \in [0; m+1] \Rightarrow f_1 \in [0; 4].$$

$$f_2 \in [0; V+2] \Rightarrow f_2 \in [0; 4].$$

Для того чтобы на основании допустимой области получить достижимую область, необходимо отобразить в пространство критериев каждый участок области пространства параметров.

1) Отображение первой границы:

$$x_1 \in [0; 1], x_2 = 0.$$

$$f_1 = 3x_1 \Rightarrow f_1 \in [0; 3], \quad f_2 = 2x_1^2, x_1 = \frac{f_1}{3}, f_2 = 2\left(\frac{f_1}{3}\right)^2.$$

2) Отображение второй границы:

$$x_1 = 0, x_2 \in [0; 1].$$

$$f_1 = x_2 \in [0; 1], f_2 = x_2^2, f_2 = f_1^2.$$

3) Отображение третьей границы:

$$x_1 \in [0; 1], x_2 = 1.$$

$$f_1 = 3x_1 + 1 \in [1; 4], f_2 = 2x_1^2 + 1 + x_1,$$

$$x_1 = \frac{f_1 - 1}{3}, \quad f_2 = 2\left(\frac{f_1 - 1}{3}\right)^2 + 1 + \frac{f_1 - 1}{3} = \frac{2}{9}\left(f_1 - \frac{1}{4}\right)^2 + \frac{7}{8},$$

$$f_1 = 4 \Rightarrow f_2 = \frac{2}{9}\left(4 - \frac{1}{4}\right)^2 + \frac{7}{8} = 4.$$

4) Отображение четвертой границы:

$$x_1 = 1, x_2 \in [0; 1].$$

$$f_1 = 3 + x_2 \in [3; 4], \quad f_2 = 2 + x_2^2 + x_2,$$

$$x_2 = f_1 - 3, \quad f_2 = 2 + (f_1 - 3)^2 + f_1 - 3 = \left(f_1 - \frac{5}{2}\right)^2 + \frac{7}{4},$$

$$f_1 = 3 \Rightarrow f_2 = \left(3 - \frac{5}{2}\right)^2 + \frac{7}{4} = 2,$$

$$f_1 = 4 \Rightarrow f_2 = \left(4 - \frac{5}{2}\right)^2 + \frac{7}{4} = 4.$$

5) Отображение линии ограничения:

$$x_1 + x_2 = 1, \quad x_2 = 1 - x_1, \quad x_1 \in [0; 1].$$

$$f_1 = 3x_1 + 1 - x_1 = 2x_1 + 1 \in [1; 3],$$

$$f_2 = 2x_1^2 + (1 - x_1)^2 + x_1 \cdot (1 - x_1) = 2x_1^2 - x_1 + 1,$$

$$x_1 \frac{f_1 - 1}{2}, \quad f_2 = 2 \left(\frac{f_1 - 1}{2} \right)^2 - \frac{f_1 - 1}{2} + 1 = \frac{1}{2} \left(f_1 - \frac{3}{2} \right)^2 + \frac{7}{8},$$

$$f_1 = 1 \Rightarrow f_2 = \frac{1}{8} + \frac{7}{8} = 1,$$

$$f_1 = 3 \Rightarrow f_2 = \frac{9}{8} + \frac{7}{8} = 2.$$

б) Нахождение оптимальной точки на основании использования подходов многокритериальной оптимизации.

Для реализации данной задачи наиболее эффективным является использование условной оптимизации, при которой на первые критерии накладываются ограничения (f_1), а последний критерий минимизируется (f_2).

Условная оптимизация:

$$f_1 \geq 2, \quad f_2 \rightarrow \min \Rightarrow f_1^* = 2 \Rightarrow f_2^* = 1,$$

$$f_1^* = 3x_1^* + x_2^* = 2x_1^* + (x_1^* + x_2^*) = 2x_1^* + 1 = 2.$$

Таким образом, найдена оптимальная точка:

$$x^* = (0.5; 0.5), \quad f^* = (2; 1).$$

Решение задачи в допустимой и достижимой области представлено на рис.2, рис.3.

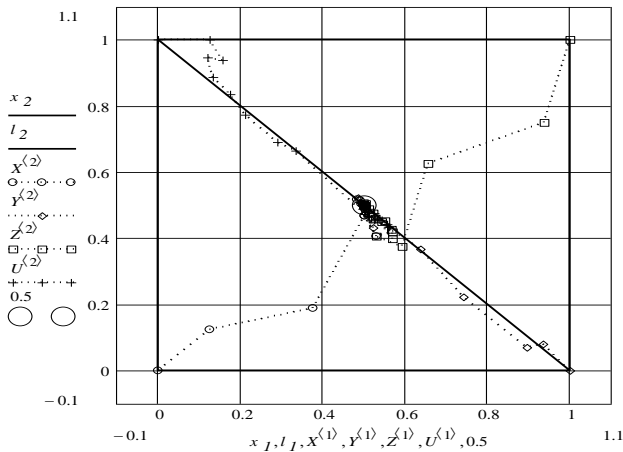


Рис.2 Допустимая область с траекториями поиска

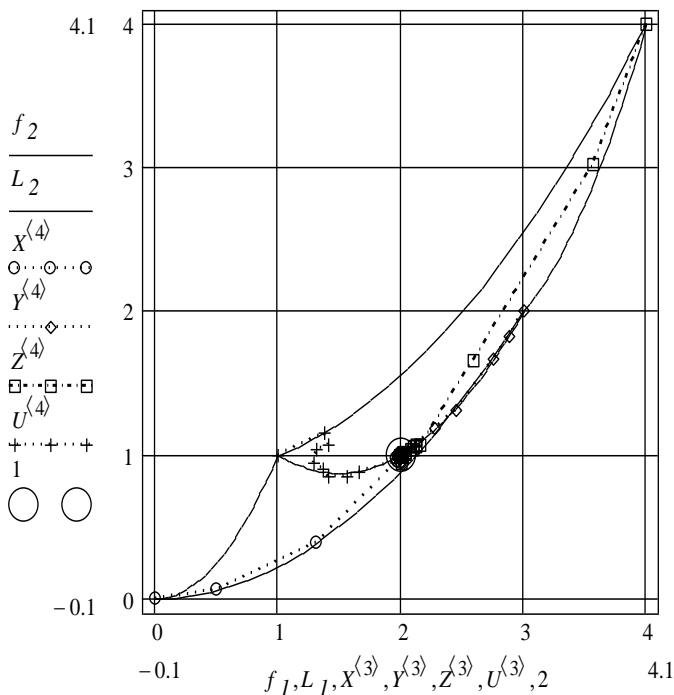


Рис.3 Достижимая область с траекториями поиска

Проведенная работа позволяет сделать следующие выводы. Поставлена задача оптимизации структуры портфеля ценных бумаг. Выбрана модель задачи двухкритериальной оптимизации портфеля инвестора. Разработаны методы оптимизации для решения поставленной задачи. Получено аналитическое решение данной задачи при оптимизации двувидового портфеля ценных бумаг.

Список литературы: 1. Капитоненко В.В. Финансовая математика и ее приложения: Учебно-практическое пособие для вузов. — М.: «Издательство ПРИОР», 1998. 2. Фадеев А. Формирование портфеля ценных бумаг//Рынок ценных бумаг. — 1995.— №18 3. Математические модели формирования портфеля ценных бумаг. — http://www.finbridge.ru/mat/mat_model.html

Поступила в редколлегию 05.04.06

А. А. ПЛАХТЫРЯ студент НТУ «ХПИ»

ДИАГНОСТИКА БАНКРОТСТВА КОММЕРЧЕСКОГО БАНКА

У статті запропоновані методи раннього виявлення кризи в банківських установах. Описано системи, які використовуються для оцінки ризиків і діагностики кредитних організацій. Зроблено висновок про використання даних систем для ранньої діагностики й індивідуальної оцінки банківських ризиків в Україні.

Анализ литературы. В последние годы все больше внимания уделяется ранней диагностике банковской сферы, когда проблемы выявляются на начальной стадии, что позволяет заранее предотвратить развитие кризиса, приняв соответствующие стабилизирующие меры. Однако, несмотря на наличие общих тенденций, правила банковского надзора и регулирования, используемые в разных странах, отличаются друг от друга в силу особенностей исторического развития, построения и степени открытости финансовой системы, числа, размера и концентрации кредитных учреждений, масштабов раскрытия информации о финансовой деятельности, достаточности технологических и кадровых ресурсов для регулирования и надзора.

Мероприятия по банковскому надзору могут проводиться в дистанционной форме (удаленный мониторинг) и в форме инспектирования (проверки на месте). В отсутствие правовых оснований или ресурсов на инспектирование органы надзора полагаются на удаленный мониторинг. Процесс предусматривает анализ и проверку финансовой и прочей информации касательно деятельности банка. При инспектировании проводится общая оценка банка с выездом на место. Такая проверка позволяет контролеру лучше оценить качественные характеристики, такие, как способности менеджмента и процедуры внутреннего контроля, отражение которых в отчетности может быть недостаточным.

Удаленный мониторинг позволяет оценивать состояние банка на основе отчетной информации, экономит издержки, связанные с нарушением работы банка и отвлечением проверяющего персонала, обеспечивает целевой характер проверок на местах. Тем не менее, удаленный мониторинг как преимущественный метод диагностики недостаточно эффективен. Как показали исследования, правильность данных банковской отчетности прямо зависит от регулярности и полноты проверок, а оптимальные результаты достигаются при сочетании обоих методов [1].

Кроме того, государство использует внешних аудиторов, причем в нашей стране они обязаны информировать органы надзора о выявленных признаках вероятной неплатежеспособности или неликвидности банка [2].

Таблица 1

Индикаторы банковского кризиса/нестабильности

Описание параметра	Показывает вероятность банкротства/ Нестабильности	Указывает время до наступления кризиса	Что измеряет параметр
1	2	3	4
➤ НЕПОСРЕДСТВЕННЫЕ ИНДИКАТОРЫ НЕСТАБИЛЬНОСТИ			
Отношение неисполняемых кредитов с активами	+	-	Высокий уровень «плохих» кредитов говорит о серьезных проблемах
Отношение неисполняемых кредитов минус резервы с активами	+	-	
Доля «плохих» кредитов во всех кредитах	+	-	
Отношение собственного капитала к активам	-	+	Высокий уровень капитала выполняет защитную функцию
Собственный капитал плюс резервы к активам	-	+	
Собственный капитал плюс резервы минус «плохие» кредиты к активам	-	+	Покрытие «плохих» кредитов капиталом и резервами
➤ ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ РИСКА			
Рыночный риск			
Отношение коммерческих и промышленных кредитов к активам	+/-	-/+	Высокие риски при концентрации на растущих отраслях, в сферах, зависящих от циклических колебаний, секторах с доходами выше рыночных
Кредиты сельскому хозяйству к активам	+/-	-/+	
Кредиты на строительство, плюс кредиты, обеспеченные нежилой сельскохозяйственной недвижимостью, многоквартирными домами к активам	+	-	Коммерческие займы на недвижимость особенно рискованны из-за длительных сроков окупаемости
Отношение кредитов, обеспеченных жилой недвижимостью, к активам	+/-	-/+	
Потребительские кредиты к активам	+/-	-/+	
Необеспеченные кредиты к активам	+/-	-/+	

Продолжение таблицы 1.

1	2	3	4
Кредитный риск			
Отношение кредитов к активам	+	-	Чем оно выше, тем больше кредитный портфель подвержен риску дефолта.
Средний доход по кредитам	+/-	-/+	Высокие доходы могут говорить о выдаче рискованных кредитов. Низкие – о несовершенстве системы определения рисков
Разница между средним доходом по кредитам и процентами по депозитам	+/-	-/+	Высокий спрэд может говорить о рискованной кредитной политике
Риск ликвидности (источников финансирования)			
Отношение крупных депозитных сертификатов к активам	-	+	Крупные депозиты без должного обеспечения имеют высокую волатильность
Отношение вкладов населения к активам	-	+	Массовый отток депозитов негативно сказывается на ликвидности
Отношение привлеченных государственных и других заемных средств к активам, депозитов других банков к активам	-	+	У банков-партнеров может быть достоверная информация о финансовом положении банка
Инвестиционные ценные бумаги к активам	-	+	Способность банка покрывать отток вкладов
Расходы на выплаты процентов к депозитам	+	-	Высокие ставки по депозитам могут говорить о проблемах с ликвидностью, принятии повышенных рисков
Моральные риски			
Отношение кредитов инсайдерам к активам	+	-	Конфликт интересов
Проценты по кредитам, комиссионные и платежи по лизингу к активам	+	-	Могут быть возможности для нечистоплотного поведения
➤ РЕГИОНАЛЬНЫЕ И МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИЕ РИСКИ			
Цены на нефть	-	+	Кризис в отрасли, где действует банк
Экспортные цены	-	+	Кризис начался из-за падения цен
Изменение валютного курса	+	-	Девальвация
Изменения в личных доходах	-	+	Влияние на динамическую активность
Краткосрочные реальные процентные ставки	+	-	Потенциальный кризис процентных ставок

Продолжение таблицы 1.

1	2	3	4
➤ БАНКОВСКИЙ СЕКТОР			
Отношение всех банковских кредитов в регионе к личным доходам в регионе	+/-	-/+	Возможность «стадного» поведения банков или оттоков депозитов, терпимость органов надзора
Отношение выданных кредитов к ВВП	+/-	-/+	
➤ ДРУГИЕ ПАРАМЕТРЫ			
Отношение чистого дохода к средним активам	+/-	-/+	Индикатор прибыльности. Однако от стадии цикла излишне рискованные проекты могут быть очень прибыльными на начальном этапе
Отношение процентного дохода к среднему уровню капитала	+/-	-/+	
Маржа прибыли	+/-	-/+	
Уровень доходов персонала к средним активам	+	-	Степень контроля руководства над расходами
Отношение расходов на содержание основных средств к средним активам	+	-	
Размер активов	-	+	Масштаб банка (Принцип: слишком большой, чтобы дать обанкротиться)

Многочисленные исследования, проводимые надзорными органами и в международных финансовых организациях, пытаются выявить факторы, которые позволят идентифицировать наличие нестабильности банковской системы. На основе данных о кризисах, доводящих банки до банкротства в Украине можно назвать следующие макро- и микроэкономические факторы [3], формируя, тем самым, модель диагностики прогнозирования банкротства банка, представленные в таблице 1.

В Украине для оценки рисков и диагностики используется несколько систем. Некоторые из них выявляют уже существующие проблемы, в то время как другие позволяют получить сигналы о потенциальном ухудшении в будущем на основе текущих рисков. В целом такие системы решают следующие задачи: 1) систематическая формализованная оценка кредитных организаций в рамках инспектирования и удаленного мониторинга; 2) идентификация банков и направлений деятельности внутри банка, где есть или могут появиться проблемы; 3) выявление приоритетных направлений проверок для оптимального распределения ресурсов надзорных органов; 4) инициация своевременных действий надзорного органа.

Согласно исследованию, проведенному в Банке международных расчетов, по формальным признакам можно выделить четыре широкие категории систем диагностики: 1) рейтинговые системы оценки банков; 2) системы финансовых коэффициентов и группового анализа; 3) комплексные системы оценки банковских рисков; 4) статистические модели [4].

Основные черты каждой из категорий представлены в таблице 2.

Использование нескольких систем повышает вероятность того, что хотя бы одна из них обнаружит проблемный банк. Системы в основном совмещают качественные оценки и количественные расчеты с использованием компьютера. В некоторых преобладают экспертные суждения, в других доминируют выкладки компьютерных программ.

Таблица 2

Характерные черты систем оценки риска и ранней диагностики

	Оценка текущего финансового состояния	Прогноз будущего финансового состояния	Количественный анализ и статистические процедуры	Включение качественных оценок	Специальное выделение категории риска	Связь с формальными надзорными действиями
Рейтинги:	+++	+	+	+++	+	+++
Проверка на месте	+++	+	++	++	++	+
Финансовые коэффициенты и групповой анализ	+++	+	+++	+	++	+
Комплексная оценка рисков	+++	++	++	++	+++	+++
Статистическая модель	++	+++	+++	+	++	+

+ — несущественный признак; ++ — существенный признак; +++ — очень существенный признак.

Теоретическую и методологическую основу данного исследования составляют научные положения в области банковских систем о финансовом положении и модели диагностики банкротства коммерческих банков; особенно — действенный подход, разработанный в трудах А.З. Остапович, Е.Б. Беляков, Е.Б. Мягкова.

Цель статьи. Провести качественную оценку эффективности модели диагностики банкротства в коммерческом банке, финансовых норм, и требований современной банковской системы, систем контроля над финансовым положением и такого явления, как диагностика банкротства в целом.

Постановка задачи:

– сделать анализ современных методов диагностики банкротства коммерческого банка и теоретических позиций идеологов инновационных направлений в банковской системе.

– описать структуру моделирования диагностики банкротства банка с позиции системного подхода, сделать анализ современных моделей диагностики.

– сделать анализ значимых аспектов в диагностике банкротства коммерческих банков и усовершенствовании работы контролирующих органов.

– разработать и использовать модель диагностики банкротства и усовершенствования ее возможностей.

Новизна исследования состоит в следующем:

– впервые теоретически обоснована и разработана модель диагностики банкротства коммерческого банка с позиции системного подхода;

– разработана и использована релевантная заданию исследования модель диагностики банкротства коммерческого банка, которая позволяет на ранней стадии определить и предупредить банкротство банка;

– обоснована и подтверждена возможность использования предложенной модели диагностики банкротства коммерческого банка.

Теоретическое значение исследования состоит в том, что его результаты расширяют понимание современных тенденций развития банковской системы; позволяют сформировать методологическое обоснование положения о строении интегральной структуры; расширяют опыт понимания теории и практики инновационных моделей диагностики банкротства коммерческих банков.

Практическое значение определяется возможностью использования полученных в результате проведенного исследования данных для качественной диагностики банкротства любого коммерческого банка. Вследствие чего становится возможным минимизировать вероятность ошибочного выбора модели диагностики банкротства банка, что защищает последних от негативных последствий. Результаты исследования могут быть включены в курсы лекций по банковскому делу и диагностике финансового состояния.

Основные результаты исследования. Делая выводы из исследования, мы пришли к тому, что риск банкротства является сложным как в оценке, так и в управлении. Сложность оценки банкротства проистекает из сложности анализа факторов и конечных причин банкротства. Выражаясь

математически, предварительно следует описать размерность пространства, в котором оперирует банк (т. е. пространства переменных, описывающих состояние банка, — совокупность активов, пассивов и финансовых потоков). Далее, по каждому параметру определяется зона допустимых значений (таких, которые не характеризуют предбанкротное состояние). Наконец, для каждого параметра определяется значение, связанное с текущим состоянием банка и оценивается степень рискованности данного значения для банка (насколько данное значение приближено к минимальной/максимальной границе). На основе этого можно определить, во-первых, количественную характеристику уровня риска банкротства и, во-вторых, основные направления.

