

ВЕСТНИК

НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА «ХПИ»

Сборник научных трудов

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

59'2005

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

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. Ястребенцкий, д-р техн. наук, проф.

АДРЕС РЕДКОЛЛЕГИИ

61002, Харьков, ул. Фрунзе, 21

Кафедры «Автоматизированные системы
управления» и «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». – 2005. – № 59 – 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 № 10 від 09.12.2005 р.**

Л.М. ЛЮБЧИК, д-р техн. наук, проф., *А.А. МИРОШНИЧЕНКО*

МОНИТОРИНГ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ СИНГУЛЯРНО-СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Наведено результати застосування методу головних компонент та сингулярно - спектрального аналізу до задач структурного аналізу нестационарних часових рядів. Наведено приклади застосування зазначених методів у практичних задачах моніторингу теплоспоживання.

Введение. Задача мониторинга динамических процессов состоит в непрерывном контроле их состояния с целью обнаружения моментов изменения их параметров и характеристик. В частности, мониторинг позволяет обнаруживать моменты возникновения отклонений от нормального хода процесса, а также диагностировать возможные причины их возникновения. Современные системы мониторинга используют различные методы моделирования и идентификации случайных процессов в сочетании с методами статистических решений. При этом основная проблема связана с построением адекватной модели исследуемого процесса и идентификацией ее параметров в реальном масштабе времени с учетом возможных изменений.

Постановка задачи. Задачи мониторинга характеристик временного ряда основаны на обнаружении момента времени изменения его свойств. Построение моделей для мониторинга производственных процессов, диагностики сбоев и отказов сводится к решению задачи о "разладке", то есть обнаружению происходящего в неизвестный момент времени скачкообразного изменения свойств наблюдаемого временного ряда.

Формальная постановка задачи обнаружения разладки [1] состоит в следующем: пусть дана случайная последовательность x_1, x_2, \dots, x_N , которая в некоторый момент времени t_0 скачкообразно меняет свои свойства, однозначно определяемые вектором параметров θ . Это означает, что при $t \leq t_0 - 1$ вектор $\theta = \theta_1$, а при $t \geq t_0$ вектор $\theta = \theta_2$. Необходимо, наблюдая последовательность x_1, x_2, \dots, x_N , обнаруживать момент разладки t_0 .

Как указано в [1] существует типа задач о разладке. Первый, получивший название "Задача о скорейшем обнаружении разладки", описывается следующей постановкой: пусть последовательно во времени поступает информация о случайном процессе, и в некоторый момент времени происходит изменение какой-либо его вероятностной характеристики. Необходимо скорейшим образом обнаружить это изменение после того, как оно произошло, и при этом ограничить некоторой величиной вероятность ложного сигнала тревоги.

Второй тип носит название "Апостериорных задач о разладке". Постановка задачи здесь следующая: пусть предъявлена реализация

случайного процесса. Если данная выборка не является статистически однородной, то возникает задача обнаружения моментов времени изменения вероятностных характеристик временного ряда.

В [2] рассмотрены различные постановки задачи о разладке. В [1] приведены различные варианты критериев для построения алгоритмов решения задач о разладке. Наибольший практический интерес представляет алгоритм кумулятивных сумм. Его идея состоит в анализе поведения кумулятивной суммы [1]:

$$S_t = S_{t-1} + \ln(\omega(x_t / \theta_2) / \omega(x_t / \theta_1)) \quad (1)$$

где $\omega(x_t / \theta_2)$ - плотность распределения вероятностей случайных величин x_{t_0}, \dots, x_t с момента возникновения разладки (t_0);

$\omega(x_t / \theta_1)$ - плотность распределения вероятностей случайных величин x_1, \dots, x_{t_0-1} до момента возникновения разладки ($t_0 - 1$);

Задача о разладке представляет особый интерес для решения проблем текущего контроля производства. Суть такой задачи может заключаться в последовательном контроле и наискорейшем обнаружении изменения параметров контролируемого производственного процесса при определенном установленном уровне ложных сигналов о разладке. При этом важным является не только наискорейшее обнаружение самого факта сбоя или отказа, но и определение причины их возникновения.

Метод главных компонент. Обнаружение разладок при анализе временных рядов сложной структуры требует их предварительного анализа с целью выделения наиболее существенных компонент, несущих основную информацию об отклонениях параметров. Из анализа зарубежных литературных источников [3-6] видно, что в течение последних лет для такого предварительного анализа широко используется метод PCA (Principal Components Analysis).

Формально идея метода анализа главных компонент (PCA) представлена в [7, 8, 9, 10] состоит в следующем.

Пусть X - матрица данных размерностью $(m \times n)$. Столбцы матрицы X - переменные (признаки объектов или измеряемые параметры процесса). Предположим, что матрица X приведена к стандартной форме и все ее столбцы имеют нулевое среднее значение и дисперсию равную единице. Далее по матрице X находят корреляционную матрицу параметров. После чего находят собственные числа корреляционной матрицы, упорядоченные в порядке убывания: $\lambda_1 \geq \dots \geq \lambda_i \geq \dots \geq \lambda_n$ (в этом случае дисперсия i -ой главной компоненты равна i -му собственному числу λ_i) и соответствующие им собственные векторы $\omega_1, \dots, \omega_i, \dots, \omega_n$, образующие ортогональный базис. Из этих векторов составляется ортогональная матрица $W = (\omega_1, \dots, \omega_i, \dots, \omega_n)$, связывающая параметры процесса и главные компоненты [7, 8]:

$$x_i = \sum_{j=1}^n \omega_{ij} f_j \quad (i, j = 1, \dots, n) \quad (2)$$

Здесь x_i - i -я измеряемая переменная; f_i - i -я главная компонента; ω_{ij} - вес j -ой компоненты в i -ой переменной.

Модель, полученную при учете только k первых собственных векторов, связанных с систематическим изменением данных, можно считать моделью неполного порядка:

$$x_i = \sum_{j=1}^k \omega_{ij} f_j + \xi_i \quad (3)$$

где ξ_i - помехи или шум.

Одним из недостатков построения модели для мониторинга на основе метода главных компонент является слабая чувствительность такой модели к обнаружению небольших отклонений в процессе. Так, очень слабое отклонение параметров процесса от стандартных значений может быть не зафиксировано, поскольку в саму модель неполного порядка заложен вектор, характеризующий помехи или шум.

Для решения такой проблемы предлагается более детальный анализ структуры временного ряда, составленного на основе данных о протекании процесса с помощью сингулярно-спектрального анализа.

Сингулярно - спектральный анализ. Для исследования структуры временных рядов часто применяется метод сингулярно-спектрального анализа - Singular Spectrum Analysis (SSA) [11, 12]. Метод SSA основан на выделении главных компонент анализируемого временного ряда [11, 12].

Алгоритм метода сингулярно - спектрального анализа выглядит следующим образом: исследуется временной ряд $F_N = (f_0, \dots, f_{N-1})$ длины N . Первым следует этап вложения, то есть формирование траекторной матрицы. Основным шагом здесь является выбор целого числа L - длины окна, $2 \leq L \leq N - 1$. При исследовании структуры временного ряда рекомендуется использовать несколько вариантов длины окна [12].

После выбора параметра L , значениями исходного временного ряда последовательно заполняют столбцы траекторной матрицы X . Столбцы матрицы X имеют вид:

$$X_j = (f_{j-1}, \dots, f_{j+L-2})^T, \quad 1 \leq j \leq K \quad (4)$$

где $K = N - L + 1$.

Далее следует этап сингулярного разложения. Вычисляется матрица $R = XX^T$. Находятся собственные числа $\lambda_1, \dots, \lambda_L$ ($\lambda_1 \geq \dots \geq \lambda_L \geq 0$) и соответствующие этим числам собственные векторы U_1, \dots, U_L матрицы R .

Вычисляют $\sqrt{\lambda_i}$ - сингулярные числа и находят факторные векторы:

$$V_i = \frac{1}{\sqrt{\lambda_i}} X^T U_i, \quad (i=1, \dots, d), \quad d = \max\{i, \lambda_i > 0\} \quad (5)$$

Получаем сингулярное разложение траекторной матрицы X :

$$X = \sum_{i=1}^d X_i = \sum_{i=1}^d \sqrt{\lambda_i} U_i V_i^T. \quad (6)$$

Для данного сингулярного разложения набор $\sqrt{\lambda_i}, U_i, V_i$ - это i -я собственная тройка; вектор $Z_i = \sqrt{\lambda_i} V_i$, - вектор i -х главных компонент; матрицы X_i - элементарные (имеют ранг, равный 1). Каждое собственное число λ_i характеризует вклад матрицы X_i в сингулярное разложение.

Сингулярное разложение можно интерпретировать по аналогии с методом главных компонент в статистике, как разложение всех столбцов матрицы X по базису из их главных векторов.

Следующий этап - группировка. Целью группировки является разделение временного ряда на аддитивные компоненты. Процедура группировки позволяет разделить все множество индексов ($i=1, \dots, d$) на m непересекающихся подмножеств: I_1, \dots, I_m . Каждому подмножеству I соответствует результирующая матрица X_I , определяющаяся как сумма матриц, входящих в подмножество:

$$X = X_{I_1} + X_{I_2} + \dots + X_{I_m}. \quad (7)$$

Эта процедура основана на анализе собственных чисел λ_i а так же векторов U_i и V_i . Анализируя форму сингулярных векторов одной из собственных троек, можно предсказать поведение соответствующей компоненты ряда, восстановленной с помощью этой тройки. Чем больше сингулярное число, тем больше вклад соответствующей компоненты [12].

Последним этапом метода SSA является диагональное усреднение. На этом этапе проводится восстановление рядов $F_N^{(j)}$ по сгруппированным матрицам X_{I_j} , каждая матрица переводится в новый ряд длины N . Значения ряда задаются как средние значения элементов матрицы вдоль соответствующих побочных диагоналей.

В результате применения метода сингулярно - спектрального анализа, исходный ряд $F_N = (f_0, \dots, f_{N-1})$ раскладывается на сумму m рядов $F_N^{(j)}$, то есть на аддитивные составляющие.

Пример практического применения. В данной работе по описанной методике исследовались данные потребления электроэнергии и природного газа с целью обнаружения моментов изменения поведения потребителей. Использовались данные потребления электроэнергии и природного газа различными районами города Харькова за период сентябрь-октябрь 1996 года

приведенные в [13] и представленные на рис.1. Для анализа структуры временного ряда и выделения главных компонент был использован программный продукт [14].