В реальной жизни подобный анализ недоступен даже крупным банкам с развитым методологическим департаментом, не говоря уже о средних и мелких банках. Дополнительно можно говорить о вовлеченности банка в риск, что следует из природы банкротства коммерческого банка. Если для неудачи по отдельным операциям субъект обладает возможностью предварительного анализа, то риск банкротства по банку не дает такой возможности — субъект не может некоторым образом зафиксировать дальнейшие изменения с целью детального анализа и, соответственно, либо вынужден принимать недостаточно обоснованные решения, либо пассивно ожидать конечного результата. Это особенно актуально в периоды нестабильности, когда, с одной стороны, существует значительная нехватка времени, а с другой — даже одно не совсем правильное решение может привести к значительному ухудшению состояния банка.

Риск банкротства нельзя определить путем механического сложения отдельных рисков по операциям, что основано на ряде причин.

Риски банкротства имеют в своей основе неопределенность; это значит, что реализуется только часть их; соответственно, реальные потери, скорее всего, будут ниже ожидаемых на основе оценки. Точнее говоря, цель оценки заключается в определении такой суммы потерь, которая будет не меньше размера реальных потерь; если последние превзойдут ожидаемые, то налицо недостатки системы оценки.

Таким образом, можно резюмировать, что риск банкротства является совершенно обособленным по своей природе, по механизмам воздействия и способам управления спектром опасностей, что позволяет выделить его в особую категорию.

Так же, можно сделать вывод, что на данный момент в современной банковской системе Украины наиболее эффективным методом диагностики банкротства является аналитический метод, описанный в работе. Так как не требует огромных финансовых затрат, сложнейших математических расчетов, доступен как крупным так и маленьким коммерческим банкам, удобен в применении, а так же более качественно позволяет диагностировать банкротство коммерческого банка, четко определяя причины и пути решения данной проблемы.

Выводы. Данное исследование показало, что аналитическая модель диагностики банкротства коммерческого банка, которая построена на положительном опыте зарубежных стран и применима в Украине, является на данный момент не только инновационной, но и позволяет создать благоприятные условия работы в банковской системе, улучшить качество результатов диагностики, уменьшить сроки диагностики и количество специалистов, является более удобной в использовании, не требует применения специальных математических аппаратов, что позволяет в свою очередь сократить как время, так и финансы.

Данную модель можно применять в комплексе с некоторыми иностранными моделями, которые совсем недавно начали применяться в Украине, но еще не получили полного спектра использования в банковской сфере, перечисленными ниже, которые позволяют проверить и уточнить результаты, а так же дополнить уже полученные данные. Такой комплекс является инновацией в Украине и по прогнозам Центра Научных Исследований «ЦНИ» к 2009 году будет применяться во всех коммерческих банках Украины.

Это такие модели как модель экспресс анализа финансового состояния банка, основанная на результатах исследования группы финансового анализа "Амелин и партнеры"; модель Калипсо, разработанная В.В.Ивановым; модель расчета текущей платежеспособности коммерческого банка на рынке, разработанная А.В. Марьиним.

Из всего выше сказанного следует, что банковская система Украины не стоит на месте, она развивается и модернизируется. Но нестабильность финансового рынка, как и множество других факторов, может повлиять на развитие коммерческого банка и очень важно вовремя провести диагностику банкротства. Наиболее приемлемой моделью диагностики банкротства коммерческого банка на данный момент и является вышеописанная модель.

Список литературы: 1. Международный опыт реструктуризации банковских систем./А.З.Астапович, Е.В. Белякова, Е.Б.Мягков и др. — М.: Бюро экономического анализа, Магистр ЛТД, 1998. 2. Internal audit in banking organisations and the relationship of the supervisory authorities with internal and external auditors. BIS Consultative Paper, Basel, July 2000. 3. Gonzales-Hermosillo, Brenda. Determinants of Ex-Ante Banking System Distress: A Macro-Micro Empirical Exploration of Some Recent Episodes. IMF Working Paper No. 33, 1999. 4. Ranjana Sahajwala, Paul Van den Bergh. Supervisory risk assessment and early warning systems. BIS Working Paper No. 4, Basel, December 2000. 5. Frydl, Edward J. The Length and Cost of Banking Crises. IMF Working Paper No. 30, 1999.

Поступила в редколлегию 12.05.06

Л. Б. КАЩЕЕВ, канд. техн. наук, *А. С. ЛИХУШИН*

ЗАДАЧА ПОИСКА АССОЦИАТИВНЫХ ПРАВИЛ ПРИ АНАЛИЗЕ РЫНОЧНЫХ КОРЗИН

В статті пропонується аналіз існуючих алгоритмів добутку знань в базах даних. На прикладі задачі аналізу корзин споживачів розглядаються методи обробки даних, показники підтримки достовірності та покращення добутку даних. Розглянуто механізм пошуку правил та існуючі алгоритми Apriori, DHP, DIC.

В последнее время неуклонно растет интерес к методам обнаружения знаний в базах данных. Весьма внушительные объемы современных баз данных вызвали устойчивый спрос на новые масштабируемые алгоритмы анализа данных. Для обнаружения скрытых знаний необходимо применять специальные методы, при помощи которых можно добыть знания из “завалов” информации. За этим направлением закрепился термин *добыча данных*.

Добыча данных – исследование и обнаружение алгоритмами скрытых знаний, которые ранее не были известны, нетривиальны, практически полезны, доступны для интерпретации человеком. Одной из наиболее распространенных задач анализа данных является определение часто встречающихся наборов объектов (анализ рыночных корзин) в большом множестве наборов. Для решения подобной задачи используются алгоритмы поиска ассоциативных правил.

Формальная постановка задачи формулируется следующим образом.

Объекты, составляющие исследуемые наборы данных, обозначаются множеством

$$I = \{i_1, i_2, \dots, i_j, \dots, i_n\}, \quad (1)$$

где i_j – объекты, входящие в анализируемые наборы; n – общее количество объектов.

Анализируемые наборы объектов из множества I , хранящиеся в базе данных, описываются как подмножество множества I :

$$T = \{i_j | i_j \in I\}. \quad (2)$$

Такие подмножества применительно к потребительским корзинам соответствуют наборам товаров, покупаемых потребителем и сохраняемых в базах данных в виде товарного чека или накладной. Набор подмножеств (класс), информация о которых доступна для анализа, обозначаются следующим множеством:

$$D = \{T_1, T_2, \dots, T_r, \dots, T_m\}, \quad (3)$$

где m – количество доступных для анализа подмножеств.

Множество подмножеств, в которые входит объект i_j , обозначим следующим образом:

$$D_{i_j} = \{T_r | i_j \in T_r; j = 1..n; r = 1..m\} \subseteq D. \quad (4)$$

Некоторый произвольный набор объектов обозначим следующим образом:

$$F = \{i_j | i_j \in I; j = 1..n\}. \quad (5)$$

Набор, состоящий из k объектов, называется k -элементным набором.

Класс подмножеств, в которые входит набор F , обозначим следующим образом:

$$D_F = \{T_r | F \in T_r; r = 1..m\} \subseteq D. \quad (6)$$

Отношение количества подмножеств, в которое входит набор F , к общему количеству подмножеств называется поддержкой (support) набора F и обозначается $Supp(F)$:

$$Supp(F) = \frac{|D_F|}{|D|}. \quad (7)$$

При поиске пользователь системы может указать минимальное значение поддержки интересующих его наборов $Supp_{min}$. Набор называется частым, если значение его поддержки больше минимального значения. Таким образом, при поиске ассоциативных правил требуется найти множество всех частых наборов (провести синквенциальный анализ):

$$L = \{F | Supp(F) > Supp_{min}\}. \quad (8)$$

Результаты, получаемые при решении задачи анализа потребительских корзин, принято представлять в виде правил вида *если (условие) то (результат)*, где *условие* – обычно не логическое выражение, а набор объектов из множества I , с которыми ассоциированы объекты, включенные в *результат* данного правила.

Основным достоинством ассоциативных правил является их легкое восприятие человеком и простая интерпретация языками программирования. Однако они не всегда полезны. Выделяют три вида правил:

- *Полезные правила* – содержат действительную информацию, которая ранее была неизвестна, но имеет логичное объяснение. Такие правила могут быть использованы для принятия решений, приносящих выгод;
- *Тривиальные правила* – содержат действительную и легко объяснимую информацию, которая уже известна;
- *Непонятные правила* – содержат информацию, которая не может быть объяснена, и требуют дополнительного анализа.

Для оценки полезности полученных правил вводятся следующие критерии.

Поддержка – показывает, какой процент транзакций поддерживает данное правило. Так как правило строится на основании набора, то, значит, правило $X \Rightarrow Y$ имеет поддержку, равную поддержке набора F , который составляют X и Y :

$$Supp_{X \Rightarrow Y} = Supp_F = \frac{|D_{F=X \cup Y}|}{|D|}. \quad (9)$$

Достоверность – показывает вероятность того, что из наличия в транзакции набора X следует наличие в ней набора Y . Достоверностью правила $X \Rightarrow Y$ является отношение числа подмножеств, содержащих наборы X и Y , к числу подмножеств, содержащих набор X :

$$Conf_{X \Rightarrow Y} = \frac{|D_{F=X \cup Y}|}{|D_X|} = \frac{Supp_{X \cup Y}}{Supp_X}. \quad (10)$$

Очевидно, что чем больше достоверность, тем правило лучше. К сожалению, достоверность не позволяет оценить полезность правила. Если процент наличия в транзакциях набора Y при условии наличия в них набора X меньше, чем процент безусловного наличия набора Y , т.е.:

$$Conf_{X \Rightarrow Y} = \frac{Supp_{X \cup Y}}{Supp_X} < Supp_Y, \quad (11)$$

Это значит, что вероятность случайно угадать наличие в подмножестве набора Y больше, чем предсказать это с помощью правила $X \Rightarrow Y$. Для исправления такой ситуации вводится мера – *улучшение*.

Улучшение – показывает, полезнее ли правило случайного угадывания. Улучшение правила является отношением числа транзакций, содержащих наборы X и Y , к произведению количества транзакций, содержащих набор X , и количества транзакций, содержащих набор Y :

$$impr_{X \Rightarrow Y} = \frac{|D_{F=X \cup Y}|}{|D_X| \cdot |D_Y|} = \frac{Supp_{X \cup Y}}{Supp_X \cdot Supp_Y}. \quad (12)$$

Если улучшение больше единицы, то это значит, что с помощью правила предсказать наличие набора Y вероятнее, чем случайное угадывание, если меньше единицы, то наоборот.

Значения для параметров минимальная поддержка и минимальная достоверность выбираются таким образом, чтобы ограничить количество найденных правил. Если поддержка имеет большое значение, то алгоритмы будут находить правила, хорошо известные аналитикам или настолько очевидные, что нет никакого смысла проводить такой анализ. С другой стороны, низкое значение поддержки ведет к генерации огромного количества правил, что, конечно, требует существенных вычислительных ресурсов. Тем не менее, большинство интересных правил находится именно

при низком значении порога поддержки. Хотя слишком низкое значение поддержки ведет к генерации статистически необоснованных правил.

Выявление частых наборов объектов – задача требующая большое количество вычислений, а следовательно, и времени. Один из первых алгоритмов, эффективно решающих подобный класс задач, – это алгоритм Apriori, разработанный в 1994 году Рамакришнаном и Агравалом. Кроме этого алгоритма в последнее время был разработан ряд других алгоритмов: DHP, Partition, DIC [1,2], которые используются также для решения других задач поиска ассоциативны правил(обобщенные ассоциативные правила, численные ассоциативные правила). Алгоритм Apriori превосходит другие по простоте реализации и скорости выполнения и более применим к данной задаче. Следует упомянуть и алгоритм AprioriTid, являющийся развитием алгоритма Apriori.

Алгоритм использует одно из свойств поддержки, гласящее: поддержка любого набора объектов не может превышать минимальной поддержки любого из его подмножеств:

$$Supp_F \leq Supp_E, \text{ при } E \subset F. \quad (13)$$

Алгоритм Apriori определяет часто встречающиеся i -элементные наборы. Каждый этап состоит из двух шагов: формирования кандидатов и подсчета поддержки кандидатов.

На i -ом этапе на шаге формирования кандидатов алгоритм создает множество кандидатов из i -элементных наборов, чья поддержка пока не вычисляется. Для подсчета поддержки кандидатов нужно сравнить каждую транзакцию с каждым кандидатом. Очевидно, что количество кандидатов может быть очень большим, поэтому гораздо эффективнее использовать подход, основанный на хранении кандидатов в хеш-дереве.

После того как найдены все часто встречающиеся наборы элементов, можно приступить непосредственно к генерации правил.

Извлечение правил – менее трудоемкая задача. Во-первых, для подсчета достоверности правила достаточно знать поддержку самого набора и множества, лежащего в условии правила. Например, имеется часто встречающийся набор $\{A, B, C\}$ и требуется подсчитать достоверность для правила $AB \Rightarrow C$. Поддержка самого набора нам известна, но и его множество $\{A, B\}$, лежащее в условии правила, также является часто встречающимся в силу свойства антимонотонности, и значит его поддержка известна. Тогда мы легко сможем подсчитать достоверность. Это избавляет от нежелательного просмотра базы транзакций, который потребовался в том случае, если бы это поддержка была неизвестна.

Чтобы извлечь правило из часто встречающегося набора F , следует найти все его непустые подмножества. И для каждого подмножества s мы сможем

сформулировать правило $s \Rightarrow (F - s)$, если достоверность правила $Conf(s \Rightarrow (F - s)) = \frac{Supp(F)}{Supp(s)}$ не меньше порога $minconf$.

Заметим, что числитель остается постоянным. Тогда достоверность имеет минимальное значение, если знаменатель имеет максимальное значение, а это происходит в том случае, когда в условии правила имеется набор, состоящий из одного элемента. Все супермножества данного множества имеют меньшую или равную поддержку и, соответственно, большее значение достоверности. Это свойство может быть использовано при извлечении правил.

Если мы начнем извлекать правила, рассматривая сначала только один элемент в условии правила, и это правило имеет необходимую поддержку, тогда все правила, где в условии стоят супермножества этого элемента, также имеют значение достоверности выше заданного порога. Например, если правило $A \Rightarrow BCDE$ удовлетворяет минимальному порогу достоверности $minconf$, тогда $AB \Rightarrow CDE$ также удовлетворяет. Для того чтобы извлечь все правила используется рекурсивная процедура. Важное замечание: любое правило, составленное из часто встречающегося набора, должно содержать все элементы набора. Например, если набор состоит из элементов $\{A, B, C\}$, то правило $A \Rightarrow B$ не должно рассматриваться.

Если объекты имеют дополнительные атрибуты, которые влияют на состав объектов в подмножествах, а следовательно, и в наборах корзин, то они должны учитываться в генерируемых правилах. В этом случае условия части правил будут содержать не только проверку наличия объекта в подмножествах, но и более сложные операции сравнения: больше, меньше, включение, симметрическая разность и др.

Задача поиска ассоциативных правил впервые была представлена для анализа рыночной корзины. Ассоциативные правила эффективно используются в сегментации покупателей по поведению при покупках, анализе предпочтений клиентов, планировании расположения товаров в супермаркетах, кросс-маркетинге, адресной рассылке. Однако сфера применения этих алгоритмов не ограничивается лишь одной торговлей. Их также успешно применяют и в других областях: медицине, для анализа посещений веб-страниц, для анализа текста, для анализа данных по переписи населения, в анализе и прогнозировании сбоев телекоммуникационного оборудования и т.д.

Список литературы: 1. Барсегян А.А., Куприянов М.С. и др. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining. СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 336 с. 2. Куприянов М.С., Ярыгин О.Н. Построение отношения и меры сходства нечетких объектов//Техническая кибернетика, 1988, №3. С.78 – 86.

Поступила в редколлегию 03.05.06

В.А. КОЛБАСИН

РАСПОЗНАВАНИЕ СИГНАЛОВ ДОНАБОРА НОМЕРА В ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМЕ В ПРИСУТСТВИИ ПОЛИГАРМОНИЧЕСКОЙ ПОМЕХИ

У роботі розглянуто двохетапний метод розпізнавання сигналу донaborу номера в імпульсному режимі у присутності полігармонічної перешкоди. На першому етапі, використовуючи розходження в тривалостях інтервалу стаціонарності перешкоди й корисного сигналу, виконується послаблення перешкоди. Потім виконується виявлення диференціалів фронтів (ДФ) як виражених максимумів потужності сигналу. На другому етапі, використовуючи позиції ДФ, виконується розпізнавання переданих цифр.

Введение. При разработке и адаптации к условиям Украины систем компьютерной телефонии (СКТ) особого внимания требует организация диалога с пользователем. Традиционно взаимодействие с пользователем осуществляется следующим образом: СКТ воспроизводит голосовые сообщения, а пользователь передает в ответ цифровые команды, набирая их на номеронабирателе телефонного аппарата (ТА). Большинство СКТ предполагают, что набор номера при этом будет вестись в тональном режиме. Однако в Украине значительное количество ТА (до 50 %) поддерживает только импульсный набор номера [1]. Поэтому для увеличения количества возможных абонентов СКТ должна распознавать цифровые команды, переданные в импульсном режиме.

При наборе номера в импульсном режиме каждая цифра кодируется количеством кратковременных разрывов линии. При разрыве линии напряжение увеличивается до 48-60 В, а при соединении вновь падает до 5-15 В. Временные параметры импульсного набора определяются стандартом [2]. Номер, набираемый в импульсном режиме, АТС и СКТ принимают и декодируют по-разному. После поднятия абонентом трубки и до установления соединения АТС подключает к телефонной линии регистр – устройство для определения набираемого номера и передачи его на коммутационное поле. Регистр подключается к линии до входных цепей и за счет большого перепада напряжения надежно определяет номер. СКТ же подключается к телефонной линии абонента после цепей АТС и уже после установления соединения. То есть до СКТ сигнал доходит после прохождения телефонного тракта. При этом сигналы набора номера в импульсном режиме (ННИР) дифференцируются во входных цепях АТС и от них остаются только дифференциалы фронтов (ДФ). Сигнал ННИР после прохождения ТТ будем называть сигналом донaborу номера в импульсном режиме (ДНИР).

За счет большого разброса параметров телефонных аппаратов, цепей АТС и телефонных линий вид, мощность и длительность ДФ могут меняться в широких пределах (см. рисунок 1). В ряде случаев при прохождении

сигнала ННИР телефонного тракта (ТТ) к сигналу добавляются тональная и речевая помехи (случаи в и г).

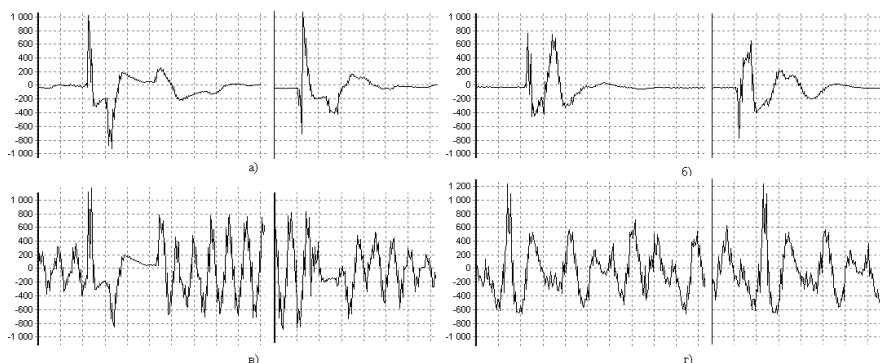


Рисунок 1. Осциллограммы ДФ чистых (а, б), зашумленных тональными сигналами (в) и речью (г).

Как показывает практика, большинство зарубежных систем для разработки СКТ не предназначено для работы в таких условиях и обеспечивает плохое качество распознавания. Поэтому целью данной работы является создание методики распознавания сигнала ДНИР в присутствии полигармонических помех.

Анализ. Поскольку под распознаванием сигнала ДНИР в данной работе мы понимаем распознавание переданной цифры, восстанавливать исходный сигнал ННИР не требуется. Вместо этого достаточно обнаружить местоположение его фронтов, что можно сделать, зная позиции ДФ. Таким образом, распознавание ДНИР предлагается осуществлять в два этапа: на первом этапе выполнить обнаружение ДФ, а на втором – используя позиции ДФ декодировать переданную цифру.

Обнаружение ДФ. Обнаружение ДФ сильно затруднено вследствие изменчивости вида и параметров ДФ. При этом создать общий образец ДФ для одного из классических методов обнаружения сигнала в шуме на наш взгляд не представляется возможным. Выполнять же обнаружение ДФ по набору образцов, например как это сделано в работе [3] для решения схожей задачи обнаружения щелчков в граммофонных записях, нецелесообразно из-за существенного увеличения необходимых для этого вычислительных ресурсов. Таким образом, обнаружение ДФ следует выполнять, основываясь на самых общих свойствах ДФ, не зависящих от характеристик ТТ.

Одним из таких свойств является энергия сигнала в окне анализа. Исходный сигнал ННИР имеет большую энергию и после прохождения ТТ часть этой энергии сохраняется в ДФ. При достаточно малом уровне шума энергия сигнала в окне анализа, содержащем ДФ, будет существенно больше энергии сигнала в соседних окнах анализа. Однако, в присутствии мощной

нестационарной помехи данный локальный максимум энергии сигнала может быть ею замаскирован. Кроме того, подобное изменение энергии сигнала может быть вызвано мощной кратковременной помехой.

Рассмотрим свойства ДФ и полигармонической помехи. ДФ представляет собой широкополосный сигнал, энергия которого распределена по всему спектру. Энергия полигармонической помехи, напротив, сосредоточена в относительно малом количестве полос спектра. Средняя длительность интервала стационарности помехи составляет 20 мс, что более чем в два раза превышает длительность ДФ (8-9 мс). С учетом вышеперечисленных отличий была разработана следующая методика обнаружения ДФ в присутствии полигармонической помехи.

Принятый сигнал разбивается на окна анализа. Длина окна анализа берется равной средней длительности интервала затухания ДФ (81 отсчет), а шаг смещения окон – равным 1/3 длины окна анализа (27 отсчетов). Для каждого окна анализа вычисляются оценки спектральной плотности мощности (СПМ) сигнала и полученные значения добавляются в сдвиговой буфер. Затем по накопленным данным осуществляется подавление помехи.

Исходя из того, что длительность ДФ существенно меньше длительности интервала стационарности помехи, мы можем считать все гармоники, длительность которых больше или равна длительности интервала стационарности помехи, гармониками помехи. Поскольку статистические свойства помехи и шума нам неизвестны, будем использовать консервативную оценку мощности гармоник, предполагая, что все факторы «играют» против нас, увеличивая по ряду окон оценки СПМ. В этом случае оценкой мощности гармоники помехи для i -й компоненты спектра будет минимум по всем оценкам СПМ на протяжении интервала анализа:

$$n_{i,m} = \min_{j=0..K-1} S_{i,m+j}, \quad (1)$$

где i - индекс компоненты спектра;

m - порядковый номер первого окна интервала анализа;

K - длительность интервала анализа.

Поскольку оценки СПМ по окну анализа принимают участие в обработке нескольких интервалов анализа, для лучшего подавления помехи значение мощности гармоники должно выбираться наибольшим по всем интервалам анализа, в которые входит данное окно. Тогда оценка мощности помехи для i -й компоненты спектра в окне под номером m равна:

$$n_{i,m} = \max_{l=-(K-1)..0} \min_{j=0..K-1} S_{i,m+l+j}. \quad (2)$$

Длительность интервала анализа K необходимо выбрать так, чтобы она с учетом перекрытия окон анализа была не меньше среднего интервала стационарности полигармонической помехи и была достаточно большой, чтобы сигнал длительностью ДФ не мог оказать влияния на все окна интервала анализа. Подбор длины интервала анализа проиллюстрирован на рисунке 2. Штриховкой показана область, на которую влияет сигнал

длительностью, равной длительности ДФ. Как видно из рисунка 2, значение длины интервала анализа должно быть равно 7 окнам анализа ($K = 7$).

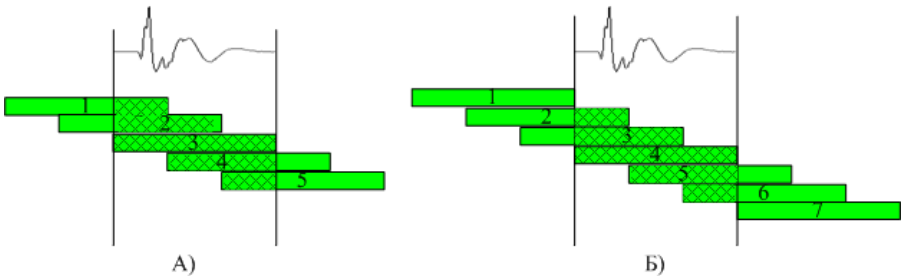


Рисунок 2. Влияние кратковременного сигнала при малом интервале анализа а) недостаточная и б) достаточная длины интервала анализа.

Далее удаляем помеховую составляющую из каждой гармоники сигнала и вычисляем оценку мощности очищенного сигнала:

$$S'_m = \sum_i (S'_{i,m} - n_{i,m}). \quad (3)$$

На основании этой оценки будем определять позиции ДФ как позиции выраженных максимумов сигнала. Для отсеивания маломощных пиков вблизи ДФ воспользуемся сглаживающим фильтром следующего вида:

$$F_m = \begin{cases} S'_m > F_{m-1}, & S'_m \\ S'_m \leq F_{m-1}, & \alpha F_{m-1} \end{cases} \quad (4)$$

и ограничением на мощность локальных максимумов сигнала S'_m :

$$(S'_m > \beta F_m) \cup (S'_m > V). \quad (5)$$

Параметр α отвечает за скорость спада выхода фильтра (4), а параметр β – за допустимый уровень уменьшения мощности следующих импульсов в серии. Параметр V определяет нижнюю допустимую границу мощности ДФ.

Распознавание ДНИР. Для распознавания ДНИР требуется подсчитать количество импульсов в исходном сигнале ДНИР. В случае идеального прохождения сигналом ТТ для этого потребуется подсчитать количество интервалов между ДФ, длительность которых соответствует длительности интервала размыкания телефонной линии (40-70 мс). Однако, в ряде случаев один из ДФ может быть не распознан, равно как и между двумя ДФ, соответствующими фронтам исходного импульса, может появиться третий ДФ. Таким образом, методика подсчета количества импульсов должна учитывать возможности потери ДФ и появления дополнительного ДФ.

В данной работе предлагается следующая схема подсчета количества импульсов. После обнаружения ДФ вычисляется интервал времени между ним и предыдущим ДФ. Значение интервала записывается в буфер и через

80 мс после последнего интервала, длительность которого соответствует длительности размыкания телефонной линии, выполняется обработка буфера.

В буфере находится интервал максимальной длины, меньший длительности размыкания линии. Если найденное значение меньше длительности интервала размыкания, счетчику импульсов присваивается 0, иначе – -1. Далее в обе стороны от найденного значения выполняется суммирование длительностей интервалов. Как только сумма превышает длину импульса – увеличивается счетчик импульсов, а сумма сбрасывается в ноль. Если длительность интервала соответствует длительности импульса – сумма не модифицируется, а счетчик импульсов увеличивается. Если последний интервал удовлетворяет требованиям стандарта по длительности размыкания – он также учитывается в общем количестве импульсов. Обработка в каждом направлении прекращается, если длина очередного интервала больше допустимой длительности импульса или если за три интервала сумма не достигла допустимой длины импульса.

Результаты. Тестирование разработанного метода распознавания осуществлялось на записях ДНИР, выполненного на АТС г.Харькова. Для сравнения приведены результаты распознавания по разработанной методике, но с выключенным подавлением помехи.

Таблица. Результаты распознавания сигналов ДКИР

	Цифр определено верно	
	Есть помеха	Нет помехи
Всего цифр	90	504
Подавление помехи выключено	36 (40 %)	468 (93%)
Подавление помехи включено	75 (83 %)	479 (95%)

Из приведенных данных видно, что при отсутствии помехи результат распознавания незначительно улучшился. А при наличии помехи – количество верно определенных цифр увеличилось более чем в два раза.

Выводы. Предложенный в работе метод позволяет выполнять декодирование сигнала ДНИР при наличии полигармонической помехи. Хотя метод имеет ряд недостатков, характерных всем декодерам ДНИР (например, ложные определения цифры «1»), он вполне может быть использован при построении СКТ, использующих для получения данных от пользователя набор цифр в импульсном режиме.

Список литературы: 1. *Муссель К.М.* Компьютерной телефонии в России исполняется ... 20 лет. - // СТИ.Компьютерная телефония. – 1999. – №2-3. – с. 8 - 13.
2. ГОСТ 7153-85. Аппараты телефонные общего применения. Общие технические условия
3. *Simon Godsill, Peter Rayner.* Digital Audio Restoration.

Поступила в редколлегию 04.05.06

В. П. СЕВЕРИН, канд. техн. наук, **Е. Н. НИКУЛИНА**

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРОГЕНЕРАТОРА АТОМНОГО ЭНЕРГБЛОКА

Отримані рівняння матеріального і теплового балансів для водяного та двох парових акумуляторів парогенератора. Виконано лінеаризацію рівнянь в області номінального режиму. Приведена лінійна математична модель парогенератора у просторі станів. Отримані формули обчислення параметрів математичної моделі через конструктивні параметри парогенератора.

В исследовании систем автоматического регулирования парогенераторов атомных энергоблоков применяются математические модели в виде передаточных функций [1, 2]. Рассмотрим построение модели парогенератора в пространстве состояний, более подходящей для решения ряда задач.

Пароводяной тракт парогенератора с выраженной границей изменения агрегатного состояния рабочего тела можно представить объектом с сосредоточенными параметрами [1]. Запишем уравнения материального баланса для трех последовательных аккумуляторов — водяного, парового под зеркалом испарения и парового над зеркалом испарения:

$$\frac{dM_w}{dt} = G_w - G_b, \quad \frac{dM_b}{dt} = G_b - G_a, \quad \frac{dM_a}{dt} = G_a - G_s, \quad (1)$$

где M_w , M_b , M_a — массы воды, пара под зеркалом испарения и пара над зеркалом испарения; G_w и G_s — массовые расходы питательной воды и покидающего парогенератор пара; G_b и G_a — массовые расходы пара из водяного аккумулятора в паровой аккумулятор под зеркалом испарения и из парового аккумулятора под зеркалом испарения в паровой аккумулятор над зеркалом испарения. Допуская, что энтальпии пара на всех участках парогенератора одинаковы, запишем уравнения теплового баланса [2]:

$$\frac{d(M_w i_w)}{dt} = Q + G_w j_w - G_b i_s, \quad \frac{d(M_b i_s)}{dt} = G_b i_s - G_a i_s, \quad (2)$$

где Q — тепловая мощность теплопередающей поверхности трубок теплообмена, i_w и i_s — энтальпии воды и пара на линии насыщения; j_w — энтальпия питательной воды. Исключим из уравнений (1) и (2) расход пара из водяного аккумулятора в паровой аккумулятор под зеркалом испарения G_b :

$$\frac{dM_w}{dt} + \frac{dM_b}{dt} + \frac{dM_a}{dt} = G_w - G_s, \quad (3)$$

$$\frac{d(M_w i_w)}{dt} + \frac{d(M_b i_s)}{dt} = Q + G_w j_w - G_a i_s .$$

Преобразуем последнее уравнение, дифференцируя произведения:

$$\frac{dM_w}{dt} i_w + M_w \frac{di_w}{dt} + \frac{dM_b}{dt} i_s + M_b \frac{di_s}{dt} = Q + G_w j_w - G_a i_s .$$

Подставим в это уравнение производные масс (1):

$$(G_w - G_b) i_w + M_w \frac{di_w}{dt} + (G_b - G_a) i_s + M_b \frac{di_s}{dt} = Q + G_w j_w - G_a i_s .$$

После сокращений имеем:

$$M_w \frac{di_w}{dt} + M_b \frac{di_s}{dt} = Q - G_w (i_w - j_w) - G_b (i_s - i_w) .$$

Подставляя сюда выражение расхода пара G_b из первого уравнения (1) и обозначая удельную теплоту парообразования $r_s = i_s - i_w$, получим:

$$M_w \frac{di_w}{dt} + M_b \frac{di_s}{dt} = Q - G_w (i_w - j_w) - \left(G_w - \frac{dM_w}{dt} \right) r_s .$$

Перепишем это уравнение в виде:

$$- \frac{dM_w}{dt} r_s + M_w \frac{di_w}{dt} + M_b \frac{di_s}{dt} = Q - G_w \Delta i_{sw} , \quad (4)$$

где $\Delta i_{sw} = i_s - i_w$. Допуская, что плотность пара на всех участках парогенератора одинакова [1, 2], выразим массы через объемы:

$$M_w = V_w \rho_w , \quad M_b = V_b \rho_s , \quad M_a = V_a \rho_s , \quad (5)$$

где V_w, V_b, V_a — объемы воды, пара под зеркалом испарения и пара над зеркалом испарения, ρ_w и ρ_s — соответствующие плотности. Сумма всех объемов V — постоянная величина, равная внутреннему объему парогенератора за вычетом объемов всех его металлических внутренних деталей и объема теплоносителя внутри парогенератора. Поэтому для объемов запишем соотношения:

$$V_w + V_b + V_a = V , \quad \frac{dV_w}{dt} + \frac{dV_b}{dt} + \frac{dV_a}{dt} = 0 , \quad V_w + V_b = V_c , \quad V_b + V_a = V_s . \quad (6)$$

Подставим выражения для масс (5) в уравнения (3) и (4):

$$\frac{dV_w}{dt} \rho_w + V_w \frac{d\rho_w}{dt} + \frac{dV_b}{dt} \rho_s + V_b \frac{d\rho_s}{dt} + \frac{dV_a}{dt} \rho_s + V_a \frac{d\rho_s}{dt} = G_w - G_s, \quad (7)$$

$$-\frac{dV_w}{dt} \rho_w r_s - V_w \frac{d\rho_w}{dt} r_s + M_w \frac{di_w}{dt} + M_b \frac{di_s}{dt} = Q - G_w \Delta i_{sw}. \quad (8)$$

После преобразований уравнения (7) получим:

$$\frac{dV_w}{dt} \rho_w + \frac{d(V_b + V_a)}{dt} \rho_s + V_w \frac{d\rho_w}{dt} + (V_b + V_a) \frac{d\rho_s}{dt} = G_w - G_s.$$

Учитывая соотношения для объемов (6), имеем:

$$\frac{dV_w}{dt} (\rho_w - \rho_s) + V_w \frac{d\rho_w}{dt} + V_s \frac{d\rho_s}{dt} = G_w - G_s. \quad (9)$$

Примем допущения, что плотности и энтальпии воды и пара на линии насыщения зависят только от давления p : $\rho_w = \rho_w(p)$, $\rho_s = \rho_s(p)$, $i_w = i_w(p)$, $i_s = i_s(p)$ [1, 2]. Обозначая производные этих функций

$$\rho_{wp} = \frac{d\rho_w}{dp}, \quad \rho_{sp} = \frac{d\rho_s}{dp}, \quad i_{wp} = \frac{di_w}{dp}, \quad i_{sp} = \frac{di_s}{dp}, \quad (10)$$

выразим производные плотностей и энтальпий по времени:

$$\frac{d\rho_w}{dt} = \rho_{wp} \frac{dp}{dt}, \quad \frac{d\rho_s}{dt} = \rho_{sp} \frac{dp}{dt}, \quad \frac{di_w}{dt} = i_{wp} \frac{dp}{dt}, \quad \frac{di_s}{dt} = i_{sp} \frac{dp}{dt}. \quad (11)$$

Подставим эти производные в уравнения (9) и (8). После приведения подобных членов и добавления к этой системе преобразованного последнего уравнения системы (1) с учетом обозначений (5) и (6) получим:

$$\frac{dV_w}{dt} (\rho_w - \rho_s) + (V_w \rho_{wp} + V_s \rho_{sp}) \frac{dp}{dt} = G_w - G_s, \quad (12)$$

$$-\frac{dV_w}{dt} \rho_w r_s + (-V_w \rho_{wp} r_s + M_w i_{wp} + M_b i_{sp}) \frac{dp}{dt} = Q - G_w \Delta i_{sw}, \quad (13)$$

$$-\frac{dV_c}{dt} \rho_s + V_a \rho_{sp} \frac{dp}{dt} = G_a - G_s. \quad (14)$$

Мы получили три дифференциальных уравнения для трёх неизвестных функций времени — объема воды в водяном аккумуляторе $V_w(t)$, давления $p(t)$ и объема пароводяной смеси под зеркалом испарения $V_c(t)$.