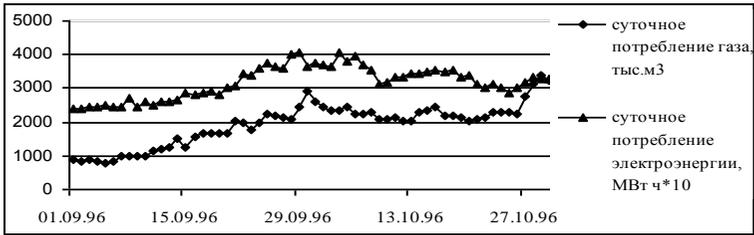


Рис. 1. Суточное потребление электроэнергии и газа одним из районов г. Харькова.

При сингулярном разложении ряда данных потребления природного газа были выделены следующие главные компоненты (рис. 2):

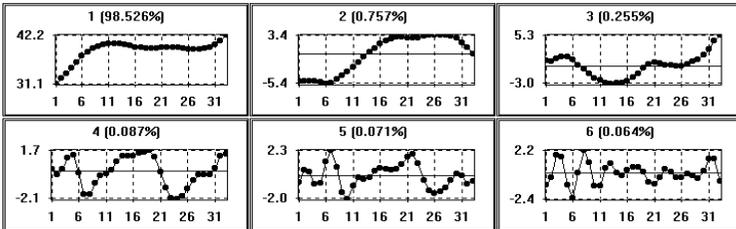


Рис. 2. Первые главные компоненты, полученные при разложении ряда данных потребления природного газа.

Результаты, полученные при сингулярном разложении ряда данных потребления электроэнергии, представлены на рис. 3.

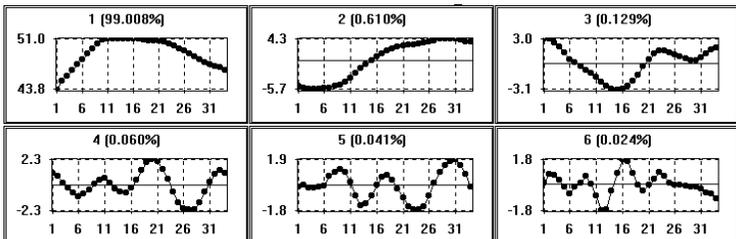


Рис. 3. Первые главные компоненты, полученные при разложении ряда данных потребления электроэнергии.

Анализируя полученные результаты можно сделать вывод, что выделенные главные компоненты 2 и 3, для ряда данных потребления природного газа и ряда данных потребления электроэнергии, имеют схожую

структуру и возможно отражают один и тот же фактор или явление. Восстановление рядов данных суточного потребления газа и суточного потребления электроэнергии по двум компонентам представлено на рис. 4.

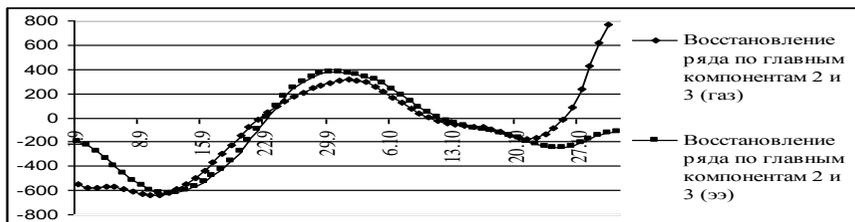


Рис. 4. Восстановление рядов потребления газа и электроэнергии по 2-ой и 3-й главным компонентам.

Анализируя полученные данные можно предположить, что эти компоненты в двух исследуемых рядах отражают "Состояние тепловой комфортности потребителя", и его изменение вызывает изменения в структуре временных рядов данных потребления энергоресурсов. На основе выделенных компонент может осуществляться обнаружение указанных моментов изменения структуры энергопотребления.

Выводы. На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что предварительный анализ структуры временного ряда методом главных компонент (PCA) и сингулярно-спектрального анализа (SSA) при решении задач о разладке позволит выделить наиболее существенные компоненты ряда, ответственные за изменение его свойств, и тем самым повысить точность обнаружения моментов изменения свойств ряда и диагностировать возможные причины отклонений в процессе.

Список литературы: 1. Никифоров И.В. Последовательное обнаружение изменения свойств временных рядов. М.: Наука, 1983.- 199с. 2. Ширяев А.Н. Статистический последовательный анализ. М.: Наука, 1969, 232 с. 3. A. Singhal and D.E. Seborg, "Pattern matching in historical batch data using PCA", IEEE Control Systems Magazine, 2002, pp.53-63. 4. С. Ündey and Ali Çinar, "Statistical monitoring of multistage, multiphase batch processes", IEEE Control Systems Magazine, 2002, pp.40-52. 5. E. Martin, J. Morris, and S. Lane, "Monitoring process manufacturing performance", IEEE Control Systems Magazine, 2002, pp.26-39. 6. Т. Kourtí, "Process analysis and abnormal situation detection: from theory to practice", IEEE Control Systems Magazine, 2002, pp.10-25. 7. Браверман Э.М., Мучник И.Б. Структурные методы обработки эмпирических данных. - М.: Наука, 1983. - 464с. 8. Горькова К.А., Абрамов Ю.Ш. Факторный анализ (Метод главных компонент). Учебное пособие. - Л.: ЛФЭИ, 1981. - 66с. 9. Жуковская В.М., Мучник И.Б. Факторный анализ в социально-экономических исследованиях. - М.: Статистика, 1976. - 151с. 10. Харман Г. Современный факторный анализ/ Пер. с англ. - М: Статистика, 1972. - 488с. 11. Главные компоненты временных рядов: метод «Гусеница» // Под. ред. Д.Л. Данилова, А.А. Жиглявского. СПб: Пресском, 1997. 307 с. 12. Голяндина Н.Э. Метод «Гусеница»-SSA: анализ временных рядов: Учеб. пособие. СПб: Изд-во СПбГУ, 2004. 76 с. 13. Воронковский Г.К. Усовершенствование практики оперативного управления крупными теплофикационными системами в новых экономических условиях. - Х: Изд-во "Харьков", 2002. - 240с. 14. <http://www.gistatgroup.com>

Поступила в редколлегию 15.10.05

В.М. ВАРТАНЯН, д-р. техн. наук,
Ю.А. РОМАНЕНКОВ, канд. техн. наук, **А.В. КОНОНЕНКО**

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ПРОГНОЗНОЙ МОДЕЛИ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОГО СГЛАЖИВАНИЯ

Розглянуто питання практичного застосування методу експоненціального згладжування при прогнозуванні процесів, що складно піддається факторному аналізу. Запропоновано підходи до обґрунтованого визначення константи згладжування.

Рассмотрим одну из задач прогноза, состоящую в установлении количественных оценок тенденций развития исследуемого процесса путем анализа временных серий и проецирования их вперед на период интервала получения статистических данных.

Одним из методов получения необходимого решения является экспоненциальное сглаживание, базовая формула которого имеет вид

$$F_t = \alpha A_{t-1} + \sum_{i=1}^{t-2} \alpha(1-\alpha)^i A_{t-(i+1)}, \quad (1)$$

где F_t – прогноз, α – вес или константа сглаживания ($0 < \alpha < 1$), $A_{t-(i+1)}$ – текущие значения параметра в прошлых периодах.

Зависимость (1) может быть представлена в следующей форме:

$$F_t = \alpha A_{t-1} + \alpha(1-\alpha)A_{t-2} + \alpha(1-\alpha)^2 A_{t-3} + \alpha(1-\alpha)^3 A_{t-4} + \dots + \alpha(1-\alpha)^n A_{t-n}. \quad (2)$$

Постановка проблемы. Особенности применения метода состоит в обоснованном выборе константы сглаживания α , которая существенно влияет на результат прогноза. Так, если α близка к единице, то это приводит к учету в прогнозе в основном влияния лишь последних наблюдений; если α близка к нулю, то веса, по которым взвешиваются значения во временном ряду, убывают медленно, т.е. при прогнозе учитываются все (или почти все) наблюдения.

Анализ литературы. Точность модели прогнозирования может быть определена сравнением прогнозного значения с текущим, или наблюдаемым, значением. Ошибка прогноза определяется разностью между прогнозом и действительным значением параметра.

Значения ошибок прогноза ε_{cao} для модели (1) оцениваются средним абсолютным отклонением (CAO). Оно рассчитывается суммированием абсолютных значение индивидуальных ошибок прогноза и делением на число периодов данных n :

$$\varepsilon_{cao} = \frac{\sum_{i=1}^n |Ошибка прогноза|}{n}. \quad (3)$$

Предпочтительным будет являться такое значение константы сглаживания α , при котором ε_{cao} будет наименьшим [1].

Наряду со средним абсолютным отклонением, в прогнозировании также используется другой измеритель ошибок – среднеквадратическое отклонение $\varepsilon_{ско}$. Среднеквадратическое отклонение (СКО) – это среднее от квадрата разности между прогнозными и наблюдаемыми значениями.

Цель статьи. Проблема обоснованного выбора константы сглаживания α может рассматриваться, исходя из различных гипотез, которые характеризуют свойства и особенности конкретных временных рядов. Анализ возможных подходов к выбору константы сглаживания, а также выявление границ применимости и адекватности самого метода прогнозирования является целью данной статьи.

Процесс выбора константы сглаживания по значениям САО и СКО, связан с анализом сложной полиномиальной зависимости между используемыми оценками ошибок прогнозирования и величиной константы сглаживания и может быть сведен к графоаналитическому решению задачи.

Предлагаемая процедура определения константы сглаживания, в отличие от методик, рассмотренных в работах [2, 3], позволяет учесть влияние ошибки первоначального прогноза и предусматривает следующую последовательность действий:

1. Определение кругового прогноза исследуемого параметра на всех рассматриваемых периодах временных серий в аналитической форме с использованием системы символьных вычислений как некоторого полинома

$$F_t(\alpha, \Delta) = \alpha A_{t-1} + \sum_{i=1}^{t-2} \alpha(1-\alpha)^i A_{t-(i+1)}, \quad (4)$$

где t – количество рассматриваемых периодов, Δ – ошибка первоначального прогноза.

2. Расчет абсолютных отклонений прогнозируемой функции для каждого периода как разницы между круговым прогнозом и текущим значением рассматриваемого параметра.

3. Расчет аналитических (символьных) зависимостей $\varepsilon_{cao}(\alpha, \Delta)$, $\varepsilon_{ско}(\alpha, \Delta)$ и построение графиков этих функций для области определения константы сглаживания $\{0 < \alpha < 1\}$.