Приравнивая в уравнениях (12)–(14) производные нулю, получим статические зависимости для номинального режима:

$$G_{w0} = G_0, \quad Q_0 = G_{w0} \Delta i_{sw0}, \quad G_{s0} = G_0, \quad (15)$$

где G_0 и Q_0 — значения паропроизводительности и переданной парогенератору тепловой мощности в номинальном режиме.

Перейдем к приращениям переменных относительно режима номинальной мощности (15) и линеаризуем систему уравнений (12)–(14). Обозначая значения переменных в номинальном режиме нулевым индексом, вычислим коэффициенты при производных в левых частях уравнений:

$$L_{ww} = \rho_{w0} - \rho_{s0}, \quad L_{wp} = V_{w0} \rho_{wp0} + V_{s0} \rho_{sp0}, \quad L_{pw} = -\rho_{w0} r_{s0}, \quad (16)$$

$$L_{pp} = -V_{w0} \rho_{wp0} r_{s0} + M_{w0} i_{wp0} + M_{b0} i_{sp0}, \quad L_{cp} = V_{a0} \rho_{sp0}. \quad (17)$$

С использованием приращений переменных относительно номинального режима перепишем систему (12)–(14) в линеаризованном виде:

$$L_{ww} \frac{d(\Delta V_w)}{dt} + L_{wp} \frac{d(\Delta p)}{dt} = \Delta G_w - \Delta G_s, \quad (18)$$

$$L_{pw} \frac{d(\Delta V_w)}{dt} + L_{pp} \frac{d(\Delta p)}{dt} = \Delta Q - \Delta G_w \Delta i_{sw0} - G_{w0} \Delta i_s, \quad (19)$$

$$L_{cp} \frac{d(\Delta p)}{dt} - \rho_{s0} \frac{d(\Delta V_c)}{dt} = \Delta G_a - \Delta G_s. \quad (20)$$

Расходы воды G_w и пара G_s зависят от давления и координат питательного m_w и расходного m_s регулирующих клапанов [1, 2]: $G_w = G_w(p, m_w)$, $G_s = G_s(p, m_s)$. Обозначим производные расходов в номинальном режиме

$$G_{wp0} = \left(\frac{\partial G_w}{\partial p} \right)_0, \quad G_{wm0} = \left(\frac{\partial G_w}{\partial m_w} \right)_0, \quad G_{sp0} = \left(\frac{\partial G_s}{\partial p} \right)_0, \quad G_{sm0} = \left(\frac{\partial G_s}{\partial m_s} \right)_0.$$

Полагая, что статические характеристики клапанов линейные, имеем:

$$G_{wp0} = \alpha_{wp} \frac{G_0}{p_0}, \quad G_{wm0} = \frac{G_0}{m_{w0}}, \quad G_{sp0} = \frac{G_0}{p_0}, \quad G_{sm0} = \frac{G_0}{m_{s0}}.$$

Здесь p_0 , m_{w0} и m_{s0} — значения давления и координат регулирующих клапанов в номинальном режиме, α_{wp} — коэффициент наклона статической характеристики регулирующего питательного клапана [2]:

$$\alpha_{wp} = -\frac{p_0}{2(p_{p0} - p_0)},$$

где p_{p0} — давление за питательным насосом. Запишем приращения расходов:

$$\Delta G_w = G_0 \left(\alpha_{wp} \frac{\Delta p}{p_0} + \frac{\Delta m_w}{m_{w0}} \right), \quad \Delta G_s = G_0 \left(\frac{\Delta p}{p_0} + \frac{\Delta m_s}{m_{s0}} \right). \quad (21)$$

Представим тепловую мощность теплопередающей поверхности трубок теплообмена в приращениях относительно номинального режима:

$$\Delta Q = \alpha_w F_m (\Delta t_m - \Delta t_w), \quad \Delta t_w = t_{wp0} \Delta p, \quad (22)$$

где α_w и F_m — коэффициент и площадь теплоотдачи, Δt_m и Δt_w — приращения температур металла и воды на линии насыщения. Приращение объема пароводяной смеси запишем в виде [1, 2]:

$$\Delta V_c = F_c \Delta h_c, \quad (23)$$

где F_c — площадь зеркала испарения, Δh_c — приращение уровня зеркала. Подставляя выражения (21)–(23) в уравнения (18)–(20), получим:

$$L_{ww} \frac{d(\Delta V_w)}{dt} + L_{wp} \frac{d(\Delta p)}{dt} = G_0 \left(\alpha_{wp1} \frac{\Delta p}{p_0} + \frac{\Delta m_w}{m_{w0}} - \frac{\Delta m_s}{m_{s0}} \right), \quad (24)$$

$$L_{pw} \frac{d(\Delta V_w)}{dt} + L_{pp} \frac{d(\Delta p)}{dt} = R_{pm} \frac{\Delta t_m}{t_{m0}} + R_{pp} \frac{\Delta p}{p_0} + R_{pw} \frac{\Delta m_w}{m_{w0}}, \quad (25)$$

$$L_{cp} \frac{d(\Delta p)}{dt} - \rho_{s0} F_c \frac{d(\Delta h_c)}{dt} = G_0 \left(\frac{\Delta G_a}{G_0} - \frac{\Delta p}{p_0} - \frac{\Delta m_s}{m_{s0}} \right), \quad (26)$$

где

$$\alpha_{wp1} = \alpha_{wp} - 1, \quad R_{mt} = \alpha_w F_m, \quad R_{pm} = R_{mt} t_{m0}, \quad (27)$$

$$R_{pp} = -R_{mt} t_{wp0} p_0 - G_0 (\alpha_{wp} \Delta i_{sw0} + i_{sp0} p_0), \quad R_{pw} = -G_0 \Delta i_{sw0}. \quad (28)$$

Введем относительные переменные:

$$\xi_w = \frac{\Delta V_w}{V_{w0}}, \quad \pi_p = \frac{\Delta p}{p_0}, \quad \xi_c = \frac{\Delta h_c}{h_{c0}}, \quad g_a = \frac{\Delta G_a}{G_0}, \quad \mu_w = \frac{\Delta m_w}{m_{w0}}, \quad \mu_s = \frac{\Delta m_s}{m_{s0}}, \quad (29)$$

где V_{w0} и h_{c0} — значения объема воды и уровня в номинальном режиме. С

использованием этих переменных после деления уравнений (24) и (26) на G_0 , а уравнения (25) — на Q_0 , уравнения баланса примут вид:

$$T_{ww} \frac{d\xi_w}{dt} + T_{wp} \frac{d\pi_p}{dt} = \alpha_{wp1}\pi_p + \mu_w - \mu_s, \quad (30)$$

$$T_{pw} \frac{d\xi_w}{dt} + T_{pp} \frac{d\pi_p}{dt} = K_{pm}\theta_m + K_{pp}\pi_p + K_{pw}\mu_w, \quad (31)$$

$$T_{cp} \frac{d\pi_p}{dt} + T_{cc} \frac{d\xi_c}{dt} = g_a - \pi_p - \mu_s. \quad (32)$$

Здесь использованы обозначения постоянных параметров:

$$T_{ww} = L_{ww} \frac{V_{w0}}{G_0}, \quad T_{wp} = L_{wp} \frac{p_0}{G_0}, \quad T_{pw} = L_{pw} \frac{V_{w0}}{Q_0}, \quad T_{pp} = L_{pp} \frac{p_0}{Q_0}, \quad (33)$$

$$T_{cp} = L_{cp} \frac{p_0}{G_0}, \quad T_{cc} = -\rho_{s0} F_c \frac{h_{c0}}{G_0}, \quad K_{pm} = \frac{R_{pm}}{Q_0}, \quad K_{pp} = \frac{R_{pp}}{Q_0}, \quad K_{pw} = \frac{R_{pw}}{Q_0}. \quad (34)$$

На основании исходных значений параметров парогенератора [3] параметры уравнений баланса (30)–(32) можно вычислить по формулам (16)–(17), (27), (28), (33) и (34). Производные плотностей и энтальпий (10) вычисляются с помощью центральных конечных разностей по табличным значениям на линии насыщения [4]. Полученные линейные уравнения баланса (30)–(32) содержат неизвестную переменную расхода пара через зеркало испарения g_a , которую можно определить на основании анализа процесса циркуляции пароводяной смеси под зеркалом испарения.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы. Преобразованы уравнения материального и теплового балансов для водяного и двух паровых аккумуляторов парогенератора. Уравнения линеаризованы в области номинального режима. Приведена линейная математическая модель парогенератора в пространстве состояний. Получены формулы, связывающие параметры парогенератора с параметрами математической модели.

Список литературы: 1. Шифрин М. Ш. Автоматическое регулирование судовых паросиловых установок. — Л.: Судпромгиз, 1963. — 587 с. 2. Иванов В. А. Регулирование энергоблоков. — Л.: Машиностроение, 1982. — 312 с. 3. Парогенераторы реакторных установок ВВЭР для атомных электростанций / Б. И. Лукасевич, Н. Б. Трунов, Ю. Г. Драгунов, Давиденко С. Е. — М.: ИКЦ Академкнига, 2004. — 391 с. 4. Ривкин С. Л., Александров А. А. Термодинамические свойства воды и водяного пара. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 79 с.

Поступила в редколлегию 25.04.06

М.Д. ГОДЛЕВСКИЙ, д-р. техн. наук,
В.В. МОСКАЛЕНКО, канд. техн. наук, *В.В. КОНДРАЩЕНКО*

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНОЙ СХЕМЫ ФИНАНСИРОВАНИЯ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПРОЕКТА С ПРИВЛЕЧЕНИЕМ ВНЕШНИХ ИНВЕСТИЦИЙ

Наведено математичну модель розрахунку оптимальної схеми фінансування інвестиційного проекту із залученням зовнішніх інвестицій. Модель відбиває інтереси підприємства та інвестора у отриманні максимального прибутку від реалізації проекту, вибір пріоритетного джерела фінансування на основі принципу мінімізації вартості капіталу, а також враховує можливість вкладання внутрішніх інвестицій підприємством. Наведено також схему вирішення задачі оптимізації на базі динамічного підходу.

В современной практике управления проектами особое место занимает проблема планирования и обеспечения финансирования проекта. Это обусловлено тем, что зачастую бюджет проекта многократно превышает возможности предприятия, которому необходимо его реализовать, и единственным способом обеспечения полноценного финансирования является привлечение заемного капитала.

В данной работе рассматривается финансирование инвестиционного проекта, как за счет собственных средств, так и с привлечением внешних инвестиций. Для таких проектов характерно то, что основной целью реализации проекта, как правило, является получение прибыли. В случае, когда проект финансируется предприятием только за счет его собственных средств, вся прибыль поступает предприятию и распределяется по его усмотрению. Ситуация обстоит иначе, если в финансировании проекта принимает участие сторонний инвестор (далее в статье – инвестор). Инвестор, как и предприятие, является стороной заинтересованной в получении прибыли от проекта. В таком случае возникает вопрос: как должна распределяться прибыль между сторонами?

Наиболее простым и часто употребляемым подходом к решению проблемы является соглашение о том, что инвестор получает либо какую-то фиксированную сумму, либо фиксированный процент прибыли от реализации проекта.

В данной работе рассматривается задача формирования схемы финансирования проекта на основе критериев максимизации суммарной приведенной прибыли обеих сторон. Другими словами необходимо произвести расчет долей финансирования между инвестором и предприятием по этапам инвестиционного проекта.

Для инвестиционных проектов, в отличие от других видов проектов (научно-исследовательских, организационных и пр.), характерно то, что уже

на стадии разработки коммерческого предложения определены и зафиксированы цель, затраты, продолжительность и срок завершения проекта; требуемые ресурсы и фактическая стоимость проекта зависят в первую очередь от хода реализации проектных работ; требуемые мощности должны предоставляться в соответствии с предварительно разработанным графиком [1]. Эти особенности формируют предпосылки для формализации процесса финансирования проекта с помощью математической модели.

Целью моделирования является определение для каждого этапа выполнения проекта оптимальных значений следующих величин:

- объем внешних инвестиций. Если на некотором этапе инвестиции не требуются, то их объем считается равным нулю;
- часть дохода от внедрения проекта, которая отчисляется инвестору;
- часть дохода от внедрения проекта, которая отчисляется предприятию;
- часть дохода предприятия, которую необходимо вложить на следующем этапе выполнения проекта.

Следовательно, можно выделить следующие критерии оптимальности схемы финансирования проекта:

- максимизация суммарной прибыли инвестора. Суммарная прибыль инвестора будет равна его суммарному доходу от реализации проекта минус его суммарные инвестиции;
- максимизация суммарной прибыли предприятия от реализации проекта. Затраты предприятия складываются из двух составляющих: целевые вложения предприятия на выполнение проекта, и отчисления части дохода на финансирование следующего этапа;
- минимизация стоимости капитала, затраченного на выполнение проекта. Так как финансирование проекта осуществляется из двух источников (средства предприятия и средства инвестора), то выбор приоритетного источника может быть осуществлен на основании оценки стоимости капитала источника финансирования. Так, стоимость капитала предприятия может быть оценена коэффициентом прибыльности альтернативного вложения средств, а стоимость капитала инвестора – минимальной величиной прибыльности данного проекта.

Будем считать, что все ресурсы, необходимые для выполнения проекта, представлены в стоимостном выражении, а весь период выполнения проекта разбит на N равных этапов. Для каждого этапа считаются известными объем средств d_k ($k = \overline{1, N}$), необходимый для вложения (затраты), и чистый доход проекта p_k ($k = \overline{1, N}$), который ожидается получить на данном этапе. В данной работе величины d_k и p_k считаются детерминированными и не учитывается риск невыполнения проекта.

Основное требование к реализации проекта состоит в необходимости его непрерывного выполнения в соответствии с запланированным графиком работ. В математической модели это требование выражается в том, что в начале каждого этапа денежных средств должно быть достаточно для покрытия расходов на этом этапе. Для этого могут быть задействованы:

- $q_k (k = \overline{1, N})$ – целевые средства, выделенные предприятием на реализацию проекта. Объемы целевых средств планируются предприятием для каждого этапа и являются фиксированными;
- $x_k (k = \overline{1, N})$ – внешние инвестиции, объем которых на каждом этапе является переменной величиной и определяется в ходе решения задачи. Величина x_k может быть ограничена некоторым фиксированным максимальным значением x^{\max} ;
- $p_k^C (k = \overline{1, N})$ – объем внутренних инвестиций проекта, выделенных предприятием из чистого дохода k -го этапа в $(k+1)$ -й этап. Данная величина является переменной.

Таким образом, для обеспечения непрерывного финансирования проекта необходимо выполнение условия:

$$x_k + q_k - p_k^C \geq 0 \quad (k = \overline{1, N}). \quad (1)$$

Предприятие и инвестор получают доход за счет поступлений от внедрения проекта $p_k (k = \overline{1, N})$. Поступления на k -ом этапе представим в виде суммы двух составляющих: дохода инвестора p_k^I и дохода предприятия $p_k^П$.

$$p_k = p_k^I + p_k^П \quad (k = \overline{1, N}). \quad (2)$$

Предприятие может вложить часть своего дохода k -го этапа в следующий $(k+1)$ -й этап проекта, тем самым сократив внешние инвестиции. Размер отчислений обозначим p_k^C , причем

$$p_k^C \leq p_k^П \quad (k = \overline{1, N}). \quad (3)$$

Целесообразность самоинвестирования на том или ином этапе будем определять на основании критерия минимизация «стоимости» капитала:

$$\sum_{k=1}^N \frac{p_k^C}{(1+r)^k} \rightarrow \min, \quad (4)$$

где c^I – коэффициент, характеризующий стоимость внешних инвестиций для предприятия; c^II – коэффициент, характеризующий стоимость собственного капитала предприятия; r – рыночная стоимость капитала.

Как предприятие, так и инвестор, стремятся максимизировать свою прибыль от реализации проекта. Прибыль будем рассчитывать на основе чистого приведенного эффекта (NPV).

Стремление инвестора получить максимальную прибыль можно представить в виде следующего математического критерия:

$$NPV = \sum_{k=1}^N \frac{C_k^I - C_k^{II}}{(1+r)^k} - P, \quad (5)$$

где x_k – объем инвестиций в k -ом этапе (равен нулю, если инвестиции не вкладывались).

Интересы предприятия можно представить как:

$$NPV = \sum_{k=1}^N \frac{C_k^I - C_k^{II}}{(1+r)^k} - P. \quad (6)$$

В результате имеем модель инвестирования, состоящую из критериев (4)-(6) при ограничениях (1)-(3), а также

$$x_k \leq \max_{k \in I_1} \bar{x}_k, \quad (7)$$

$$P \leq \max_{k \in I_2} \bar{P}_k, \quad (8)$$

причем $p_0^C = 0$, $p_0^II = 0$.

Тогда задача состоит в определении таких $x = \{x_k\}$, $p^I = \{p_k^I\}$, $p^II = \{p_k^II\}$, $p^C = \{p_k^C\}$, которые удовлетворяют ограничениям (1)-(3), (7)-(8) и доставляют экстремумы функциям (4)-(6).

Данная задача относится к классу многокритериальных задач линейного программирования с непрерывными переменными. Для её решения проведем взвешенную свертку критериев (4)-(6), предварительно их нормируя. Нормирование критериев выполним с помощью монотонного преобразования вида [2]:

$$\omega_i(f_i(\alpha)) = \begin{cases} \frac{f_i^0 - f_i(\alpha)}{f_i^0 - f_{i(\min)}} & \forall i \in I_1 \\ \frac{f_i(\alpha) - f_i^0}{f_{i(\max)} - f_i^0} & \forall i \in I_2 \end{cases}, \quad (9)$$

где $f_{i(\min)}, f_{i(\max)}$ – соответственно наименьшие (наибольшие) значения максимизируемых (минимизируемых) функций цели на множестве допустимых альтернатив; f_i^0 – оптимальное значение i -ой функции цели на множестве допустимых альтернатив; I_1, I_2 – множество индексов соответственно для максимизируемых и минимизируемых функций цели.