4. Установление значения константы сглаживания α_m , доставляющего минимум соответствующим функциям ошибок.

$$\min\{\varepsilon_{cao}(\alpha)\} = \varepsilon_{cao}(\alpha_m^*), \quad \min\{\varepsilon_{cko}(\alpha)\} = \varepsilon_{cko}(\alpha_m^{**}). \quad (5)$$

Для иллюстрации метода выбора константы сглаживания α воспользуемся данными торгового предприятия «Молочные продукты» за 2004 г. по продукту «Десерт творожный Ромол 200 г. 7.5% Танюша пл/ст», представленными в таблице.

Чтобы проверить, насколько точно полученный прогноз соответствует реальной ситуации, необходимо сравнить полученные результаты с данными, полученными при нахождении минимума функциональных зависимостей САО и СКО от константы сглаживания α и ошибки первоначального прогноза Δ .

Для определения прогнозного значения объема продаж товара в январе 2005г. воспользуемся инструментальными средствами MS Excel. Для этого вначале определяем тренд, наилучшим образом аппроксимирующий фактические данные.

Таблица 1

Динамика изменения объема продаж товара «Десерт творожный Ромол 200г 7.5% Танюша пл/ст» торгового предприятия «Молочные продукты» за 2004г.

Период	Обозначение	Количество продаж	Объем продаж (грн)	Относительное количество продаж
Январь	F_1	535	1121,25	1
Февраль	F_2	576	1236,92	1,077
Март	F_3	582	1278,14	1,088
Апрель	F_4	664	1453,79	1,241
Май	F_5	749	1638,88	1,4
Июнь	F_6	835	1824,81	1,56
Июль	F_7	870	1897,33	1,626
Август	F_8	1073	2339,04	2
Сентябрь	F_9	1097	2490,68	2,05
Октябрь	F_{10}	1116	2734,69	2,086
Ноябрь	F_{11}	1244	3049,62	2,325
Декабрь	F_{12}	1073	2807,08	2,006
Январь 2005г.	F_{13}	1045	2775,2	1,953

Для расчета тренда используем опцию «Линия тренда» MS Excel. При этом воспользуемся полиномиальным трендом, имеющим гораздо более высокий коэффициент детерминации, чем линейный тренд, что позволит сократить ошибку прогнозной модели. При помощи аппроксимирующей (сглаженной) кривой получим прогноз на следующий период (рис. 1). Согласно этому прогнозу объем продаж в январе 2005г. составит 912.

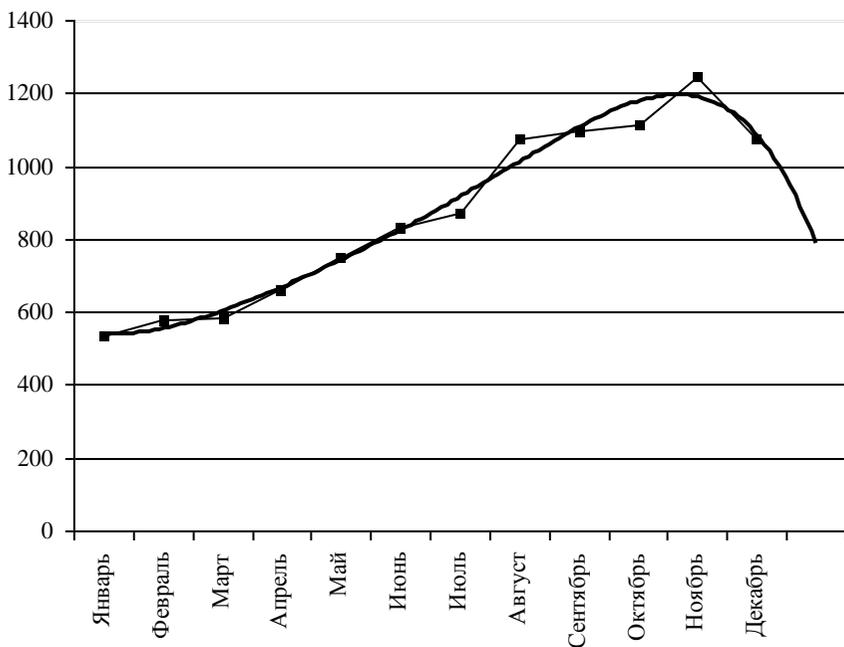


Рис. 1. Динамика изменения объема продаж товара

Проанализировав графики зависимостей САО и СКО от константы сглаживания α и от ошибки первоначального прогноза Δ , можно сделать вывод, что данные модели хорошо аппроксимируют фактические данные и их использование обеспечивает составление прогнозов с высокой степенью достоверности.

С учетом того, что моделируемая функция в рассматриваемом примере известна, то вычисленная ошибка прогноза составляет $\Delta=7.85\%$, что является вполне удовлетворительным, с точки зрения прогноза продаж.

Прогнозные значения объема продаж товара в январе 2005г. предлагается определять методом экспоненциального сглаживания.

Функция зависимости прогнозного значения от константы сглаживания α и от ошибки первоначального прогноза Δ представлена на рис.2.

Построим графики зависимостей оценок ошибок прогнозирования $\varepsilon_{сао}(\alpha, \Delta)$, и $\varepsilon_{ско}(\alpha, \Delta)$ от константы сглаживания α и от ошибки первоначального прогноза Δ .

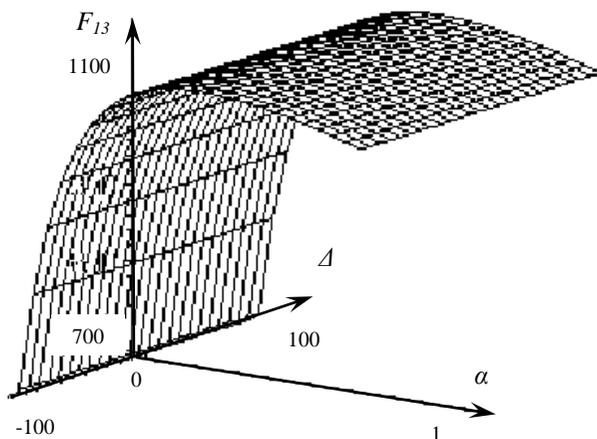


Рис. 2. Функция зависимости прогнозного значения от константы сглаживания и от первоначальной ошибки прогноза

Как видно из рис. 3, функция $\varepsilon_{cao}(\alpha)$, достигает своего наименьшего значения при $\alpha = 0,915$. Составим прогноз на январь 2005г. и сравним его с фактическими данными продаж. При данном значении α прогноз будет равняться 1086, а ошибка прогноза составит 3,98%.

В то же время, функция $\varepsilon_{cko}(\alpha)$ достигает своего минимума при $\alpha = 0,977$. При данном значении α прогноз будет равняться 1076, а ошибка прогноза составит 3,049 %. Сравним полученные данные с результатами, полученными при составлении прогноза на следующий период путем использования аппроксимирующей (сглаженной) кривой в тренде, получаемом в результате применения опции «Линия тренда» в MS Excel.

Представим полученные результаты в виде таблицы 2.

Таблица 2

Сравнительная таблица ошибок прогнозирования для различных методов

Метод прогнозирования	$\min \varepsilon_{cao}(\alpha)$	$\min \varepsilon_{cko}(\alpha)$	Тренд MS Excel
α	$\alpha_m^* = 0,977$	$\alpha_m^{**} = 0,915$	–
Прогноз F_{13}	1076	1086	912
Абсолютная ошибка прогноза	31	41	133
Относительная ошибка прогноза (%)	3,05	3,98	7,86

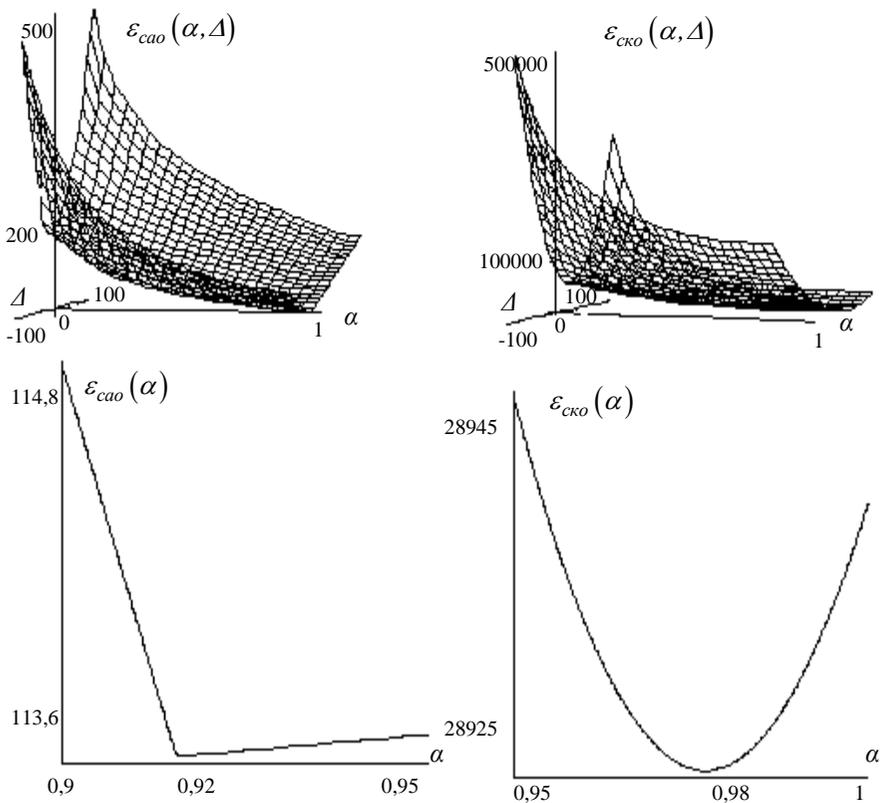


Рис. 3. Графики зависимостей ошибок прогнозирования $\varepsilon_{cao}(\alpha)$, и $\varepsilon_{cko}(\alpha)$ от константы сглаживания α и от ошибки первоначального прогноза Δ

Альтернативно выбор α_t для текущего прогноза предлагается осуществлять методом экстраполяции значений α , вычисленных для предыдущих временных периодов, путем решения обратной задачи.

Особенностью предлагаемого подхода по сравнению с [2] является включение в прогнозную модель ошибки прогноза $-\Delta F_t$ и поиск ее минимальной величины для случаев, когда решение обратной задачи не дает в спектре решений степенного уравнения (2) значений α , удовлетворяющих допустимой области.

Определение α_t и ΔF_t может быть осуществлено как в аналитическом виде, путем решения уравнения $F_{t-i}(\alpha_t) = A_{t-i}(\alpha_t)$, так и

графоаналитическим способом по месту пересечения зависимости $F_{t-i}(\alpha)$, и $A_{t-i}(\alpha)$ на интервале $[0, 1]$, рис. 4. При отсутствии такого пересечения определяется минимальная ошибка прогноза $\min \Delta F_t$ из уравнения

$$\min \Delta F_t = F_{t-i}(\alpha_i) - \max_{0 < \alpha < 1} A_{t-i}(\alpha).$$

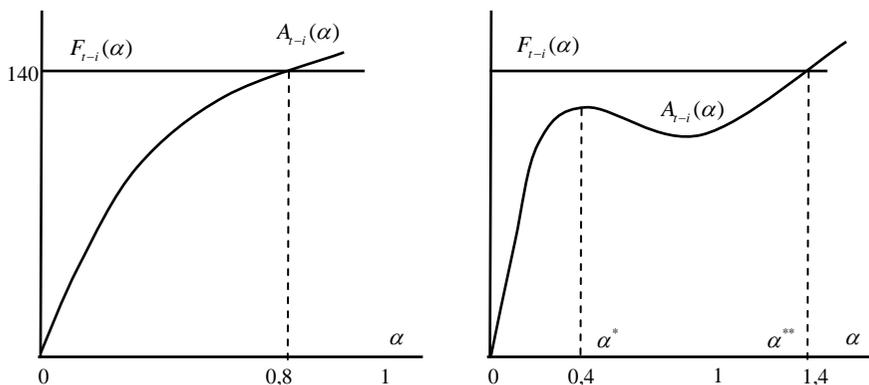


Рис. 4. Графоаналитический метод определения константы сглаживания

Определив значения α_i для всех прошлых значений временного ряда, можно путем аппроксимации определить значение α для прогноза на следующий период времени (рис. 5).

Выводы. Величина ошибки прогноза $\min \Delta F_t$ может служить мерой адекватности (возможной погрешности) применения метода экспоненциального сглаживания для конкретного временного ряда прогнозируемого процесса.

Вместе с тем, может быть рассмотрен вопрос о целесообразности выбора константы сглаживания из более широкого диапазона (рис. 4) для обеспечения более точного прогноза для определенных процессов.

Предложенная процедура реализована инструментальными средствами интегрированного математического пакета MAPLE, обеспечивающего все аналитические вычисления и необходимые средства визуализации.

Все необходимые, согласно рассматриваемой процедуре, аналитические вычисления и графические построения выполнены с использованием инструментальных средств интегрированного математического пакета MAPLE.

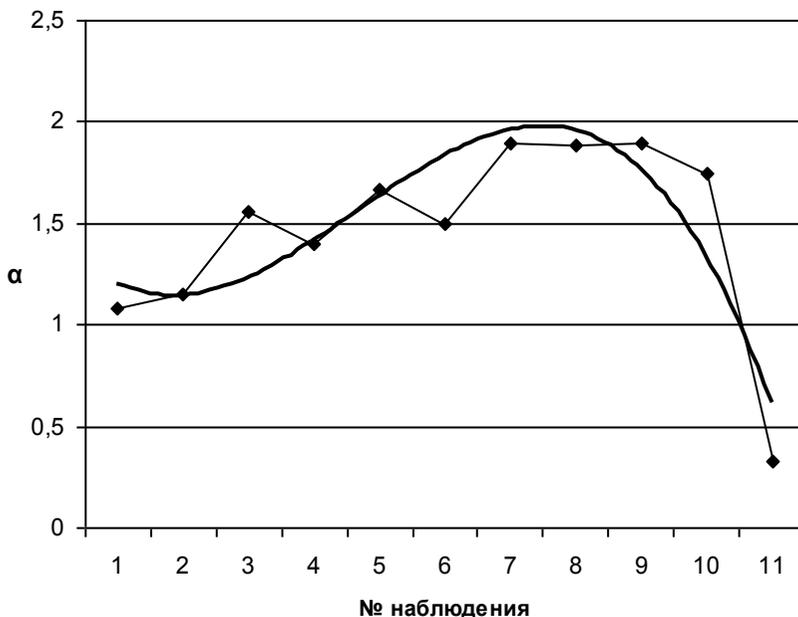


Рис. 5. Аппроксимация значений константы сглаживания, полученных путем решения обратной задачи прогнозирования

Заключение. Проведенные расчеты позволяют сделать вывод о работоспособности предложенной процедуры определения константы сглаживания.

Величины полученных прогнозных ошибок позволяют говорить о том, что построенные модели хорошо аппроксимируют фактические данные, т.е. вполне адекватно отражают экономические тенденции, определяющие объем продаж, и является предпосылкой для построения прогнозов с высокой достоверностью.

Список литературы: 1. *Четыркин Е.М.* Статистические методы прогнозирования. 2-е изд., перераб. и доп. // М.: Статистика, 1997. 2. *Вартамян В.М., Федоренко Н.М.* Графоаналитический метод выбора константы сглаживания в моделях временных серий. // Научный вісник Чернівецького торгово-економічного інституту КНТЕУ.: Матеріали XIII міжнар. наук. – практ. конф. (9-10 квітня 2002 року, Чернівці): - Чернівці: - 2002. – Вип. II. Економічні науки. – Ч. II. – С. 202-206. 3. *Вартамян В.М., Кононенко А.В.* Метод определения константы сглаживания в прогнозной модели продаж. // Вестник НТУ „ХПИ”. Сб. научн. тр. „Системний аналіз, управління и інформаційні технології” – Х.: НТУ „ХПИ”. – 2005.- № 41. С. 67-70. 3.

Поступила в редколлегию 15.11.05

А.С. КУЦЕНКО, д-р. техн. наук, *Т.Б. НИКИТИНА*, канд. техн. наук.

УТОЧНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НЕЛИНЕЙНЫХ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ КАНАЛОВ МНОГОКАНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ СИНТЕЗЕ

Розроблена методика уточнення параметрів нелінійних оптимальних регуляторів багатоканальних систем, синтезованих при послідовному синтезі по критеріях оптимальності окремих каналів, з метою зменшення величини критерію оптимальності багатоканальної системи наближаючись до глобального мінімуму. Приведений приклад застосування розробленої методики для синтезу двоканальної системи, що стежить.

Применение многоканальных систем, работающих по принципу грубого и точного управления, в ряде случаев позволяет получать точность, недостижимую в одноканальных системах. Дальнейшее повышение точности в таких системах сдерживается наличием нелинейных элементов. Одним из подходов к решению этой проблемы является аппроксимация нелинейной характеристики аналитическим выражением и использование нелинейной модели исходной многоканальной системы. В работе [1] рассмотрены вопросы синтеза одноканальных систем с аналитическими нелинейностями при цифровом управлении. В работах [2-4] этот подход применен к последовательному синтезу оптимальных регуляторов отдельных каналов многоканальной системы.

Целью данной работы является разработка методики уточнения параметров регуляторов каналов, синтезированных в ходе последовательного синтеза оптимальных регуляторов отдельных каналов с целью уменьшения значения глобального критерия оптимизации, характеризующего точность многоканальной нелинейной системы.

При работе многоканальных систем в реальных условиях отработки задающих либо компенсации возмущающих воздействий, требующих движения исполнительных механизмов многоканальных систем на малых скоростях нередко возникают скачкообразные движения, остановки, автоколебания и т.д., хотя при синтезе системы условия устойчивости заведомо выполнялись [5]. Это связано с тем, что при синтезе системы использовались линейные модели каналов и идеализированная характеристика модели трения в виде знаковой характеристики от скорости движения. Однако при движении на низких и сверхнизких – ползучих скоростях наблюдается падающий участок в характеристике внешнего трения так, что с увеличения скорости движения момент сопротивления уменьшается [6]. Наличие такого падающего участка в характеристике внешнего трения характерно при движении на низких скоростях, как при

вращательном, так и при поступательном движении. При увеличении скорости движения падающий участок переходит в горизонтальный.

Для многих механизмов работа на падающем участке может приводить к возникновению автоколебаний, и такой режим является аварийным. Для других механизмов такой режим является нормальным, хотя и приводит к повышенному износу. В системах стабилизации и промышленных следящих системах неплавное движение вызывает ухудшение качества выпускаемой продукции. Так, например, в процессе прокатки многоканальная система регулирования геометрических параметров проката определяет точность поддержания толщины готового проката. Однако в режиме захвата полосы при заправочной скорости проскальзывание валков относительно прокатываемой полосы может привести к серьезным авариям.

Таким образом, при синтезе многоканальных систем необходимо при работе на малых скоростях учитывать наличие падающего участка в характеристике внешнего трения, что обуславливает положительную обратную связь в системе. Однако при работе на больших скоростях целесообразно учитывать горизонтальный и восходящий участки в характеристике внешнего трения, так как системы, синтезированные с учетом падающего участка в линейном приближении при работе с большой скоростью на горизонтальном и восходящем участках обладают излишней инерционностью. С этой целью аппроксимируем нелинейную зависимость момента сопротивления от скорости проскальзывания аналитическим выражением в виде степенного ряда от скорости проскальзывания и при этом исходная система становится нелинейной.

Рассмотрим нелинейную многоканальную систему, состоящую из m автономных нелинейных каналов, каждый j канал которой описывается уравнением состояния

$$\frac{d\bar{x}_j}{dt} = \Phi_j(\bar{x}_j(t), \bar{u}_j(t)), \quad (1)$$

$$\bar{y}_j(t) = \varphi_j(\bar{x}_j(t), \bar{u}_j(t)), \quad (2)$$

в котором векторные функции $\Phi_j(\bar{x}_j(t), \bar{u}_j(t))$, $\varphi_j(\bar{x}_j(t), \bar{u}_j(t))$ могут быть представлены в следующем виде

$$\Phi_j(\bar{x}_j(t), \bar{u}_j(t)) = A_j \bar{x}_j(t) + B_j \bar{u}_j(t) + \sum_{i=2}^n f_i(\bar{x}_j(t), \bar{u}_j(t)), \quad (3)$$

$$\varphi_j(\bar{x}_j(t), \bar{u}_j(t)) = C_j \bar{x}_j(t) + D_j \bar{u}_j(t) + \sum_{i=2}^n h_i(\bar{x}_j(t), \bar{u}_j(t)), \quad (4)$$

где символ i указывает порядок формы от векторов состояния $\bar{x}_j(t)$ и управления $\bar{u}_j(t)$.