Нормированные критерии для каждого этапа обозначим соответственно $\overline{NPV}_k^I, \overline{NPV}_k^{\Pi}$ и \bar{V}_k , тогда взвешенная свертка F_k будет иметь вид:

$$F_k = \alpha^I \cdot \overline{NPV}_k^I + \alpha^{\Pi} \cdot \overline{NPV}_k^{\Pi} + \alpha^V \cdot \bar{V}_k \rightarrow \min$$

$$\alpha + \alpha^{\Pi} + \alpha^V = 1,$$
~~$$\alpha > 0, \alpha^{\Pi} > 0, \alpha^V > 0$$~~
(10)

где α^I, α^{Π} и α^V – характеризуют степень важности критериев соответственно NPV^I, NPV^{Π} и V . С экономической точки зрения большему значению α^I (α^{Π}) соответствует приоритет инвестора (предприятия) в распределении прибыли от проекта.

Ввиду линейности преобразования (9), суммарный критерий F является аддитивным, причем

$$F = \sum_{k=1}^N F_k \rightarrow \min$$

$$F_k = F_k(p_k^I, p_k^{\Pi}, p_{k-1}^C, x_k) = \alpha^I \cdot \overline{NPV}_k^I(p_k^I, x_k) +$$

$$+ \alpha^{\Pi} \cdot \overline{NPV}_k^{\Pi}(p_k^{\Pi}, p_{k-1}^C) + \alpha^V \cdot V_k(p_{k-1}^C, x_k).$$
(11)

Таким образом, исходная задача может быть разбита на N подзадач, причем задачи, решаемые на $(k-1)$ -м и k -м этапах, связаны между собой. Связь этапов выражается в том, что внутренние инвестиции p_{k-1}^C выделяются из дохода $(k-1)$ -го этапа, а затрачиваются в следующем k -м этапе. Следовательно, для решения задачи (1)-(8) применим подход динамического программирования [3]. Для определения рекуррентного соотношения, связывающего $(k-1)$ -й и k -й этапы, введем понятие условно оптимального значения функции F на k -м шаге F_k^{Σ} :

$$F_1^\Sigma = F_1(p_1^I, p_1^II, 0, x_1);$$

$$F_2^\Sigma = F_1^\Sigma + F_2(p_2^I, p_2^II, p_1^C, x_2);$$

.....

$$F_N^\Sigma = F_{N-1}^\Sigma + F_N(p_N^I, p_N^II, p_{N-1}^C, x_N).$$

Тогда искомое рекуррентное соотношение будет иметь вид:

$$F_k^\Sigma = F_{k-1}^\Sigma + F_k(p_k^I, p_k^II, p_{k-1}^C, x_k). \quad (12)$$

После проведенных преобразований решение задачи расчета оптимальной схемы финансирования проекта представляет собой N -шаговый процесс, на каждом шаге которого выполняется решение локальной задачи оптимизации вида:

$$F_k(p_k^I, p_k^II, p_{k-1}^C, x_k) \rightarrow \min, \quad (13)$$

при ограничениях (1)-(3), (7)-(8). Данная задача оптимизации является задачей линейного программирования с четырьмя переменными, решение которой может быть выполнено одним классических методов исследования операций [4]. Решение, полученное в результате проведения N -шаговой оптимизации, носит рекомендательный характер и является оптимальным при заданных значениях α^I , α^{II} и α^V . Задавая различные значения α^I , α^{II} и α^V будет сформировано множество эффективных решений, каждое из которых будет соответствовать схеме финансирования инвестиционного проекта. В зависимости от состояния рынка капитала ЛПР будет выбирать одну из схем финансирования. Если задача не имеет решения, то это значит, что данный проект не может быть своевременно профинансирован при заданных условиях.

Дальнейшим развитием данной работы предполагается расчет схемы финансирования проекта на основе нечетких исходных данных с расчетом степени риска невыполнения проекта.

Список литературы: 1. *Кобиляцкий Л.С.* Управление проектами. Учебное пособие. – МАУП, 2002. 198 с. 2. *Михалевич В.С., Волкович В.Л.* Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. 286 с. 3. *Вентцель Е.С.* Исследование операций. Задачи, принципы, методология: Учеб. Пособие для студ. вузов. – 2-е изд., стер.. – М.: Высш. шк., 2001. 208 с. 4. *Юдин Д.Б., Гольштейн Е.Г.* Линейное программирование (теория, методы, приложения), - М.: "Наука", 1969. 424 с.

Поступила в редколлегию 06.05.06

И.В. КОНОНЕНКО, д-р техн. наук,
И.В. ПРОТАСОВ, аспирант

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ФОРМИРОВАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО РЯДА ПРОДУКЦИИ, ПОСТРОЕННОГО ПО МОДУЛЬНОМУ ПРИНЦИПУ

В статті розглядається інформаційна технологія, розроблена для вирішення динамічної задачі оптимізації перспективного ряду продукції, побудованого за модульним принципом, у постановці, що враховує можливість максимізації прибутку виробника. Проведено чисельне дослідження, що підтверджує ефективність застосування даної автоматизованої технології.

Эффективность работы предприятия в рыночных условиях в значительной степени определяется товарами или услугами, которые данное предприятие предлагает потребителю. Выбор типоразмерного ряда перспективной продукции относится к актуальным и сложным задачам при формировании стратегии развития предприятия. Традиционно задачи оптимизации типов продукции решались с использованием критерия минимизации затрат на всех этапах жизненного цикла продукции [1-5]. Для обеспечения достаточной степени адекватности в задачах математического программирования с алгоритмическими и аналитическими целевыми функциями и ограничениями предлагается применение оптимизационно-имитационного подхода [6]. При решении задач оптимизации перспективных типов продукции с точки зрения коммерческих предприятий, функционирующих в условиях рыночной экономики, более адекватным является использование в качестве целевой функции прибыли от реализации ряда продукции потребителям [7]. Ограничения в модели могут быть выражены как аналитическими, так и алгоритмическими и имитационными моделями [7, 8]

Целью данной работы является описание разработанной информационной технологии решения задачи максимизации прибыли при планировании перспективного ряда продукции. В разработанной технологии реализованы модель и метод, которые были описаны в предыдущих публикациях [8]. Рассмотрим основные этапы информационной технологии.

Этап 1. Анализ и прогнозирование спроса на продукцию на рынке, где предприятие планирует работать.

Этап 2. Этап формирования модулей.

Изделие, которое предприятие предлагает потребителю формируется из набора модулей. Например, при производстве персональных компьютеров, в качестве модулей выступают комплектующие компьютера: процессор, оперативная память и т.д.

Используемые модули характеризуются показателями качества, экономическими показателями, организационно-коммерческими показателями, показателями состояния продукции на рынке, показателями состояния на рынке предприятия, которое изготовило данную продукцию.

На данном этапе формируются возможные варианты модулей, на базе которых будут формироваться изделия.

Этап 3. Выявление кластеров перспективного спроса на продукцию со сходными показателями. Например, при планировании выпуска компьютеров, можно рассматривать следующие кластеры: компьютеры для решения научных задач (многопроцессорность, большой объем оперативной памяти), серверы (многопроцессорность, большой объем оперативной памяти, большой объем накопителей информации, RAID), игровые станции (высокая тактовая частота процессора, большой объем видео- и оперативной памяти), компьютеры для офисной работы (относительно низкие аппаратные требования).

Этап 4. Определение показателей продукции, которая удовлетворит спрос каждого рассматриваемого кластера.

Этап 5. Сочетание модулей в изделие в целом.

На данном этапе путем сочетания различных модулей необходимо сформировать типы изделий, которые удовлетворят спрос в отдельных кластерах.

Этап 6. Оптимизация перспективного ряда продукции, формируемой по модульному принципу.

В исходной задаче с помощью продукции типа i , $i = \overline{1, m}$ происходит обслуживание заявки j , $j = \overline{1, n}$. Под заявкой понимается спрос, который может быть удовлетворен в результате поставки продукции того или иного типа. При этом предполагается, что для каждой заявки известно количество продукции p_{ij} , необходимое для удовлетворения спроса, $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, n}$. Длительность периода планирования перспективного ряда продукции принимается равной T . Опишем основные входные параметры задачи, которые задаются на формах ввода данных при использовании разработанной информационной технологии.

Функция $C_i \left(\sum_{j=1}^n p_{ij} x_{ij} \right)$ выражает цену продукции зависящую от объема

выпуска. Функция $w_i \left(\sum_{j=1}^n p_{ij} x_{ij} \right)$ учитывает затраты на все виды подготовки

производства, к которым относят научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, технологическую подготовку производства и т.д.

Функция $v_i \left(\sum_{j=1}^n P_{ij} x_{ij} \right)$ учитывает затраты на производство единицы продукции i -го типа в зависимости от объема выпуска.

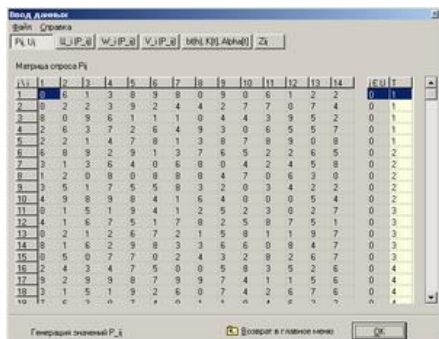


Рис 1. Задание входных параметров задачи

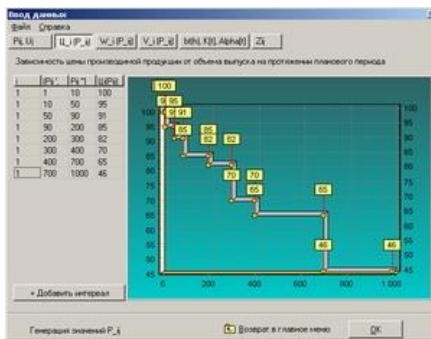


Рис 2. Задание входных параметров задачи

z_{ij} - затраты на транспортировку, наладку и возможную доводку продукции i -го типа при обслуживании заявки j . Для учета изменения цен в течение жизненного цикла вводится величина дисконта α_t . T_i - количество лет жизненного цикла продукции i -го типа. $a_k = (1 + E_H)^{t_p - k}$, E_H - норматив приведения разновременных затрат, t_p - расчетный год, S_0 - средства на проведение подготовки производства всех видов продукции, имеющиеся перед началом планового периода; $b_t^{(h)}$ - значение производственной мощности предприятия по h -му типу продукции в t -м году.

После задания входных параметров происходит решение задачи. В информационной технологии предоставляется возможность решения задачи по итерациям, что позволяет проследить ход решения задачи и формирование значений расчетных параметров. Также предоставляется возможность получить итоговое решение задачи. Рассматриваемая задача относится к динамическим задачам дискретной оптимизации с булевыми переменными, содержащим нелинейную аналитическую или алгоритмическую целевую функцию, а также алгоритмические и аналитические ограничения. Алгоритмические ограничения могут быть представлены в виде имитационных моделей. При решении задач дискретного программирования применяются методы перебора. Применение полного перебора вариантов для решения подобных задач дискретного программирования не целесообразно, а чаще невозможно по временным затратам. Метод решения, предложенный в работе [8], обеспечивает выделение и последующее исключение из дальнейшего рассмотрения заведомо неперспективных подмножеств решений, что помогает значительно сократить время поиска решения задачи.

Решение по итерациям

Итерация	П_макс	delta(P)	P_i	P_bound	P_исс	V_i	Z_i	W_i	V_i	D_i	P_i	S_i	delta(P)
16-0	32	467	0	467	-1.1E+38	0	0	0	0	0	0	0	0
17-0	45	422	0	422	-1.1E+38	0	0	0	0	0	0	0	0
18-0	30	392	0	392	-1.1E+38	0	0	0	0	0	0	0	0
19-0	30	362	0	362	-1.1E+38	0	0	0	0	0	0	0	0
20-0	35	327	0	327	-1.1E+38	0	0	0	0	0	0	0	0
21-0	35	292	0	292	-1.1E+38	0	0	0	0	0	0	0	0
22-0	32	260	0	260	-1.1E+38	0	0	0	0	0	0	0	0
23-0	28	232	0	232	-1.1E+38	0	0	0	0	0	0	0	0
24-0	40	192	0	192	-1.1E+38	0	0	0	0	0	0	0	0
25-0	27	165	0	165	-1.1E+38	0	0	0	0	0	0	0	0
26-0	35	130	0	130	-1.1E+38	0	0	0	0	0	0	0	0
27-0	40	90	0	90	-1.1E+38	0	0	0	0	0	0	0	0
28-0	30	60	0	60	-1.1E+38	0	0	0	0	0	0	0	0
29-0	32	29	0	29	-1.1E+38	0	0	0	0	0	0	0	0
30-0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Формирование параметров: Ограничения dBFS: Матрица:

↑ Перейти к следующей итерации l=1 m=30 Итерации: 1 Показать в главном меню

Рис 3. Решение задачи по итерациям

Проведено численное исследование метода. Решение задачи размерности 60×20 прямым перебором при условии рассмотрения одного варианта за 10^{-9} с заняло бы $3,66 \cdot 10^{61}$ лет. Приведенные данные численного исследования подтверждают высокую эффективность

разработанного метода при решении рассматриваемых задач. Исследования были выполнены на компьютере Intel Celeron 2,8 Ghz, 1Gb RAM. Результаты исследования приведены в таблице и на рис. 4.

Размерность задачи			Количество решенных вариантов
n	m	Среднее время решения задачи, с	
10	6	2	5
20	6	4	5
30	6	9	5
40	6	17	5
50	6	32	5
60	6	48	5
10	10	4	5
20	10	6	5
30	10	15	5
40	10	29	5
50	10	56	5
60	10	116	5
10	15	4	5
20	15	9	5
30	15	23	5
40	15	46	5
50	15	105	5
60	15	237	5
10	20	6	5
20	20	9	5
30	20	26	5
40	20	67	5
50	20	172	5
60	20	347	5

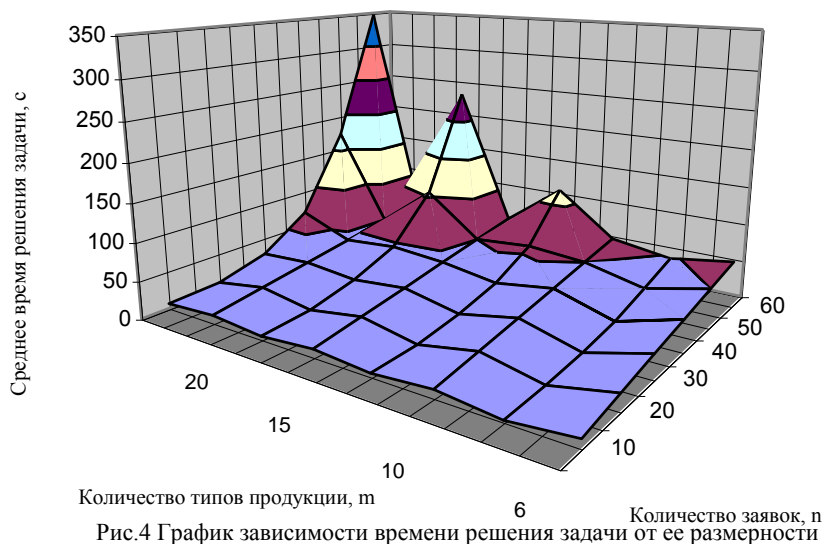


Рис.4 График зависимости времени решения задачи от ее размерности

Вывод: В работе был проведен обзор основных подходов к решению задачи оптимизации типоразмерных рядов продукции, описана разработанная информационная технология решения задачи максимизации прибыли при планировании производства перспективного ряда продукции, формируемого по модульному принципу, а также проведено численное исследование разработанного метода с использованием предложенной информационной технологии.

Список литературы: 1. Береснев В.Л., Гимади Э.Х., Дементьев В.Т. Экстремальные задачи стандартизации. Новосибирск: Наука, 1978.-334 с. 2. Антипенко В.С., Кац Г.Б., Петрушов В.А. Модели и методы оптимизации параметрических рядов. М: Машиностроение, 1990.-176 с. 3. Кононенко И.В. Оптимизация динамического типоразмерного ряда оборудования. Вестник НТУ «ХПИ», 1990.-№10 – с.48-51. 4. Кононенко И.В., Роговой А.И. Векторная оптимизация динамического типоразмерного ряда продукции. Кибернетика и системный анализ, 2000.-№2. – с.157-163. 5. Кононенко И.В., Деревянченко Б.И. Оптимизация типажа продукции, предназначенной для последовательного обслуживания заявок, при нечеткой исходной информации. Вестник НТУ «ХПИ», 1999.-№73 – с.84-88. 6. Цвиркун А.Д., Акинфиев В.К., Филиппов В.А. Имитационное моделирование в задачах синтеза структуры сложных систем (оптимизационно-имитационный подход). – М.: Наука, 1985. – 174 с. 7. Кононенко И.В., Протасов И.В. Максимизация прибыли при формировании типажа перспективной продукции. Вестник НТУ «ХПИ», 2005. 8. Кононенко И.В., Протасов И.В. Разработка и исследование метода решения задачи формирования перспективного ряда продукции на основе максимизации прибыли. Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. №20, НАКУ «ХАИ», 2006.

Поступила в редколлегию 15.05.06

В.А. КОЛБАСИН, Л.М. ЛЮБЧИК, д-р техн. наук

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ СЖАТИЯ ДАННЫХ ТЕПЛОВИЗОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

В статті розглянуто декілька методів зменшення обсягів фільмів, отриманих в результаті реєстрації полів теплового випромінювання. Проведено оцінку якості алгоритмів компресії даних, які базуються на методах кодування. Розглянуті напрямки подальшого розвитку алгоритмів компресії окремих зображень та фільмів.

Введение. Одним из перспективных методов неразрушающего контроля деталей и узлов энергетического оборудования и двигательных установок является тепловизионная диагностика. Регистрация и последующая компьютерная обработка данных, характеризующих поля теплового излучения, позволяет восстановить внутреннюю структуру температурных полей и оценить локальные теплофизические характеристики исследуемых изделий, что в свою очередь может служить информационной основой для обнаружения и диагностики внутренних дефектов. Создание высокоточных и быстродействующих приемников теплового излучения – тепловизоров, позволяет радикально изменить методику и эффективность неразрушающего контроля деталей со сложной внутренней структурой. Это связано, прежде всего, с возможностью получения большого объема информации о динамике изменения температурных полей, регистрируемых в виде фільмов.

Необходимо подчеркнуть, что в результате теплового сканирования получают большие объемы информации. Так в результате одного эксперимента с помощью тепловизора IRTIS получается «фильм» из 10-15 кадров (1-2 кадра/сек), разрешение которого 240 на 320, и цветность одного пикселя – 2а байта. В результате получается файл размером почти в 2 Мб. Кроме того, для более точной диагностики обычно необходимо провести съемку с нескольких различных направлений. В результате тепловизионного эксперимента для диагностики одного изделия получаем 4-5 Мб данных. Кроме того, в настоящее время начинают все шире использоваться тепловизоры с большим разрешением (1000 на 1000) и большей скоростью съемки (10 кадров/сек). В этом случае для одного изделия с использованием таких камер получаем около 300 Мб данных.