Введем вектор состояния многоканальной нелинейной системы $\bar{x}(t)$, компонентами которого являются векторы i -х каналов $\bar{x}_j(t)$ входящих в систему, и вектор управления $\bar{u}(t)$, компонентами которого являются векторы управления $\bar{u}_j(t)$ каналов, входящих в систему. Тогда уравнения состояния многоканальной нелинейной системы может быть записано в следующем виде:

$$\frac{d\bar{x}}{dt} = \Phi(\bar{x}(t), \bar{u}(t)), \quad (5)$$

$$\bar{y}(t) = \varphi(\bar{x}(t), \bar{u}(t)), \quad (6)$$

в котором векторные функции $\Phi(\bar{x}(t), \bar{u}(t))$, $\varphi(\bar{x}(t), \bar{u}(t))$ могут быть представлены в следующем виде

$$\Phi(\bar{x}(t), \bar{u}(t)) = A\bar{x}(t) + B\bar{u}(t) + \sum_{i=2}^n f_i(\bar{x}(t), \bar{u}(t)), \quad (7)$$

$$\varphi(\bar{x}(t), \bar{u}(t)) = C\bar{x}(t) + D\bar{u}(t) + \sum_{i=2}^n h_i(\bar{x}(t), \bar{u}(t)), \quad (8)$$

где символ i указывает порядок формы от векторов состояния $\bar{x}(t)$ и управления $\bar{u}(t)$.

Задачу синтеза оптимального управления $\bar{u}(t)$ нелинейной многоканальной системы, минимизирующей функционал

$$J = \int_0^{\infty} \psi(\bar{x}(t), \bar{u}(t)) dt, \quad (9)$$

в предположении, что функция $\psi(\bar{x}(t), \bar{u}(t))$ является аналитической и разлагается в степенной ряд

$$\psi(\bar{x}(t), \bar{u}(t)) = \sum_{i=2}^{n+1} \psi_i(\bar{x}(t), \bar{u}(t)), \quad (10)$$

сведем к оптимальному управлению $\bar{u}(t)$ в форме обратных связей по полному вектору состояния

$$\bar{u}(t) = \sum_{i=1}^n \bar{u}_i(\bar{x}(t)). \quad (11)$$

Введем функцию Ляпунова

$$V(\bar{x}(t)) = \sum_{i=2}^{n+1} V_i(\bar{x}(t)). \quad (12)$$

Тогда минимум критерию (8) обеспечивает оптимальное управление (10), образующее систему уравнений Гамильтона-Якоби-Беллмана [1]:

$$\Phi^T(\bar{x}(t), \bar{u}(t)) \frac{\partial V(\bar{x}(t))}{\partial \bar{x}(t)} + \psi(\bar{x}(t), \bar{u}(t)) = 0, \quad (13)$$

$$\frac{\partial \Phi^T(\bar{x}(t), \bar{u}(t))}{\partial \bar{u}(t)} \frac{\partial V(\bar{x}(t))}{\partial \bar{x}(t)} + \frac{\partial \psi(\bar{x}(t), \bar{u}(t))}{\partial \bar{u}(t)} = 0. \quad (14)$$

При последовательном синтезе вначале синтезируем оптимальное управление для первого канала предполагая, что второй и все последующие каналы отключены. Рассмотрим задачу синтеза оптимального управления $\bar{u}_1(t)$ первого канала, минимизирующего функционал

$$J_1 = \int_0^{\infty} \psi_1(\bar{x}_1(t), \bar{u}_1(t)) dt, \quad (15)$$

Предполагается, что функция $\psi_1(\bar{x}_1(t), \bar{u}_1(t))$ является аналитической и разлагается в степенной ряд

$$\psi_1(\bar{x}_2(t), \bar{u}_1(t)) = \sum_{i=2}^{n+1} \psi_i(\bar{x}_1(t), \bar{u}_1(t)). \quad (16)$$

Оптимальное управление $\bar{u}_1(t)$ первого канала в форме обратных связей по полному вектору состояния

$$\bar{u}_1(t) = \sum_{i=1}^n \bar{u}_i(\bar{x}_1(t)) \quad (17)$$

определим из уравнения Гамильтона - Якоби - Беллмана [3]:

$$\Phi_1^T(\bar{x}_1(t), \bar{u}_1(t)) \frac{\partial V_1(\bar{x}(t))}{\partial \bar{x}_1(t)} + \psi_1(\bar{x}_1(t), \bar{u}_1(t)) = 0, \quad (18)$$

$$\frac{\partial \Phi_1^T(\bar{x}_1(t), \bar{u}_1(t))}{\partial \bar{u}_1(t)} \frac{\partial V_1(\bar{x}(t))}{\partial \bar{x}_1(t)} + \frac{\partial \psi_1(\bar{x}_1(t), \bar{u}_1(t))}{\partial \bar{u}_1(t)} = 0, \quad (19)$$

где введена функция Ляпунова первого канала

$$V_1(\bar{x}(t)) = \sum_{i=2}^{n+1} V_i(\bar{x}_1(t)). \quad (20)$$

Решение уравнения (18 – 19) для нахождения оптимального управления первого канала (17) является существенно более простой задачей по сравнению с решением исходного уравнения (13 – 14) для нахождения оптимального управления многоканальной системы (11), во-первых, в связи с существенно меньшей размерностью решаемой задачи по сравнению с исходной задачей и, во-вторых, в связи с тем, что собственные значения матрицы состояния решаемой задачи компактно расположены вблизи одной области. Это, в частности, обусловлено тем, что математические модели

отдельных каналов имеют наиболее простые описания, адекватные в рабочем диапазоне частот, а математическая модель многоканальной системы содержит описание всех каналов.

После того, как синтезировано оптимальное управление первого канала, сформируем эквивалентное возмущающее и задающее воздействия для второго канала. В частности, в следящей системе эквивалентным задающим воздействием для второго канала является ошибка отработки задающего воздействия с помощью первого канала с учетом компенсации возмущающего воздействия, действующего на первый канал. Тогда, полагая, что оптимальный регулятор первого канала при синтезе оптимального управления второго канала не изменяется, получим оптимальное управление для второго канала. Аналогично может быть синтезировано оптимальное управление для третьего и последующих каналов.

Фактически при последовательном синтезе оптимальных регуляторов отдельных каналов выполняется декомпозиция синтеза оптимального регулятора многоканальной системы на ряд подзадач синтеза оптимальных регуляторов отдельных каналов. Естественно, что в результате синтеза регуляторов отдельных каналов минимизируется ошибка системы, включающей все предыдущие каналы за счет наиболее полного использования энергетических и информационных возможностей синтезируемого канала. Однако после такой процедуры последовательного синтеза отдельных каналов имеется возможность улучшения точности многоканальной системы в целом.

Такой эффект, в частности, имел место при параметрической оптимизации двухканальной электромеханической следящей системы [5-6]: оптимальная полоса пропускания первого канала из условия минимума дисперсии ошибки одноканальной системы составляет 20 рад/с, а при параметрической оптимизации двухканальной системы по критерию минимума дисперсии двухканальной системы оптимальная полоса пропускания первого канала становится равной 6 рад/с, при оптимальной полосе пропускания второго точного канала 50 рад/с.

Аналогичная ситуация имеет место при параметрической оптимизации многоканальной системы автоматического регулирования толщины и профиля прокатываемой полосы на реверсивном стане холодной прокатки [5]. Повышение полосы пропускания электрогидравлического привода распора рабочих валков в одноканальной системе приводит к снижению продольной разнотолщинности за счет эффекта локального предварительного напряжения прокатной клети. Однако при работе двухканальной системы автоматического регулирования толщины необходимо уменьшить полосу пропускания канала электрогидравлического привода распора рабочих валков, так как на вход канала электрогидравлического привода распора опорных валков поступает сигнал, пропорциональный эксцентриситету

рабочих валков, являющийся помехой косвенного изменения толщины полосы по давлению в гидроцилиндрах распора рабочих валков.

Еще одним примером такой ситуации является процесс регулирования толщины полосы на многоклетевом стане холодной прокатки [5-6]. Синтез оптимальных регуляторов на этапе последовательного синтеза начиная с первой клетки приводит к тому, что при минимизации дисперсии продольной разнотолщинности на первой клетки синтез оптимального регулятора второй клетки приводит к большей дисперсии продольной разнотолщинности, чем при одновременном синтезе оптимальных операторов обеих клеток. Значение дисперсии продольной разнотолщинности на первой клетки имеет большее значение, чем при синтезе оптимального регулятора первой клетки. Это происходит потому, что при последовательном синтезе оптимального регулятора первой клетки в прокатную полосу впечатываются эксцентриситеты опорных и рабочих валков, которые потом с помощью оптимального регулятора второй клетки не удастся компенсировать в полной мере в связи с энергетическими и информационными ограничениями второго канала. С этой целью быстрдействие регулятора первой клетки снижают так, чтобы можно было скомпенсировать разнотолщинность полосы, но не впечатывать в полосу эксцентриситеты опорных и рабочих валков первой клетки, являющихся эквивалентными «шумами» регулятора первой клетки. Заметим, что фактически регулятор толщины полосы прокатной клетки представляет собой многоканальную систему, включающую регулирование положения нажимных винтов, регулирование давления в гидрораспорах опорных валков, регулирование переднего и заднего натяжений полосы, скоростной асимметрии за счет регулируемой разности вращения верхнего и нижнего валков и т.д.

При синтезе оптимальных регуляторов отдельных каналов оптимальное управление (17) представляет собой жесткие обратные связи по полному вектору состояния только синтезируемого канала. Оптимальный регулятор многоканальной системы (11) представляет обратные связи по полному вектору состояния многоканальной системы, включающей вектора состояния всех каналов, входящих в систему. При этом управление любого канала формируется на основании компонент вектора состояния многоканальной системы и, естественно, в такой постановке может быть достигнута меньшая величина ошибки многоканальной системы, чем при формировании управлений каждого канала на основании вектора состояния только этого канала. Следует заметить, что в многоканальной системе за счет взаимосвязей между каналами на вход каждого i -го канала поступает ошибка отработки задающего и компенсации возмущающего воздействий с помощью $(i - 1)$ канальной системы, т.е. управление i -м каналом формируется на основании сигналов работы всех предыдущих каналов.