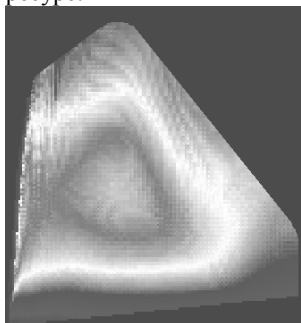
В условиях промышленной диагностики хранения такого большого объема данных в неупакованном формате невозможно. Поэтому возникает необходимость разработки алгоритмов сжатия фільмов, полученных в результате теплового сканирования.

Для сжатия фільмов разработано большое количество различных алгоритмов, например, такие общеизвестные как MPEG и другие. Однако эти алгоритмы, являясь алгоритмами с потерями, добиваются больших степеней сжатия тем, что они «жертвуют» точностью (качеством) закодированных данных, в результате чего при расшифровке мы получаем фільм, отличающийся от исходного. Все эти алгоритмы в качестве критерия точности используют либо критерии визуального различия, либо значение среднеквадратичной ошибки.

Для кодирования тепловых фильмов такой подход не применим, т.к. критерием качества в данной ситуации служат не визуальные различия или среднеквадратичная ошибка, а отличия в результатах диагностики.

Постановка задачи. В данной статье фильмы будут представляться как последовательность закодированных изображений без учета их временной связанности. Будет проведено сравнение различных алгоритмов сжатия изображений по следующим основным характеристикам: среднеквадратичная ошибка, PSNR, количественные характеристики диагностики фильмов.

В качестве исследуемого объекта была взята информация о тепловизорном исследовании лопатки турбины (см. рисунок). Для эксплуатации лопатки принципиальное значение имеет эффективность системы охлаждения, от нормального функционирования которой существенно зависит эксплуатационный ресурс.



Пример теплового изображения

компрессии фильмов, не внося больших изменений в результаты вычисления диагностического показателя.

Рассматриваемая система диагностики эффективности внутреннего охлаждения основана на использовании метода регулярного теплового режима для нестационарных процессов теплообмена [4]. Метод был разработан Г.М. Кондратьевым и подробно изложен в литературе, посвящённой вопросам теплопередачи (см. [1-2]). В результате работы компьютерной системы диагностики вычисляется так называемый показатель «количество неохлаждаемых зон», на основе значения которого выносятся решение о пригодности лопатки к дальнейшей эксплуатации.

При этом важно добиться высокой степени

Описание исследуемых алгоритмов. Для сравнения были использованы такие алгоритмы: блочное DCT кодирование, вейвлет кодирование с использованием различных базисных функций.

Блочное DCT кодирование. Данный метод можно считать стандартным, т.к. с теми или иными модификациями он используется в таких общеизвестных стандартах как JPEG. В данном случае изображение разбивалось на квадраты 8 на 8, к каждому квадрату применялось DCT преобразование. Далее по усредненной ошибке по всем квадратам выбирались n наибольших коэффициентов, которые впоследствии кодировались, остальные коэффициенты при декодировании принимались равными нулю.

Wavelet кодирование. Данный метод, хотя и является достаточно новым, уже успел себя хорошо зарекомендовать. Для сжатия используется аналогичная DCT кодированию технология. Вначале изображение преобразуется с помощью вейвлет преобразования, затем выбираются коэффициенты с наибольшей энергией (значимые коэффициенты), они квантуются и записываются в выходной файл. Остальные коэффициенты принимаются равными нулю. Данный метод лишен некоторых недостатков предыдущего, например, при восстановлении изображения, закодированного DCT, возникает эффект блочности изображения –

изображение как будто состоит из блоков, на границе которых видны сильные различия. Однако в целом, осуществляя большую степень сжатия, вейвлет кодирование проигрывает по скорости.

Существует огромное количество вейвлет преобразований. В данной работе будут рассмотрены наиболее простые и распространенные из них – вейвлеты Хаара и вейвлеты Добеши 4-го и 6-го порядков.

Для вейвлетов Хаара масштабирующая функция и вейвлет функция выглядят следующим образом:

$$\phi(t) = \begin{cases} 1, & t \in [0, 1] \\ 0, & t \notin [0, 1] \end{cases} \quad (1)$$

$$\psi(t) = \begin{cases} 1, & t \in [0, 0.5[\\ -1, & t \in [0.5, 1[\\ 0, & t \notin [0, 1[\end{cases} \quad (2)$$

Для вейвлетов Добеши невозможно записать масштабирующую и вейвлет функции в явном виде. Они находятся рекурсивно по следующим формулам:

$$\phi(t) = s(c_0\phi(2t) + c_1\phi(2t-1) + \dots + c_{N-1}\phi(2t-(N-1))) \quad (3)$$

$$\psi(t) = \frac{1}{s}(c_{N-1}\phi(2t) - c_{N-2}\phi(2t-1) + \dots - c_0\phi(2t-(N-1)))$$

при следующих ограничениях нормированности и ортогональности:

$$\|\phi\|^2 \equiv \int_{-\infty}^{\infty} \phi^2(t) dt = 1 \quad (4)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \phi(2t-j)\phi(2t-m) dt = \delta_{j,m} \quad (5)$$

Для нахождения значения коэффициентов c_i накладываются условия исключения начальных моментов. Для вейвлетов 4-го порядка должны исключаться нулевой и первый момент. Для вейвлетов 6-го порядка – нулевой, первый и второй моменты.

Другими словами, для вейвлетов 4-го порядка для множества коэффициентов $W = (c_3, -c_2, c_1, -c_0)$ должны соблюдаться следующие условия:

$$c_3 - c_2 + c_1 - c_0 = 0 \quad (6)$$

$$c_3 - 2c_2 + 3c_1 - 4c_0 = 0$$

Для вейвлетов 6-го порядка добавляется еще условие исключения второго момента:

$$1^2 c_5 - 2^2 c_4 + 3^2 c_3 - 4^2 c_2 + 5^2 c_1 - 6^2 c_0 = 0. \quad (7)$$

Таким образом, для вейвлетов 4-го порядка коэффициенты равны:

$$c_0 = \frac{1+\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, \quad c_1 = \frac{3+\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, \quad c_2 = \frac{3-\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, \quad c_3 = \frac{1-\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}. \quad (5)$$

И для вейвлетов 6-го порядка:

$$\begin{aligned} c_0 &= 0.33267055, & c_1 &= 0.8068915, & c_2 &= 0.4598775, \\ c_3 &= -0.135011, & c_4 &= -0.0854412, & c_5 &= 0.03522629. \end{aligned} \quad (6)$$

Для записи значимых коэффициентов в файл использовался метод нуль-деревьев с последующим арифметическим кодированием. Подробное описание метод нуль-деревьев можно найти в [5].

Для дальнейшего уменьшения размера выходного файла к полученным данным применялось Хаффмановское кодирование.

Анализ полученных результатов. В таблице представлены результаты работы описанных алгоритмов.

Для оценки качества работы алгоритмов использовались такие показатели: среднеквадратичная ошибка (MSE), отношение сигнал/шум (PSNR), показатель «количество неохлаждаемых зон» (в таблице «к.н.з.»).

Для получения результатов использовались два различных фильма с показателем «к.н.з.» 1.3% и 11.28% (фильмы F1 и F2). Значения PSNR и MSE для них слабо различаются, поэтому в таблице используется усредненное значение по обоим образцам. Для параметра «сжатие» также используется усредненный показатель.

Результаты исследования

Характеристик и	DCT преобразование			Вейвлеты Хаара		Вейвлеты Добеши 4-го порядка		Вейвлеты Добеши 6-го порядка	
	8	16	24	3%	5%	3%	5%	3%	5%
Кол-во коэффициентов									
PSNR	46.9	56.93	66.24	53.9	58.9	59.7	65.5	60	65.4
MSE	295	93.27	31.94	132	74.5	67.6	34.8	65.8	35.3
«к.н.з.» F1, %	1.09	1.1	1.14	1.33	1.03	1.39	1.18	1.33	1.33
«к.н.з.» F2, %	13.23	13.30	13.18	13.50	13.16	13.14	13.23	13.27	13.11
Сжатие	5.2	2.7	1.7	10.4	7.8	10.4	7.8	10.4	7.8

Результаты исследования алгоритмов показывают, что использование вейвлетов дает не только более высокую степень сжатия видео данных, но и лучшие характеристики восстановления изображения.

Выводы. В работе были предложены лишь наиболее общие подходы к компрессии данных тепловизионного эксперимента. Для совершенствования представленного метода необходимо разработать алгоритм межкадрового предсказания. Также перспективным является направление, связанное с разбиением исходного изображения на области. При этом каждая область кодируется с различным количеством коэффициентов и, следовательно, с различным качеством. Используя такой подход можно добиться более высокой степени сжатия, не теряя при этом основной части информации.

Список литературы: 1. Кулинченко В.Р. Справочник по теплообменным расчетам. – К.: Техника, 1990. – 165с. 2. основополагающие стандарты в области метрологии. ГОСТ 8.207-76. 3. Определение эффективности охлаждения лопаток с помощью тепловидения. Тяжелое машиностроение. 1991. №2. С. 21–26. 4. Копелев С.З., Слитенко А.Ф. Конструкция и расчет систем охлаждения ГТД. – Харьков: «Основа», 1994. – 240с. 5. Уэлстид С. Фракталы и вейвлеты для сжатия изображений в действии. М., 2003. 301с.

Поступила в редколлегию 04.04. 06

Ю. А. КЛЕТНАЯ

АНАЛИЗ ПОВЕДЕНИЯ ОППОНЕНТОВ В АКТИВНОЙ СИСТЕМЕ С УЧЕТОМ ТРАНСФОРМАЦИИ БЕСКОАЛИЦИОННОЙ ИГРЫ В КООПЕРАТИВНУЮ

Доцільність використання кооперативної поведінки в цей час добре усвідомлено політиками. В галузі економіки цей шлях використовують капіталістичні країни. З огляду на майбутнє вітчизняної економіки кооперативні ігри мають набути актуальності. В статті робиться спроба аналізу конкуренції, співдружності та кооперації з метою доказу доцільності останнього підходу.

В последние годы значение теории игр существенно возросло во многих областях экономических и социальных наук. В экономике она применима не только для решения общехозяйственных задач, но и для анализа стратегических проблем предприятий, разработок организационных структур и систем стимулирования.

Теория игр претендует на описание рационального поведения при принятии решений во взаимосвязанных ситуациях, что характерно для большинства актуальных проблем в экономических и социальных науках. Такие тематические области, как стратегическое поведение, конкуренция, кооперация, риск и неопределенность, являются ключевыми в теории игр и непосредственно связаны с управленческими задачами[12].

Как известно, с помощью теории игр предприятие получает возможность предусмотреть ходы своих партнеров и конкурентов. В предлагаемой статье будет описано вычислительное исследование процесса кооперирования игроков. Как известно, при кооперировании, то - есть при вступлении игроков в коалиции, зачастую происходит повышение прибыли предприятий – игроков. Как показало проведенное нами исследование, образование коалиций выгодно не всегда и не всем субъектам игры. Этот вопрос не очевиден и недостаточно изучен, о чем свидетельствуют литературные источники[1-6,8,10].

Следуя формальным схемам игры, удалось рассмотреть разные игровые постановки задачи. Это дало возможность в достаточно наглядной форме проанализировать целесообразность образования коалиций для всех сторон, участвующих в игре.

Основные полученные результаты можно сформулировать следующим образом:

- объединение нескольких игроков в коалицию действительно значительно увеличивает их прибыль, но при этом в активной системе возрастает трансфертная цена продукции, а также увеличиваются суммарные затраты. То - есть центр и потребители в данном случае несут убытки, и центр со своей стороны обычно противостоит образованию таких коалиций;

- ситуация, когда образование коалиций приводит к тому, что предприятий-игроков остается двое и центр вынужден, помимо формирования законов управления этими предприятиями, также устанавливать ограничения на поступающую к нему от них информацию. Для центра этот случай с точки зрения управления является наиболее сложным, так как вес каждого игрока наиболее велик. И результаты игры для всей системы будут очень сильно зависеть от предположенных центром ограничений. В данной укладке игры центр и потребители также проигрывают, в то время как предприятия-игроки получают увеличение своей прибыли;

- в случаях, когда центр препятствует образованию коалиций, предприятия могут объединяться, не меняя свой состав и предпринимательский статус. То - есть предприятия не сообщают о кооперации центру. В таком случае меняются их коэффициенты эффективности. Наиболее характерен случай, когда более слабое предприятие подтягивается по эффективности к более сильному в образовавшейся коалиции. Парадоксальным оказалось, что такое «тайное» от центра объединение приводит к снижению суммарных затрат центра и понижению трансфертной цены. Но при этом прибыль игроков-предприятий может падать. Для данного случая были получены линии безразличия к образованию коалиций. Линии безразличия дают возможность проанализировать, при каком увеличении эффективности выгодно образование коалиций для предприятий-игроков, а при каком - нет.

А теперь перейдем к описанию проводимого исследования. Чтобы описать игру, необходимо сначала выявить ее участников. Участниками описываемой игры являются: управляющее звено – центр, предприятия и потребители.

Итак, мы исследовали условия, при которых будут или могут образовываться коалиции в централизованной системе в условиях открытого управления при определенных изменениях коэффициентов эффективности производственной деятельности игроков и их организационных статусов.

Такое исследование проводилось на примере 4-х предприятий, образующих систему, хотя аналогичный подход может быть применен для любого числа предприятий (более 2-х).

Традиционная модель планирования производства продукции в математической теории игр основана на том, что предприятия участвуют в бескоалиционной игре; принципом управления центра предприятиями является принцип открытого управления и условием оптимальности является индивидуальная рациональность деятельности предприятий, то - есть стремление обеспечить себе гарантированный выигрыш в точке равновесия Нэша. При данном равновесии не одному из игроков ни выгодно сепаратно отходить от выбранной стратегии.

Рассмотрим математическую модель планирования оптимального выпуска продукции.

Пусть существует система, состоящая из планирующего органа (центра) и n предприятий-производителей однородной продукции (активных элементов). Модель производственно – экономической системы для задач планирования производства продукции[8] приведена на рис. 1.

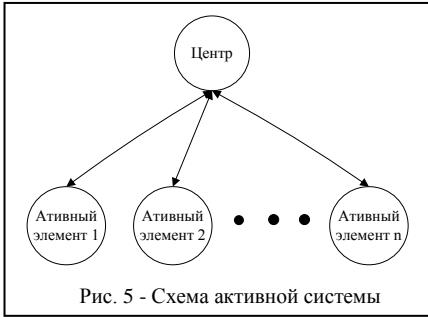


Рис. 5 - Схема активной системы

Задача центра — назначить план каждому предприятию на один плановый период при условии, чтобы суммарный выпуск продукции был бы равен заданному количеству R (плановое задание для системы в целом), а суммарные затраты на производство продукции были бы минимальными. Обозначим: x_i —план, z_i —затраты i -го предприятия на выпуск продукции

в количестве x_i . Таким образом, выпуск должен равняться плану.

Естественно принять в детерминированных моделях, что при заданном плане x_i существует минимальная величина $Z_i(x_i)$ затрат. Однако реальные затраты могут быть значительно выше этой объективной величины, например, из-за плохой организации производства, отсутствия заинтересованности предприятия к снижению затрат и т. д. Понятно, что $Z_i(x_i)$ —неубывающая функция x_i , так как затраты растут с ростом плана[1]. В соответствии с [1]:

$$Z_i(x_i) = \frac{1}{2 * r_i} * x_i^2 \cdot \tag{1}$$

Параметр r_i называется коэффициентом эффективности производства.

Сумма этих коэффициентов обозначается: $H = \sum_{i=1}^n r_i$. Таким образом,

реальные затраты i -го предприятия:

$$z_i \geq \frac{1}{2r_i} x_i^2 \cdot \tag{2}$$

Суммарные затраты имеют следующий вид:

$$\Phi(z) = \sum_{i=1}^n z_i \cdot \tag{3}$$

Задача центра - минимизировать суммарные затраты $\Phi(z)$ при условии

$\sum_{i=1}^n x_i = R$. Функцию $\Phi(z)$ будем называть целевой функцией центра в рассматриваемом периоде.

Чтобы завершить описание модели, необходимо оговорить мотивы, определяющие поведение предприятий. Интересы предприятия определяются целым рядом материальных, моральных, престижных и прочих факторов. Однако нас интересует выражение этих целей через переменные,

фигурирующие в модели, т. е. через план x_i и затраты z_i . Примем, что при выполнении плана предприятие получает определенную прибыль, возрастающую с ростом плана и с уменьшением затрат $f_i = \lambda * x_i - z_i$, то - есть с ростом x_i f_i сначала возрастает, затем падает, а с ростом z_i f_i уменьшается[1]. Если λ — цена продукции, то $(\lambda * x_i - z_i)$ определяет величину прибыли. $f_i = \lambda * x_i - z_i$ будем называть целевой функцией предприятия i в рассматриваемом периоде функционирования. Для конкретизации модели будем считать, что λ — цена продукции и, следовательно, f_i — прибыль предприятия i в рассматриваемом периоде функционирования[8].

Рассмотрим далее принцип открытого управления как основу организации взаимоотношений между центром и предприятиями.

Пусть центр имеет оценки $\{s\}$ эффективности $\{r\}$, полученные от предприятий, а значит, и оценку $S = \sum_i s_i$ величины H , оценку целевой

функции предприятия $\lambda x_i - \frac{1}{2s_i} x_i^2$ и оценку λs_i «выгодного» для предприятия плана $v_i = \lambda r_i$. Тогда закон управления[1,2]:

$$\lambda(s) = \frac{R}{S}, \quad x_i(s) = \lambda(s) s_i = s_i \frac{R}{S}. \quad (4)$$

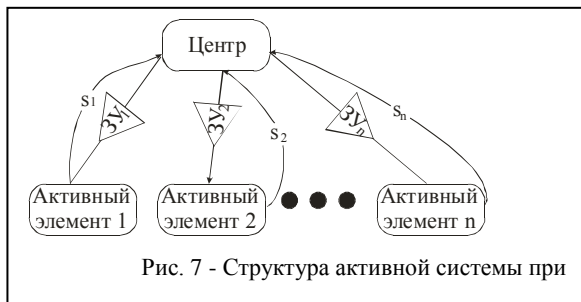
Структура и процесс функционирования активной системы при открытом



управлении приведены на рис. 2 и рис. 3.

Опираясь на исследования Буркова В.Н[1], можно отметить, что при таком определении $\lambda(s)$, план $x_i(s)$, обеспечивая максимум

функции $\lambda x_i - \frac{1}{2s_i} x_i^2$, отражает



представления центра об интересах предприятия. Будем называть ее функцией предпочтения предприятия. Таким образом, при законе (4) каждое предприятие получает план, обеспечивающий максимум его функции

предпочтения.

Такой план будем называть согласованным. Принцип управления, при котором все предприятия получают согласованные планы, называется принципом открытого управления (ОУ). В данном случае принцип открытого управления определяет единственный закон открытого управления(4).

Формально принцип ОУ можно записать в виде следующей задачи оптимизации[1]: определить $x \geq 0, \lambda > 0$ такие, что

$$\sum_{i=1}^n \frac{1}{2s_i} x_i^2 \rightarrow \min, \sum_{i=1}^n x_i = R, \quad (5)$$

$$\lambda x_i - \frac{1}{2s_i} x_i^2 = \max_z \left(\lambda z - \frac{1}{2s_i} z^2 \right). \quad (6)$$

Цели субъектов АС сведены в таблицу.

<p><u>Цель центра</u>: минимизировать суммарные затраты $\sum_{i=1}^n \frac{1}{2s_i} x_i^2 \rightarrow \min$, при условии. $\sum_{i=1}^n x_i = R$</p>
<p><u>Цель предприятий</u>: максимизировать прибыль: $\mathcal{D}_i = \lambda x_i - \frac{1}{2r_i} x_i^2$</p>
<p><u>Интерес потребителей</u>: минимальная цена $\lambda(s) = \frac{R}{S}$</p>

А теперь предположим, что предприятия образуют коалиции на условиях, позволяющих им повысить свои коэффициенты эффективности $\{r\}$. Как будет показано ниже, в таком случае существует три возможных варианта:

1. Повышение коэффициентов эффективности приводит к целесообразности образования коалиций
2. Повышение коэффициентов эффективности не приводит к целесообразности образования коалиций
3. Предприятия безразличны к образованию коалиции

Исследование трансформации бескоалиционной игры в кооперативную проводилось по следующему алгоритму:

1. Для четырех игроков была рассчитана бескоалиционная игра: определена точка Нэша, плановые показатели, выигрыши и затраты предприятий в т. Нэша, также были определены суммарные затраты и цена продукции. В дальнейшем при исследовании все показатели, рассчитываемые для различных укладок коалиций, сравнивались с результатами бескоалиционной игры.

2. Просчитано шесть различных укладок игроков в коалиции, когда два любые игрока объединяются и меняют свой предпринимательский статус, а

два другие продолжают играть по отдельности сами за себя. То есть после объединения в коалиции игра рассматривается как бескоалиционная игра трех лиц. Для каждой ситуации с коалиционным объединением были определены точки Нэша и рассчитаны все показатели экономической деятельности игроков и системы в целом.

3. Рассмотрены варианты, когда в коалицию объединяются три игрока и играют против одного. Также ситуации, когда два игрока объединяются в коалицию и другие два также объединяются в коалиции. В таком случае игра представляет собой бескоалиционную игру двух лиц.

4. Рассмотрен альтернативный вариант объединения в коалиции, когда предприятия объединяются, договариваясь между собой, при этом у них появляется возможность определенным образом увеличить коэффициенты эффективности, но центру об этой кооперации они не сообщают. В таком случае центр рассматривает систему предприятий при принятии управленческих решений как систему четырех предприятий, не взаимодействующих друг с другом, то - есть он управляет четырьмя предприятиями, не догадываясь о существовании коалиции. А на уровне объединившихся предприятий увеличиваются коэффициенты эффективности производственной деятельности. Для всех вариантов такого объединения в коалиции были рассчитаны точки Нэша, а также были определены такие показатели, как величины выигрышей предприятий и суммарные затраты в точке Нэша при условии, что предприятия сообщают центру оценки коэффициентов эффективности с выгодными для них значениями.

5. Для различных вариантов объединения в коалиции были выделены линии безразличия к образованию коалиций.

Проанализируем полученные результаты.

Приведем расчет бескоалиционной игры со следующими параметрами:

$R = 10$ (суммарный объем производства однородной продукции для системы в целом),

$r_1 = 1, r_2 = 2, r_3 = 3, r_4 = 4$ (коэффициенты эффективности предприятий),

$n = 4$ (количество игроков).

Расчет оптимальных s_i проводился по методике В.Н. Буркова[1].

Результаты расчета:

$S^* = 5.98$ (суммарная оценка коэффициентов эффективности),

$s_1^* = 0.84, s_2^* = 1.39, s_3^* = 1.75, s_4^* = 1.99$ (оценки коэффициентов эффективности предприятий в точке Нэша, свидетельствующие об их стремлении «прибедняться» перед центром),

$\lambda = 1.67$ (трансфертная цена продукции внутри системы, завышенная по сравнению со «справедливой», которая назначается центром при полной его осведомленности о коэффициентах r_i),

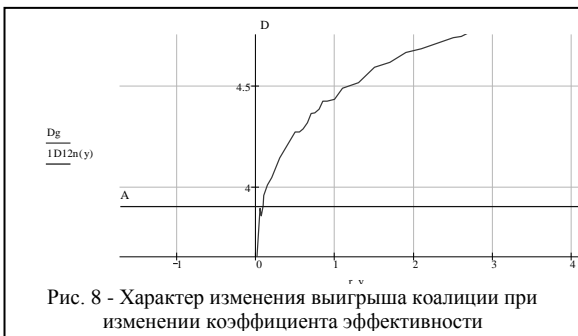
$x_1^* = 1.41, x_2^* = 2.32, x_3^* = 2.93, x_4^* = 3.34$ (плановые задания объема производства для предприятий в точке Нэша),
 $D_1^* = 1.36, D_2^* = 2.54, D_3^* = 3.48, D_4^* = 4.19$ (выигрыши предприятий в точке Нэша), $D^* = 11.57$ (суммарная прибыль системы в точке Нэша),
 $z_1^* = 1.18, z_2^* = 1.94, z_3^* = 2.45, z_4^* = 2.8$ (затраты предприятий в точке Нэша),
 $\Phi^* = 8.37$ (суммарные затраты в АС).

Проведем анализ различных вариантов образования коалиций.

1. Двое игроков образуют коалицию, а оставшиеся два играют сами за себя. Центр в таком случае рассматривает ситуацию как бескоалиционную игру трех предприятий-игроков. Суммарный выигрыш предприятий, объединенных в коалицию, превышает выигрыш этих же предприятий в бескоалиционной игре четырех игроков. То-есть для предприятий официальное объединение в коалицию с изменением организационного статуса с точки зрения их целевых функций представляется очень выгодным. В коалиции будет стоять только одна проблема: деление прибыли между коалиционерами. Но для центра такое объединение связано с ростом суммарных затрат, и, таким образом, целевая функция центра не минимизируется. С точки зрения потребителей такое объединение также не выгодно, так как отпускная цена растет с ростом трансфертной.

Таким образом, такого рода объединение выгодно только предприятиям-игрокам, а центру и потребителям не выгодно. И очевидно, что центр будет препятствовать созданию таких коалиций.

Графически на примере объединения первого и второго игроков это показано на рис. 4. Линия АВ, показывает уровень выигрыша двух предприятий в бескоалиционной игре. Кривая показывает рост прибыли коалиции двух игроков при увеличении коэффициента эффективности. Как видно из графика, пересечение линии выигрышей в бескоалиционной и коалиционной играх происходит уже при очень маленьком значении коэффициента эффективности коалиции.



Это увеличение прибыли предприятий-игроков происходит по большей части за счет увеличения цены продукции. Это можно объяснить следующим образом: число игроков становится меньше ($n = 3$), с уменьшением одного из

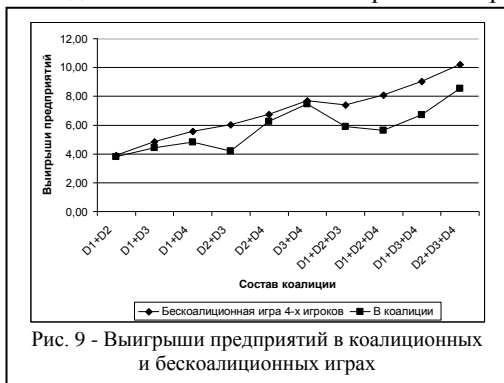
коэффициентов эффективности уменьшается значения суммарной эффективности - H , и, следовательно, уменьшается значение оценки H , то есть S уменьшается. А исходя из закона формирования цены $\lambda(s) = \frac{R}{S}$, с уменьшением S цена возрастает.

2. Проанализируем вариант, когда бескоалиционная игра 4-х игроков превращается в бескоалиционную игру 2-х игроков. В этом случае при открытом управлении как уже было показано в работах [1, 2], предприятиям выгодно оценки эффективности показывать равными нулю, т.е. $\{s_i = 0\}$. И центр в таком случае вынужден вводить ограничения на нижние пределы поступающей к нему информации об оценке эффективности $\{s_i\}$. И в данном случае все будет зависеть от величины этих ограничений, то-есть от стратегии центра.

3. Когда предприятия не могут объединиться в коалицию в виду пренебрежения этому центра, как было рассмотрено и проанализировано в пункте 2 и 3, они могут кооперироваться, не сообщая об этом центру. Было проведено исследование всех возможных вариантов кооперации с увеличением коэффициентов эффективности. Парадоксально, но было замечено, что при объединении в коалиции, когда более слабое предприятие в плане эффективности подтягивается к более сильному игроку, падают суммарные затраты центра, снижается цена и вместе с тем снижается прибыль коалиции по сравнению с прибылью в бескоалиционной игре. На рис. 5 приведено сравнение прибыли некоторых коалиций с суммарной прибылью этих игроков в бескоалиционной игре.

Для получения более обобщенного результата была предпринята попытка исследовать зависимость выигрышей игроков в коалиции от приращения эффективности их производства.

Для иллюстрации проведенных исследований приведем область зависимости выигрышей от приращения коэффициентов эффективности 1-го и 2-го предприятий. То есть для 1-го предприятия: $r_1^p = r_1 + y$. Для второго: $r_2^p = r_2 + k$. Их выигрыши будут выглядеть следующим образом:



$$D_1(y) = \lambda * x_1 - \frac{x_1^2}{2(r_1 + y)}, D_2(k) = \lambda * x_2 - \frac{x_2^2}{2(r_2 + k)} \quad (7)$$

На рис.6 изображена трехмерная область выигрышей, которая зависит от приращения коэффициентов эффективности первого игрока ($r_1^p = r_1 + y$), и от приращения коэффициентов эффективности второго игрока ($r_2^p = r_2 + k$) и отображает суммарную прибыль коалиции:

$$W(y, k) = D_1(y) + D_2(k) . \quad (8)$$

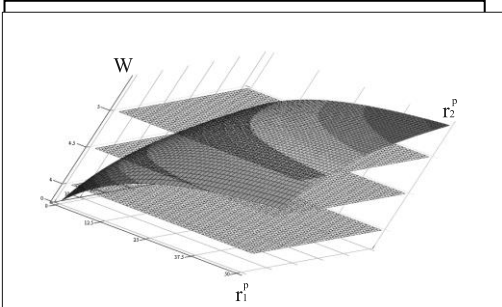


Рис. 10 - Зависимость выигрыша коалиции от приращений коэффициентов эффективности коалиционеров

Посчитав с помощью игрового моделирования прибыль двух игроков в бескоалиционной и кооперативной играх, можно, построив область выигрышей коалиции (рис 6), определить какое сочетание коэффициентов эффективности делает целесообразным образование коалиции описанного вида для данных предприятий, а какое нет. Также описанное моделирование позволяет выделить линию безразличия, которая показывает,

при каком изменении значений коэффициентов эффективности для предприятий целесообразно вступать в коалицию.

На рис.7 приведена проекция трехмерной области выигрышей на плоскость (r_1^p, r_2^p).

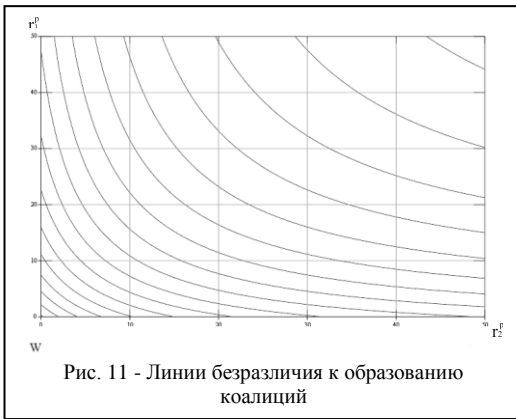


Рис. 11 - Линии безразличия к образованию коалиций

Данная проекция отображает линии безразличия к образованию коалиций.

Кривая безразличия - это геометрическое место точек, характеризующих сочетания коэффициентов эффективности, имеющих для предприятий-игроков одинаковую ценность[13]. Все множество кривых безразличия в пространстве коэффициентов эффективности двух предприятий образует карту

безразличия. Она однозначно выражает предпочтения предприятий-игроков и позволяет предсказать их отношение к любым двум сочетаниям различных коэффициентов эффективности.

Так, глядя на карту безразличия, представленную на рис. 7, можно определить, при каких коэффициентах эффективности предприятия-игроки безразличны к образованию коалиций.

В заключение можно сказать, что вопрос о том, вступать ли предприятиям – игрокам в коалицию, является очень спорным. С помощью теоретико - игрового моделирования, описанного в данной статье, была предпринята попытка расчетным путем исследовать целесообразность образования игроками различных укладок коалиций. В исследовании рассматривалось, как образование коалиции влияет на всю систему в целом, отдельных игроков-предприятий и потребителей.

Исследование показало, что вопреки ожидаемым результатам, далеко не всегда для системы выгодно образование коалиций. И очень сложно однозначно ответить на вопрос: стоит ли вступать в коалицию или нет?

В заключение следует особо подчеркнуть, что теория игр является очень сложной областью знания. При обращении к ней надо соблюдать известную осторожность и четко знать границы применения[12]. Слишком простые толкования, принимаемые фирмой самостоятельно или с помощью консультантов, таят в себе скрытую опасность. Анализ и консультации на основе теории игр из-за их сложности рекомендуются лишь для особо важных проблемных областей. Опыт фирм показывает, что использование соответствующего инструментария предпочтительно при принятии однократных, принципиально важных плановых стратегических решений, в том числе при подготовке крупных кооперационных договоров.

Список литературы: 1. Бурков В. Н. Основы математической теории активных систем. М.: Наука, 1977. - 255 с. 2. Бурков В. Н., Кондратьев В. В., Цыганов В. В., Черкашин А. М. Теория активных систем и совершенствование хозяйственного механизма. М.: Наука, 1984. - 271 с. 3. Вилкас Э. Й., Майминас Е. З. Решения: теория, информация, моделирование. М.: Радио и связь, 1981. - 328 с. 4. Воробьев Н. Н. Теория игр для экономистов кибернетиков. М.: Наука, Главная редакция физ.-мат. литературы, 1985. - 272 с. 5. Джон фон Нейман, Маргенитерн О. Теория игр экономическое поведение. М: Наука, Главная редакция физ.-мат. литературы, 1970. - 708 с. 6. Замков О. О., Толстопятенко А. В., Черемных Ю. Н. Математические методы в экономике: Учебник. М.: МГУ им. М. В. Ломоносова, Издательство «ДИС», 1997. - 368 с. 7. Кузин Б. И., Юрьев В. Н., Шахнадиров Г. М. Методы и модели управления фирмой. СПб: Питер, 2001. - 432 с. 8. Новиков Д. А., Петраков С. Н. Курс теории активных систем. М.: СИНТЕГ, 1999. - 105 с. 9. Петросян Л. А., Занкевич Н. И., Семина Е. А. Теория игр. М.: Высшая школа, 1998. - 300 с. 10. Розенмюллер И. Кооперативные игры и рынки. М.: «МИР», 1974. - 168 с. 11. Экланд И. Элементы математической экономики: Пер. с франц. М.: Мир, 1983. - 248 с. 12. Фелькер Р. Использование теории игр в практике управления // http://www.cfin.ru/management/game_theory.shtml 13. Микроэкономика. Электронный учебник. <http://www.math.omsu.omskreg.ru/info/learn/micro/D.htm>

Поступила в редколлегию 30.04.06

А.С. КУЦЕНКО, д-р. техн. наук, *С.В. КОВАЛЕНКО*

ПЛАНИРОВАНИЕ РЕМОНТОВ ОБОРУДОВАНИЯ ЭНЕРГБЛОКОВ АЭС ПО КРИТЕРИЮ НАДЕЖНОСТИ

У статті розглядається математична постановка задачі планування оптимальних об'ємів ремонтів енергоблоку АЕС на основі аналізу загальної моделі його експлуатації. Пропонується версія моделі планування об'ємів ремонтів функціонально відосбленої системи енергоблоку, орієнтована на застосування в автоматизованій системі управління ремонтами

Введение. Самое масштабное применение атомной энергии в мирных целях относится к эксплуатации энергетических блоков АЭС. Основным условием включения энергоблоков АЭС в орбиту хозяйственной деятельности является их безопасность, то есть допустимая обществом доля риска радиационного воздействия на людей и на окружающую среду. В проблеме обеспечения безопасности, можно выделить три необходимых условия, когда электрическая энергия, вырабатываемая блоками АЭС, может быть признана конкурентоспособной, в сравнении с электрической энергией, получаемой в других технологиях [1,2,3].

Первое условие заключается в том, что должно осуществляться государственное регулирование безопасностью по всему комплексу проблем, обеспечивающих ее приемлемый уровень.

Вторым необходимым условием является сознательное согласие общества на использование той электрической энергии, которая вырабатывается на блоках АЭС, поскольку вместе с электрической энергией потребителям поставляется и доля риска от их эксплуатации. В этом отношении уместно вспомнить позицию общества, поспешно созданную средствами массовой информации, когда после аварии на Чернобыльской АЭС были приостановлены работы на Крымской, Хмельницкой, Ровенской АЭС и на Харьковской АТЭЦ. В результате прекращения работ на этих объектах для общества оказались потерянными значительные материальные средства.