Кроме того, при последовательном синтезе оптимального регулятора отдельного i -го канала минимизируется ошибка i канальной системы при наиболее полном использовании с этой целью усилительных и исполнительных устройств i -го канала. Эта задача решается путем надлежащего выбора весовых функций $\psi(\bar{x}(t), \bar{u}(t))$ в критерии качества (15). Фактически необходимо решить задачу условной оптимизации, при которой минимизируется интегральный критерий качества i -го канала

$$J_i = \int_0^{\infty} \varepsilon_i(\bar{x}_{j_r}(t), \bar{x}_{j_r}(t), \bar{x}_{j_d}(t)) dt, \quad (21)$$

характеризующий лишь ошибки $\varepsilon_i(t)$ обработки i канальной системой задающего $j_{ir}(t)$ и компенсации возмущающего $y_{id}(t)$ воздействий с помощью i канальной системы. При этом необходимо учитывать ограничения на управление i -го канала $u_i(t)$ и компоненты вектора состояния $\bar{x}_i(t)$, например, в виде ограничений

$$|u_i(t)| \leq u_{i\max}, \quad (22)$$

$$|\bar{x}_i(t)| \leq \bar{x}_{i\max}, \quad (23)$$

а, возможно, на управление и переменные состояния могут быть наложены интегральные ограничения

$$\int_0^{\infty} u_i^e(t) dt \leq u_{i\max}^e, \quad (24)$$

$$\int_0^{\infty} \bar{x}_i^e(t) dt \leq \bar{x}_{i\max}^e. \quad (25)$$

В частности, так можно учесть ограничения по нагреву, расходу топлива, энергии и т.д.

Эта задача может быть сведена к решению исходной задачи надлежащим выбором подынтегральной функции $\psi(\bar{x}(t), \bar{u}(t))$.

Естественно, что минимум ошибки многоканальной системы при оптимизации по критерию (9) может быть существенно меньше, чем при последовательном синтезе отдельных каналов по критериям (15). Поэтому после первой итерации синтеза оптимальных регуляторов всех каналов, входящих в многоканальную систему можно добиться некоторого улучшения глобального критерия (9) следующей процедурой.

Необходимым условием оптимальности глобального критерия (9) для оператора i -го канала, синтезированного на этапе последовательного

оптимального синтеза, является равенство двойственных оценок глобального критерия (9) по управлению для всех каналов, входящих в систему

$$\left. \frac{\partial I(\varepsilon)}{\partial u_i} \right|_{W_1} = \left. \frac{\partial I(\varepsilon)}{\partial u_i} \right|_{W_2} = \dots = \left. \frac{\partial I(I)}{\partial u_i} \right|_{W_n}. \quad (26)$$

Это условие является следствием теоремы двойственности, устанавливающей необходимое условие глобального оптимума при автономном синтезе отдельных каналов.

В данной задаче роль двойственных оценок могут играть соответствующие элементы матрицы частных производных функции Ляпунова $\frac{\partial V(\bar{x}(t))}{\partial \bar{x}(t)}$.

Естественно, что при синтезе оптимальных регуляторов отдельных каналов на этапе оптимального последовательного синтеза двойственные оценки (26) могут быть различны. Тогда для уменьшения величины глобального критерия (9) можно перераспределить часть управления.

Для реализации управления (11) необходим полный вектор состояния $\bar{x}(t)$. Для исходной нелинейной системы (5-6) построим нелинейный наблюдатель, восстанавливающий вектор состояния системы по измеряемому вектору выхода $\bar{y}(t)$.

$$\frac{d\bar{x}(t)}{dt} = \Phi_H(\bar{x}(t), \bar{u}(t), \bar{y}(t)), \quad (27)$$

в котором нелинейная векторная функция $\Phi_H(\bar{x}(t), \bar{u}(t), \bar{y}(t))$ может быть представлена в виде ряда

$$\Phi_H(\bar{x}(t), \bar{u}(t), \bar{y}(t)) = A_H \bar{x}(t) + B_H \bar{u}(t) + G_H \bar{y}(t) + \sum_{i=2}^n f_{Hi}(\bar{x}(t), \bar{u}(t), \bar{y}(t)), \quad (28)$$

где символ i указывает порядок формы от векторов состояния $\bar{x}(t)$, управления $\bar{u}(t)$ и измерения $\bar{y}(t)$.

При последовательном синтезе можно построить автономные наблюдатели отдельных каналов, так как для реализации оптимального управления каждым каналом необходим полный вектор состояния каждого канала $\bar{x}_1(t)$. Построим нелинейный наблюдатель каждого канала

$$\frac{d\bar{x}_1(t)}{dt} = \Phi_{1H}(\bar{x}_1(t), \bar{u}_1(t), \bar{y}_1(t)), \quad (29)$$

в котором нелинейная векторная функция $\Phi_{1H}(\bar{x}_1(t), \bar{u}_1(t), \bar{y}_1(t))$ может быть представлена в виде ряда

$$\Phi_{1H}(\bar{x}_1(t), \bar{u}_1(t), \bar{y}_1(t)) = A_{1H} \bar{x}_1(t) + B_{1H} \bar{u}_1(t) + G_{1H} \bar{y}_1(t) + \sum_{i=2}^n f_{1Hi}(\bar{x}_1(t), \bar{u}_1(t), \bar{y}_1(t)), \quad (30)$$

При перераспределении ресурсов между каналами и уточнении параметров каналов необходимо на каждой итерации уточнять и параметры наблюдателей каналов.

Применение данного подхода при синтезе двухканальной следящей системы [5] позволило уменьшить дисперсию ошибки двухканальной системы на 20% несмотря на то, что дисперсия одноканальной системы при этом увеличилась на 4%. Эффект нелинейных регуляторов при управлении нелинейными системами проявляется в том, что при малых скоростях движения когда система находится на падающем участке характеристики внешнего трения в управлении в основном превалируют линейные составляющие переменных состояния, обеспечивая хорошее демпфирование системы при наличии в ней внутренней положительной обратной связи за счет падающего участка характеристики внешнего трения. По мере увеличения скорости движения и переходе системы на горизонтальный участок характеристики внешнего трения в системе увеличивается внутреннее демпфирование, а демпфирование системы с помощью обратных связей линейных составляющих регулятора уменьшается за счет обратных связей по квадратичным составляющим переменных состояния. За счет такого нелинейного регулирования достигается повышение быстродействия системы при работе на горизонтальном участке характеристики внешнего трения при высоком демпфировании системы при ее работе на падающем участке характеристики внешнего трения.

Таким образом, разработана методика уточнения параметров нелинейных оптимальных регуляторов, синтезированных при последовательном синтезе по критериям оптимальности отдельных каналов, с целью уменьшения величины критерия оптимальности многоканальной системы приближаясь к глобальному минимуму.

Список литературы: 1. *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. 2. *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. 3. *Никитина Т.Б.* Приближенно – оптимальный синтез многоканальных систем с аналитическими нелинейностями.// Механіка та машинобудування. -2005. - №1. - С. 47-52. 4. *Никитина Т.Б.* Синтез многоканальных нелинейных электромеханических систем. //Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Харьков. НТУ «ХПИ». – 2005. - №45. - С. 130 – 131. 5. *Кузнецов Б.И., Новоселов Б.В., Богаенко И.Н.* Проектирование многоканальных систем оптимального управления.// Киев. Техника. - 1993. - 242с. 6. *Кузнецов Б.И., Новоселов Б.В., Богаенко И.Н.* Проектирование систем со сложными кинематическими цепями.//.-Киев. Техника. - 1996. - 282 с.

Поступила в редколлегию 02.12.05

Л.Г. РАСКИН, д-р техн. наук, НТУ «ХПИ» (г. Харьков),
П.Е. ПУСТОВОЙТОВ, канд. техн. наук, НТУ «ХПИ» (г. Харьков),
ЭЛЬ САЕД АБДЕЛААЛ ЭЛЬ САЕД МОХАМЕД, аспирант.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ С ПОТОКОМ ГРУППОВЫХ ЗАЯВОК И НЕОГРАНИЧЕННОЙ ОЧЕРЕДЬЮ

У роботі запропоновано методику оцінки ефективності комп'ютерної мережі, на вхід якої подається суперпозиція потоків групових заявок. Із використанням марковської моделі функціонування системи було отримано аналітичні співвідношення для розрахунку імовірностей станів системи. Розглянуто зразок використання методу.

Введение. Анализ литературы. Во многих реальных корпоративных компьютерных системах передача данных от периферийных узлов к центральному организована путем последовательного установления сеансов связи при поочередном их опросе. При этом количество сообщений, накопленных для передачи в каждом интеллектуальном узле к моменту опроса, является случайным. В соответствии с этим случайными являются продолжительность сеансов, а также моменты поступления возникающих «групповых заявок» на центральный узел. Если интенсивности передачи данных от разных оконечных узлов приблизительно одинаковы, то, в соответствии с известной теоремой Гермейера [1], можно считать, что поток групповых заявок является пуассоновским с некоторой интенсивностью, рассчитываемой суммированием интенсивностей потоков, образующих суперпозицию.

Корректный математический анализ систем обслуживания с групповым поступлением заявок в известной нам литературе не проводился. Поэтому представляет теоретический и практический интерес разработка модели, описывающей процесс функционирования такой системы с целью оценки ее эффективности.

Постановка задачи. Рассмотрим одноканальную систему обслуживания, на вход которой поступает пуассоновский поток групповых заявок с известной интенсивностью и известным распределением числа заявок в группе. Если в момент поступления групповой заявки канал системы обслуживания свободен, то он начинает обслуживание одной из заявок, а остальные становятся в очередь. Если же канал занят, то все заявки в группе становятся в очередь, в которой ждут начала обслуживания.

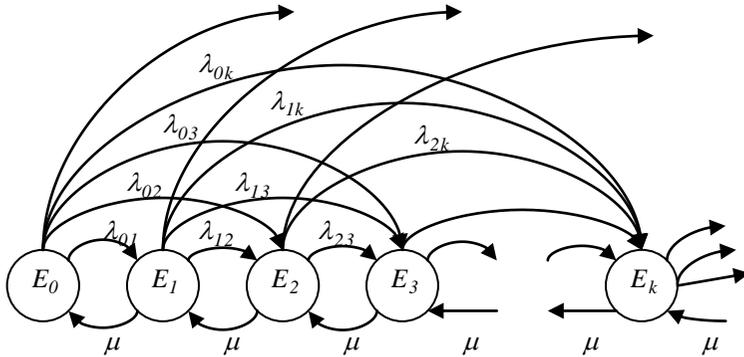
Введем необходимые обозначения. Пусть

λ - интенсивность пуассоновского потока групповых заявок, поступающего на вход одноканальной системы;

μ - интенсивность обслуживания.

Зададим распределение числа заявок в группе $\{p_k\} = (p_1, p_2, \dots, p_k, \dots)$,
 p_k - вероятность того, что в группе ровно k заявок.

Основные результаты. Введем $Q(t)$ - число требований в системе в момент t . Опишем эволюцию $Q(t)$ марковской цепью с непрерывным временем, граф состояний которой приведен на рисунке.



Граф состояний и переходов системы с групповыми заявками

Интенсивности переходов в этой системе определяются соотношением

$$\lambda_{ij} = \begin{cases} \lambda p_{j-i}, & j > i, \\ \mu, & j = i-1, \\ 0, & j < i-1. \end{cases}$$

Используя уравнения А.Н. Колмогорова [2], получим систему линейных алгебраических уравнений относительно стационарного распределения $\{\pi_k\}$ вероятностей состояний системы:

$$\left\{ \begin{array}{l} \mu\pi_1 - \pi_0 \sum_{S=1}^{\infty} \lambda_{0S} = \mu\pi_1 - \pi_0 \lambda \sum_{S=1}^{\infty} p_k = \mu\pi_1 - \lambda\pi_0 = 0, \\ \lambda_{01}\pi_0 + \mu\pi_2 - \pi_1 \left(\mu + \sum_{S=2}^{\infty} \lambda_{1S} \right) = p_1\lambda\pi_0 + \mu\pi_2 - \pi_1(\mu + \lambda) = 0, \\ \dots \\ \lambda_{0k}\pi_0 + \lambda_{1k}\pi_1 + \dots + \lambda_{k-1,k}\pi_{k-1} + \mu\pi_{k+1} - \pi_k \left(\mu + \sum_{S=k+1}^{\infty} \lambda_{kS} \right) = \\ = \lambda \sum_{i=0}^{k-1} \pi_i p_{k-i} + \mu\pi_{k+1} - \pi_k(\mu + \lambda), \\ \dots \end{array} \right.$$

Уравнения полученной системы удобно переписать следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda \pi_0 = \mu \pi_1, \\ (\lambda + \mu) \pi_1 = \mu \pi_2 + \lambda \sum_{i=0}^0 \pi_i p_{1-i}, \\ \dots \\ (\lambda + \mu) \pi_k = \mu \pi_{k+1} + \lambda \sum_{i=0}^{k-1} \pi_i p_{k-i}, \\ \dots \end{array} \right. \quad (1)$$

Понятно, что характер искомого распределения $\{\pi_k\}$ определяется видом распределения $\{p_k\}$. Для получения решения в общем случае введем производящую функцию [3] $P(z) = \sum_{k=0}^{\infty} \pi_k z^k$. Коэффициенты разложения этой функции по степеням z есть искомые вероятности π_k , $k=0,1,2,\dots$

Умножим левую и правую части уравнений (1) на z^k так, чтобы показатель степени k был равен номеру уравнения, и просуммируем их. При этом в результате суммирования слева получим

$$\begin{aligned} \Sigma_1 &= \lambda \pi_0 + (\lambda + \mu) \sum_{k=1}^{\infty} \pi_k z^k = (\lambda + \mu) \pi_0 + (\lambda + \mu) \sum_{k=1}^{\infty} \pi_k z^k - \mu \pi_0 = \\ &= -\mu \pi_0 + (\lambda + \mu) \sum_{k=1}^{\infty} \pi_k z^k = -\mu \pi_0 + (\lambda + \mu) P(z). \end{aligned} \quad (2)$$

Результат суммирования правых частей уравнений системы (1) имеет вид:

$$\Sigma_2 = \mu \sum_{k=1}^{\infty} \pi_k z^{k-1} + \lambda \sum_{k=1}^{\infty} z^k \sum_{i=0}^{k-1} \pi_i p_{k-i}. \quad (3)$$

Преобразуем выражение (3).

Во-первых,

$$\mu \sum_{k=1}^{\infty} \pi_k z^{k-1} = \frac{\mu}{z} \sum_{k=1}^{\infty} \pi_k z^k = \frac{\mu}{z} \sum_{k=1}^{\infty} (P(z) - \pi_0). \quad (4)$$

Кроме того, легко видеть, что если изменить порядок суммирования, то

$$\sum_{k=1}^{\infty} z^k \sum_{i=0}^{k-1} \pi_i p_{k-i} = \sum_{i=0}^{\infty} \pi_i z^i \sum_{k=i+1}^{\infty} z^{k-i} p_{k-i}.$$

Далее введем новый переменный индекс суммирования $s = k - i$. Тогда

$$\sum_{i=0}^{\infty} \pi_i z^i \sum_{k=i+1}^{\infty} z^{k-i} p_{k-i} = \sum_{i=0}^{\infty} \pi_i z^i \sum_{s=1}^{\infty} z^s p_s = P(z) \sum_{s=1}^{\infty} z^s p_s. \quad (5)$$

Теперь, объединяя (2) – (5), получим

$$-\mu\pi_0 + (\lambda + \mu)P(z) = \frac{\mu}{z}(P(z) - \pi_0) + \lambda P(z)R(z), \quad (6)$$

где

$$R(z) = \sum_{s=1}^{\infty} z^s p_s.$$

Решим уравнение (6) относительно $P(z)$:

$$P(z) = \frac{\mu\pi_0 - \frac{\mu}{z}\pi_0}{\lambda + \mu - \frac{\mu}{z} - \lambda R(z)} = \frac{\mu\pi_0(z-1)}{z(\lambda + \mu) - \mu - \lambda z R(z)}. \quad (7)$$

Соотношение (7) дает аналитическое выражение для производящей функции $P(z)$. Разлагая $P(z)$ в ряд Тейлора по степеням z , получим искомый набор $\{\pi_k\}$, $k=0,1,2,\dots$. Ясно, что численные значения вероятностей π_k , $k=0,1,2,\dots$ зависят от $R(z)$, то есть от распределения $\{p_k\}$, $k=1,2,\dots$. Вместе с тем, легко убедиться, что важнейшая характеристика эффективности рассматриваемой одноканальной системы – вероятность того, что система в произвольный момент времени свободна, не зависит от распределения $\{p_k\}$, а определяется только средним числом требований в группе. Покажем это.

В соответствии с условием нормировки

$$1 = \sum_{k=0}^{\infty} \pi_k = \lim_{z \rightarrow 1} \sum_{k=0}^{\infty} \pi_k z^k = \lim_{z \rightarrow 1} P(z) = \lim_{z \rightarrow 1} \frac{\mu\pi_0(z-1)}{z(\lambda + \mu) - \mu - \lambda z R(z)}. \quad (8)$$

Так как

$$\lim_{z \rightarrow 1} R(z) = \lim_{z \rightarrow 1} \sum_{s=1}^{\infty} z^s p_s = \sum_{s=1}^{\infty} p_s = 1,$$

то при $z \rightarrow 1$ в выражении (8) возникает неопределенность типа $\frac{0}{0}$.

Раскрывая ее по правилу Лопиталья, получим

$$1 = \frac{\mu\pi_0}{(\lambda + \mu) - \lambda R(1) - \lambda R'(1)} = \frac{\mu\pi_0}{\mu - \lambda R'(1)}. \quad (9)$$

С другой стороны, так как

$$R'(1) = \lim_{z \rightarrow 1} \frac{d}{dz} R(z) = \lim_{z \rightarrow 1} \sum_{s=1}^{\infty} s z^{s-1} P_s = \sum_{s=1}^{\infty} s p_s$$

есть среднее число требований в группе, то, обозначив его через m , после преобразования (9) имеем

$$\pi_0 = \frac{\mu - \lambda m}{\mu} = 1 - \alpha m, \quad \alpha = \frac{\lambda}{\mu}. \quad (10)$$

Полученный результат важен сам по себе. Вместе с тем, подставляя (10) в (7), получим окончательное выражение для производящей функции:

$$P(z) = \frac{\mu(1 - \alpha m)(z - 1)}{z(\lambda + \mu) - \mu - \lambda z R(z)}. \quad (11)$$

Рассмотрим простой пример использования (11) для расчета распределения вероятностей состояний системы. Пусть распределение $\{p_k\}$ числа требований в группе имеет вид $\left\{\frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}, \dots\right\}$.

Тогда

$$R(z) = \sum_{s=1}^{\infty} z^s \left(\frac{1}{2}\right)^s = \sum_{s=1}^{\infty} \left(\frac{z}{2}\right)^s = \frac{\frac{z}{2}}{1 - \frac{z}{2}} = \frac{z}{2 - z}.$$

При этом

$$\begin{aligned} P(z) &= \frac{\mu\pi_0(z - 1)}{z(\lambda + m) - \mu - \lambda \frac{z^2}{2 - z}} = \frac{\mu\pi_0(z - 1)(2 - z)}{z(2 - z)(\lambda + \mu) - \mu(2 - z) - \lambda z^2} = \\ &= \frac{\mu\pi_0(-z^2 + 3z - 2)}{-z^2(2\lambda + \mu) + z(2\lambda + 3\mu) - 2\mu} = \mu\pi_0 \frac{z^2 - 3z + 2}{z^2(2\lambda + \mu) - z(2\lambda + 3\mu) + 2\mu} = \\ &= \pi_0 \frac{z^2 - 3z + 2}{z^2(2\alpha + 1) - z(2\alpha + 3) + 2}. \end{aligned} \quad (12)$$

Разложение (12) в ряд Тейлора относительно точки $z = 0$ дает искомые вероятности состояний системы:

$$P(z) = P(0) + P'(0)z + P''(0)z^2 + \dots = \pi_0 + \pi_1 z + \pi_2 z^2 + \dots$$

Проведем необходимые расчеты:

$$P'(z) = \pi_0 \frac{(2z - 3) \left[z^2(2\alpha + 1) - z(2\alpha + 3) + 2 \right] - \left[z^2(2\alpha + 1) - z(2\alpha + 3) + 2 \right]^2}{(z^2 - 3z + 2) \left[2z(2\alpha + 1) - (2\alpha + 3) \right]},$$

$$P'(0) = \mu\pi_0 \frac{-6 + 4\alpha + 6}{4} = \alpha\pi_0 = (1 - \alpha m)\alpha.$$

Далее, опуская несложные, но трудоемкие выкладки, получим

$$P''(0) = \pi_0 \alpha(2\alpha + 1) = (1 - \alpha m)\alpha(2\alpha + 1);$$

$$P'''(0) = \pi_0 2\alpha(2\alpha + 1)^2 = (1 - \alpha m)\alpha(2\alpha + 1)^2.$$

Расчеты последующих коэффициентов разложения могут быть выполнены аналогично. Заметим, что для практических целей это разложение проще и удобнее реализовать численно.

Выводы. В работе предложена методика оценки эффективности компьютерной сети, на вход которой поступает суперпозиция потоков групповых заявок. С использованием марковской модели функционирования системы получены аналитические соотношения для расчета распределения вероятностей состояний системы. Рассмотрен пример применения метода.

Список литературы: 1. Гермейер Ю.Б. Введение в теорию исследования операций. –М: Наука, 1971. -383с. 2. Казаков В.А. Введение в теорию марковских процессов. –М.: «Сов. Радио», 1973. - 231с. 3. Пугачев В.С. Теория вероятностей и математическая статистика. –М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. -496с. 4. Ильин В.А., Позняк Э.Г. Основы математического анализа. –М.: Наука, 1971. -509с.