Третьим необходимым условием является собственно обеспечение безопасности действующих энергоблоков. Объективным показателем безопасности энергоблока АЭС является вероятность радиационной аварии или риск от его эксплуатации [4,5]. Эти качества энергоблока, а также эффективность его работы в значительной степени формируются путем проведения планово-предупредительных ремонтов (ППР). Стоимость ежегодных ППР может быть недопустимо большой по экономическим причинам, если осуществлять в этот период капитальные ремонты всего оборудования или замены на новое оборудование. Поэтому, в пределах назначенного ресурса энергоблока, который составляет, обычно, 30 лет, естественно возникает и является актуальной задача планирования

оптимальных объемов ремонтов оборудования энергоблоков АЭС, которая к настоящему времени еще не получила должного освещения в научных публикациях. Решение такого рода задач целесообразно осуществлять с помощью автоматизированной системы [6]. Но прежде необходимо обеспечить достаточный уровень формализации задачи.

Постановка задачи. Пусть $N(x, \xi, t)$ – электрическая мощность энергоблока в момент времени t , а x и ξ – векторы технологических (давление, расход, энтальпия теплоносителей) и случайных внутренних параметров (режимы работы, температуры окружающей среды и др.). Допустим также, что в момент времени t_0 , относящийся к периоду ППР, осуществляется мгновенное восстановление надежности (ремонт) энергоблока до такого уровня, который обеспечивает его работоспособность энергоблока до заданного момента времени t . Требуется найти такие объемы ремонтов оборудования энергоблока в момент времени, t_0 чтобы:

1) за время $\Delta t = t - t_0$ было выработано максимальное количество электрической энергии E :

$$E(t_0, t) = \int_{t_0}^t N(x, \xi, t) dt \rightarrow \max; \quad (1)$$

2) вероятность радиационной аварии (безопасность) на энергоблоке не превосходила заданной величины $P^*(A)$:

$$P(A, x, \xi) \leq P^*(A); \quad (2)$$

3) ресурс r_j каждой j единицы оборудования e_j в результате ремонта в момент времени t_0 и в будущие моменты времени ремонтов оказался не меньше его назначенного ресурса r_j^* :

$$r_j(x, \xi) \leq r_j^*, \quad j = \overline{1, N}; \quad (3)$$

4) суммарные затраты на ремонтные работы в момент времени t_0 не превышали заданной величины Z^* :

$$\sum_{j=1}^N z(e_j) \leq Z^*. \quad (4)$$

Выражения (1) – (4) дают математическое описание стратегии ремонта энергоблока в момент времени t_0 в самом общем виде. В таком виде задача планирования ремонтов представляет собой многопараметрическую задачу оптимизации достаточно большой сложности. Эта сложность обусловлена размерностью задачи, потребностью в огромном числе данных, сложностью процедур вычисления выработки электроэнергии и вероятностей аварий, сложностью вычисления ресурсов оборудования.

В тоже время в такой общей многопараметрической задаче только часть параметров определяет объемы ремонтов оборудования. Рассматривая работу

энергблока на номинальном режиме (доминирующий режим работы энергблоков АЭС), введем предположения, которые позволят упростить задачу.

Предположение 1. Управление технологическими параметрами x осуществляется в соответствии с требованиями Регламента и так, что при любых случайных параметрах ξ и на любом периоде эксплуатации Δt обеспечивается максимально возможная выработка энергии. То есть предполагается, что условие (1) выполняется всегда. Поэтому условие (1) можно исключить из исходной задачи.

Предположение 2. Выполнение требований безопасности (2) обеспечивается в проектных условиях эксплуатации энергблока при любых значениях технологических и случайных параметров x и ξ . Это предположение отражает очень жесткие требования к действиям людей, к надежности оборудования и систем. Поскольку требования безопасности должны быть удовлетворены при любых x и ξ , то тогда x и ξ можно исключить из (2), что приводит в сравнении с (2) к более простому условию:

$$P(A) \leq P^*(A), \quad (5)$$

где $P(A)$ - вероятность радиационной аварии A , обусловленная только отказами оборудования и систем.

Предположение 3. Ресурс оборудования не зависит от того, при каких значениях технологических параметров x оно эксплуатируется в рамках Регламента и в пределах назначенного ресурса, и не зависит от случайных воздействий ξ на его конструкцию. Это предположение позволяет исключить выражение (3) из модели планирования ремонтов.

Формализация задачи планирования оптимальных объемов ремонтных работ. Таким образом, если согласиться с введенными предположениями, которые, в основном, отражают практику эксплуатации энергблоков, то задача (1) – (4) существенно упрощается. Однако и в таком упрощенном виде она еще будет мало пригодна для решения задач планирования ремонтов, поскольку ограничения (5) не содержат параметров, определяющих объемы ремонтов. Кроме того, удовлетворение условия (5) весьма трудная и громоздкая задача [2,4,5]. Однако, если энергблок декомпозирован на не пересекающиеся системы S_1, S_2, \dots, S_N , и для вычисления вероятности аварии на энергблоке построено «дерево» событий [2,5], то условие (5) можно свести к более простым соотношениям.

Вероятность любой m частной аварии $P(A_m)$ определяется произведением вероятности $P(X_m)$ исходного события (вероятности отказа оборудования, принадлежащего системе S_m) на вероятности $Q(S_{m_1}), Q(S_{m_2}), \dots, Q(S_{m_k})$ отказов систем $S_{m_1}, S_{m_2}, \dots, S_{m_k}$, образующих путь развития этой аварии [2,5]:

$$P(A_m) = P(X_m)Q(S_{m_1})Q(S_{m_2}) \cdot \dots \cdot Q(S_{m_k}) \cdot \quad (6)$$

В силу вышеприведенного допущения о существовании «дерева» событий, предельно-допустимое значение вероятности аварии $P^*(A)$ может быть представлено в виде суммы предельно-допустимых частных аварий:

$$P^*(A) = P^*(X_m)Q^*(S_{m_1})Q^*(S_{m_2}) \cdot \dots \cdot Q^*(S_{m_k}) + \dots \quad (7)$$

Разложение $P^*(A)$ на сумму предельно-допустимых частных аварий не единственно. Выбирая любое одно реалистичное в практическом отношении разложение, и сравнивая (6) с (7), получим набор соотношений:

$$P(X_m) \leq P^*(X_m), Q(S_{m_1}) \leq Q^*(S_{m_1}), \dots, Q(S_{m_k}) \leq Q^*(S_{m_k}), \dots \quad (8)$$

Таким образом, сложное условие (5) переводится в совокупность более простых соотношений, связанных только с надежностью отдельных систем S_1, S_2, \dots, S_N , а не с вероятностью радиационной аварии на энергоблоке. В данной статье рассматривается постановка задачи планирования ремонтов только одной системы из S_1, S_2, \dots, S_N . Выберем из (8) одно из неравенств в виде $R_S(t_0, t) \geq R^*$, где $R_S(t_0, t)$ – вероятность безотказной работы (ВБР) системы S , как представителя систем S_1, S_2, \dots, S_N , а R^* – предельно-допустимое значение ВБР этой системы. Пусть система S состоит из n элементов e_k , $k = 1, 2, \dots, n$. ВБР элемента e_k за время эксплуатации, предшествующее времени t_0 , обозначим $R_k(t_0)$.

ВБР $R_S(t_0, t)$ системы S за время от t_0 до t зависит от ВБР ее элементов. ВБР элементов за время от t_0 до t , в свою очередь, зависит от затрат c_k на их ремонт в момент времени t_0 , что обуславливает изменение $R_k(t_0)$, и от значений показателей надежности элементов. Изменение $R_k(t_0)$ вызывается объемами ремонтов элемента e_k , которые при установленной технологии ремонта можно количественно характеризовать затратами c_k на ремонт. Определим связь между величиной повышения ВБР $R_k(t_0)$ элемента e_k в момент времени t_0 и произведенными затратами c_k на его ремонт. Для этого введем понятие удельной ВБР $\delta R_k(t_0)$ элемента e_k , как величину повышения ВБР элемента, приходящуюся на одну условную единицу (у.е.) затрат на ремонт этого элемента. В результате ремонта в момент времени t_0 , на который затрачено c_k у.е. элемент может приобрести ВБР $R'_k(t_0)$. Разница между этими ВБР в момент времени t_0 , отнесенная к величине понесенных затрат c_k , определяет удельную ВБР $\delta R_k(t_0)$ элемента e_k :

$$\delta R_k(t_0) = (R'_k(t_0) - R_k(t_0)) / c_k. \quad (9)$$

В формуле (9) величина понесенных затрат c_k на ремонт элемента e_k известна. Величина $R_k(t_0)$ может быть определена по известной длительности работы элемента в предшествующий t_0 период. Величина же $R'_k(t_0)$ неизвестна. Оценим $\delta R_k(t_0)$ из следующих соображений. Предположим, что элементу e_k производится капитальный ремонт с затратами z_k , что обеспечивает элементу ВБР в t_0 , равную единице. Тогда из (9) получим:

$$\delta \bar{R}_k(t_0) = (1 - R_k(t_0)) / z_k. \quad (10)$$

Величина $\delta \bar{R}_k(t_0)$ из (10) является константой для элемента e_k с ВБР $R_k(t_0)$ и одним из возможных значений величины $\delta R_k(t_0)$ из (9), относительно которой еще не проведены исследования, устанавливающие ее область значений. Тогда, принимая $\delta \bar{R}_k(t_0)$ за удельную ВБР элемента e_k , получим, что при любом c_k из интервала $0 \leq c_k \leq z_k$ величина $\bar{R}_k(t_0) = R_k(t_0) + c_k \delta \bar{R}_k(t_0)$ есть ВБР элемента e_k в t_0 , приобретенная им в результате ремонта с затратами c_k . Учтем этот результат при вычисления ВБР системы.

ВБР $R_S(t_0)$ системы S можно рассматривать как известную функцию φ от ВБР элементов: $R_S(t_0) = \varphi(R_1(t_0), R_2(t_0), \dots, R_n(t_0))$. В результате ремонтов элементов e_k с соответствующими затратами c_k , $k=1,2,\dots,n$, найдем приобретенную ВБР системы в t_0 :

$$\bar{R}_S(t_0) = \varphi(R_1(t_0) + c_1 \delta \bar{R}_1(t_0), R_2(t_0) + c_2 \delta \bar{R}_2(t_0), \dots, R_n(t_0) + c_n \delta \bar{R}_n(t_0)) \quad (11)$$

и с учетом произведенного ремонта найдем ВБР $\bar{R}_S(t_0, t)$ системы за время от t_0 до t :

$$\begin{aligned} \bar{R}_S(t_0, t) = & \varphi[(R_1(t_0) + c_1 \delta \bar{R}_1(t_0)) \cdot R_1(t), (R_2(t_0) + c_2 \delta \bar{R}_2(t_0)) \cdot R_2(t), \dots \\ & \dots, (R_n(t_0) + c_n \delta \bar{R}_n(t_0)) R_n(t)] \end{aligned} \quad (12)$$

Из (12) видно, что ВБР $\bar{R}_S(t_0, t)$ системы в результате ремонта определяется ВБР $R_k(t_0)$ элементов e_k , $k=1,2,\dots,n$ в момент времени t_0 , понесенными затратами c_k , удельными ВБР $\delta R_k(t_0)$ и кривыми надежностей $R_k(t)$. Теперь задачу планирования оптимальных объемов ремонтов можно сформулировать так: требуется найти такое распределение затрат c_k , $k=1,2,\dots,n$ на ремонт системы, чтобы ВБР системы $\bar{R}_S(t_0, t)$ и предельно-

допустимое значение ВБР системы R^* наименее отличались друг от друга за время до t и сумма затрат на ремонт системы не превосходила бы заданной величины. Учитывая (12), получим математическую постановку задачи в виде:

$$\omega^* = \min_{c_k} [\bar{R}_s(t_0, t) - R^*], \quad \omega^* \geq 0 \quad (13)$$

$$\sum_{k=1}^n c_k \leq Z^* \cdot \quad (14)$$

Решение задачи планирования ремонтов системы S будет заключаться в том, чтобы найти такие стоимости ремонтов c_k , чтобы удовлетворялись соотношения (13), (14). Задача не имеет единственного решения в силу свойств функции φ . Выбор окончательного решения для применения на практике должен осуществлять специалист, руководствуясь дополнительными целесообразностями.

Выводы. Формализация задачи планирования оптимальных объемов ремонтов оборудования систем энергоблоков АЭС до уровня математической модели (13), (14) дает возможность перейти к этапу решения задачи и проведению тщательных численных экспериментов на реальных объектах. Только после сравнения численных результатов с опытом ремонтов оборудования энергоблоков можно будет говорить о приемлемости модели для практического применения. Представленная задача многоплановая и содержит много особенностей, которые отразить в одной статье авторам показалось нецелесообразным по разным причинам. Среди проблемных сторон задачи особенно выделим следующие: 1) неединственность модели удельной ВБР системы; 2) изменение моделью (13) традиционного представления о текущем, среднем и капитальном ремонте оборудования из-за того, что искомые затраты c_k в модели (12) являются любыми числами из интервала $0 \leq c_k \leq z_k$; 3) неединственность разложения предельно-допустимой вероятности радиационной аварии на сумму предельно-допустимых ВБР систем; 4) возможность игнорирования в модели планирования ремонтов критериями выработки электроэнергии и ресурса энергоблока.

Список литературы: 1. *Каница П.Л.* Эксперимент. Теория. Практика. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 496 с., ил. – (Наука. Мировоззрение. Жизнь). 2. *Справочник по ядерной энерготехнологии:* Пер. с англ. / Ф. Ран, А. Адамантиадес, Дж. Кентон, Ч. Браун; Под ред. В.А. Легасова. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 752 с. 3. *Острейковский В.А.* Старение и прогнозирование ресурса оборудования атомных станций. М.: Энергоатомиздат, 1994, 287 с. 4. *Клёмин А.И.* Надёжность ядерных энергетических установок. Основы расчёта. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 334 с. 5. *Бахметьев А.М., Самойлов О.Б., Усынин Г.Б.* Методы оценки и обеспечения безопасности ЯЭУ. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 136 с. 6. *Андрюшин А.В.* Основы создания автоматизированной системы управления ремонтами // Теплоэнергетика. 2001. №10. – С. 53 – 56.

Поступила в редколлегия 25.02.06

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Любчик Л. М., Гринберг Г. Л., Чан Зунг Чинь.</i> Коррекция автоматизированного расчета технико-экономических показателей энергоблока в условиях неточных измерений	3
<i>Никитина Т. Б.</i> Управление многоканальными системами по H^2 и H^∞ критериям.....	9
<i>Голоскоков А. Е., Рудницкий А. В., Борц Б. В.</i> Структура и принципы построения интеллектуальной системы управления технологическим процессом горячей прокатки пакетов металлических пластин.....	17
<i>Бабій А. С., Лановий О. Ф.</i> Статистичне моделювання злочинності	24
<i>Ковалев Ю. Н., Ницын А. Ю.</i> Геометрия психофизического пространства и компьютерный симулятор «виртуальная сфера»	31
<i>Амер Тахсин Саламех Абу-Джассар, Дуравкин Е. В., Жолткевич Г. Н.</i> Об одной логической модели распределенной обработки информации на базе сетей Петри с модифицированной динамикой	41
<i>Безменов Н. И., Бозарсуков А. С., Явников Р. А.</i> Моделирование реалистичных эффектов освещенности трехмерных сцен объектов в реальном времени	47
<i>Жолткевич Г. Н., Федорченко К. А.</i> Об одном классе концептуальных моделей	51
<i>Ахмад Али (Абдель Карим) Альмхерат, Жолткевич Г.Н., Жолткевич А.Г.</i> Моделирование обмена информацией в информационных системах: концептуальный уровень	57
<i>Асеев Г. Г.</i> Проблема обнаружения нового знания в хранилищах данных методами Knowledge Discovery in Databases	62
<i>Жолткевич Г. Н., Ахмад Юсеф Ибрахим Ибрахим.</i> Модель хранения образцов полусхем средствами реляционных баз данных	71
<i>Семенова Т. В.</i> Использование шаблонов полусхем в процессе построения структурно-логической модели предметной области информационной системы	77
<i>Шаронова Н. В., Канищева О. В., Сайед Мохаммад Тахид Синдики</i> Эффективный анализ текстовой информации с помощью технологий Data Mining	87
<i>Пустовойтов П. Е.</i> Оценка эффективности системы массового обслуживания с пуассоновским входящим потоком и немарковским обслуживанием	93
<i>Раскин Л. Г., Серая О. В.</i> Решение распределительной задачи назначения с нечеткими входными данными	99
<i>Раскин Л. Г., Зарубин В. С., Иващенко А. С.</i> Математическая модель планирования многономенклатурного производства	103
<i>Сайко В. В.</i> Оптимизационная модель планирования продаж по товарной группе	108

Северин В. П., Тимко М. А. Математическое моделирование и оптимизация рискового портфеля ценных бумаг	115
Северин В. П., Шергина М. С. Многокритериальная оптимизация двувидового портфеля ценных бумаг	121
Плахтыря А. А. Диагностика банкротства коммерческого банка	127
Кащеев Л. Б., Лихущин А. С. Задача поиска ассоциативных правил при анализе рыночных корзин	135
Колбасин В. А. Распознавание сигналов донатора номера в импульсном режиме в присутствии полигармонической помехи	140
Северин В. П., Никулина Е. Н. Математическое моделирование парогенератора атомного энергоблока	145
Годлевский М. Д., Москаленко В. В., Кондращенко В. В. Математическая модель расчета оптимальной схемы финансирования инвестиционного проекта с привлечением внешних инвестиций	151
Кононенко И. В., Протасов И. В. Информационная технология решения задачи формирования перспективного ряда продукции, построенного по модульному принципу	157
Колбасин В. А., Любчик Л. М. Исследование алгоритмов сжатия данных тепловизорного эксперимента	162
Клетная Ю. А. Анализ поведения оппонентов в активной системе с учетом трансформации бескоалиционной игры в кооперативную	166
Куценко А. С., Коваленко С. В. Планирование ремонтов оборудования энергоблоков АЭС по критерию надежности	176

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ «ХП»**

Збірник наукових праць

Тематичний випуск
«Системний аналіз, управління
та інформаційні технології»

Випуск 19

Наукові редактори М. Д. Годлевський, О. С. Куценко
Технічний редактор М. І. Безменов

Відповідальний за випуск В. М. Луньова

Обл.-вид № 93-06

Підп. до друку 16.06.06 р. Формат 60×84 1/16. Папір офісний.
RISO-друк. Гарнітура Таймс. Умов. друк. арк. 8,5. Облік.-вид. арк. 10,1.
Наклад 300 прим. Перший завод 1-100. Зам. № 4. Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХП».
Свідоцтво державну реєстрацію № 116 від 10.07.2000 р.
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Друкарня «Технологічний центр».
61145, Харків, вул. Новгородська, За,
тел. 730-32-92.