Поступила в редколлегию 01.12.05

УДК 519.152

Л.Г. РАСКИН, д-р. техн. наук, *О.В. СЕРАЯ*, канд. техн. наук

МАРКОВСКИЕ МОДЕЛИ СМО С НЕМАРКОВСКИМ ВХОДЯЩИМ ПОТОКОМ

Розглянуто методику марковського опису функціонування системи обслуговування з немарковським входним потоком, для апроксимації якого використовується потіг Ерланга.

1. Введение. Анализ литературы. Эффективность аналитического исследования систем массового обслуживания в значительной мере определяется качеством моделей распределений случайных величин, определяющих параметр функционирования системы. При выборе моделей этих распределений руководствуются, в основном, двумя следующими соображениями. Во-первых, модель должна адекватно отображать реальные процессы, протекающие в системе. Во-вторых, эта модель должна быть простой в той мере, чтобы используемые ею соотношения обеспечивали возможность проведения исследования и получения результатов в замкнутой форме. Для многих реальных систем идеальной моделью распределения случайных величин, удовлетворяющей обоим требованиям, является экспоненциальное распределение, приводящее к хорошо и всесторонне изученным марковским моделям. К сожалению, для других реальных систем эта модель не является адекватной. Так, например, многочисленные

исследования процессов передачи данных в компьютерных сетях, показывают [1,2], что плотности распределения интервалов между пакетами и продолжительности пакетов описываются специфическими медленно затухающими функциями, порождающими распределения с «тяжелыми хвостами». В частности этим свойством обладает трехпараметрическое распределение [3], имеющее вид

$$\varphi(\theta) = \begin{cases} \frac{1}{A} \cdot \frac{2 \exp\left\{-\frac{(\theta-\theta_1)^2}{2\theta_2^2}(1+\theta_3 \operatorname{sign}(\theta-\theta_1))\right\}}{\theta_2 \sqrt{2\pi}(\sqrt{1+\theta_3} + \sqrt{1-\theta_3})}, & \theta \geq 0 \\ 0, & \theta < 0 \end{cases} \quad (1)$$

где

$$A = \int_0^{\infty} \frac{2}{\theta_2 \sqrt{2\pi}(\sqrt{1+\theta_3} + \sqrt{1-\theta_3})} \exp\left\{-\frac{(\theta-\theta_1)^2}{2\theta_2^2}(1+\theta_3 \operatorname{sign}(\theta-\theta_1))\right\} d\theta,$$

θ - случайная продолжительность интервала между заявками,

θ_1 - параметр распределения, задающий математическое ожидание θ ,

θ_2^2 - параметр, задающий дисперсию θ ,

θ_3 - параметр, определяющий асимметрию распределения.

Возможности этого распределения изучены и рассмотрены в [3]. Там же показано, что распределение (1) хорошо аппроксимирует многие классические распределения случайных величин: экспоненциальное, релеевское, Вейбулла-Гнеденко, лог-нормальное (усеченное нормальное распределение является частным случаем (1) при $\theta_3 = 0$). В связи с этим понятно, что с использованием распределения (1) можно задавать статистические описания входящих потоков в широком и разнообразном их спектре. С другой стороны, отрицательная асимметрия распределений реальных случайных интервалов между заявками входящего потока мотивирует исследование возможности приближения $\varphi(\theta)$ обобщенным распределением Эрланга, возникающего в результате просеивания пуассоновского потока и конструктивно обладающего этим же свойством. Функция распределения для потока Эрланга n -го порядка имеет вид

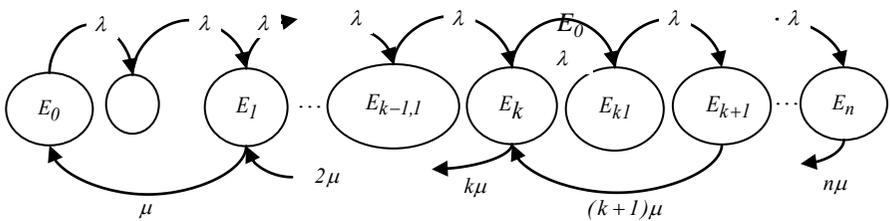
$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \sum_{i=0}^{n-1} \frac{(\lambda t)^i}{i!},$$

а соответствующая плотность определяется выражением

$$f(t) = \lambda (\lambda t)^{n-1} e^{-\lambda t}.$$

2. Цель статьи – исследовать эффективность приближения распределения (1) эрланговским распределением надлежащего порядка и, с учетом основного свойства этого распределения, разработать методику построения марковской модели функционирования системы с немарковским входящим потоком.

3. Основные результаты. Решение задачи построения марковской модели функционирования с немарковским входящим потоком естественно начать с отыскания параметра λ распределения Эрланга выбранного порядка путем аппроксимации гистограммы для случайных значений интервала между заявками в реальном потоке с этим распределением. Пусть, для простоты, эта аппроксимация получена с использованием распределения Эрланга второго порядка. Для описания функционирования системы с таким входящим потоком и экспоненциальным обслуживанием используем граф состояний и переходов, приведенный на рисунке.



Граф состояний и переходов системы с эрланговским входящим потоком и экспоненциальным обслуживанием

Здесь

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

$E_{k,l}$ - буферное состояние, соответствующее ситуации, когда в системе занято ровно k каналов и поступила новая заявка, которая будет отсеяна и поэтому не влияет на изменение числа занятых каналов, $k = 0, 1, 2, \dots, n - 1$;

λ - интенсивность входящего просеиваемого пуассоновского потока;

μ - интенсивность обслуживания.

Для полученного графа состояний и переходов сформируем систему линейных алгебраических уравнений относительно неизвестных вероятностей состояний системы. Система уравнений имеет вид:

из которой получим

$$\begin{aligned}
 P_1 &= \frac{\lambda}{\mu} P_0, \\
 &\dots\dots\dots \\
 P_k &= \frac{\lambda}{k\mu} P_{k-1} = \frac{\lambda^k}{k! \mu^k} P_0, \\
 &\dots\dots\dots \\
 P_n &= \frac{\lambda^n}{n! \mu^n} P_0.
 \end{aligned} \tag{5}$$

Заметим теперь, что из второго, четвертого и т.д. уравнений системы (2) следует:

$$P_0 = P_{01}, P_1 = P_{11}, \dots, P_{n-1} = P_{n-1,1}. \tag{6}$$

Соотношения (5) и (6) с учетом условия нормировки позволяют рассчитать значение P_0 . При этом

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

Отсюда

$$P_0 = \frac{1}{2 \sum_{k=0}^{n-1} \frac{\lambda^k}{k! \mu^k} + \frac{\lambda^n}{n! \mu^n}}. \tag{7}$$

Тогда, подставляя (7) в (5), получим

$$P_k = \frac{\frac{\lambda^k}{k! \mu^k}}{2 \sum_{k=0}^{n-1} \frac{\lambda^k}{k! \mu^k} + \frac{\lambda^n}{n! \mu^n}}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, n$$

Понятно, что эти соотношения описывают вероятности состояний E_k , $k=0, 1, \dots, n$, в системе, соответствующей графу, приведенному на рис.1. Вместе с тем, истинная вероятность состояния E_k для системы, на вход которой поступает эрланговский поток второго порядка, равна

$$P_{k,\exists} = P_k + P_{k,1}, \quad k = 0, 1, \dots, n-1,$$

откуда, с учетом (6), имеем

$$P_{k,\Theta} = 2P_k = \frac{2 \frac{\lambda^k}{k! \mu^k}}{2 \sum_{k=0}^{n-1} \frac{\lambda^k}{k! \mu^k} + \frac{\lambda^n}{n! \mu^n}}, \quad k=0, 1, 2, \dots, n-1; \quad (8)$$

$$P_{n,\Theta} = P_n = \frac{\frac{\lambda^n}{n! \mu^n}}{2 \sum_{k=0}^{n-1} \frac{\lambda^k}{k! \mu^k} + \frac{\lambda^n}{n! \mu^n}}. \quad (9)$$

Аналогично проводится анализ системы, на вход которой поступает поток Эрланга l -го порядка. В этом случае в графе состояний и переходов перед каждым истинным состоянием необходимо ввести $(l-1)$ буферных состояний, описывающих переходы системы под воздействием отсеиваемых $(l-1)$ -й заявок, не влияющих на число занятых каналов системы. Поскольку технология получения результирующих соотношений в этом случае аналогична описанной выше, приведем только окончательный результат.

$$P_{k,\Theta} = lP_k = \frac{l \frac{\lambda^k}{k! \mu^k}}{l \sum_{k=0}^{n-1} \frac{\lambda^k}{k! \mu^k} + \frac{\lambda^n}{n! \mu^n}}, \quad k=0, 1, 2, \dots, n-1. \quad (10)$$

$$P_{n,\Theta} = P_n = \frac{\frac{\lambda^n}{n! \mu^n}}{l \sum_{k=0}^{n-1} \frac{\lambda^k}{k! \mu^k} + \frac{\lambda^n}{n! \mu^n}}. \quad (11)$$

4. Выводы. Получена методика расчета распределения вероятностей состояний системы обслуживания, на вход которой поступает немарковский поток, в качестве аппроксимации которого используется поток Эрланга надлежащего порядка. Расчет доведен до аналитических соотношений.

Список литературы: 1. Риордан Дж. Вероятностные системы обслуживания: Пер. с англ.-м.: Связь, 1966. – 184 с. 2. Кокс Д., Смит Ч. Теория очередей: Пер. с англ.-м.: Мир, 1966. – 218 с. 3. Серая О.В. Аппроксимация гистограмм трехпараметрическим распределением случайных величин // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті.-Харків: ІКСЗТ, 2001. – н3.-с.81-83.

Поступила в редколлегию 05.12.05

А. Е. ГОЛОСКОКОВ, профессор НТУ «ХПИ», *А. В. РУДНИЦКИЙ*, студент НТУ «ХПИ»

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ ПАКЕТОВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛАСТИН

В статті розглянуті деякі труднощі використання традиційного підходу к побудові автоматизованих систем управління технологічними процесами. На підставі практичного досвіду авторів, відгуків користувачів систем управління, матеріалів сучасної літератури виявлена необхідність інтелектуалізації систем управління. Зроблена постановка задачі на розробку інтелектуальної системи управління технологічним процесом гарячий прокатки пакетів металевих пластин. Запропоновані деякі підходи та технології побудови інтелектуальної системи управління. Розглянуто напрямки подальшого виконання роботи.

Введение. Большинство автоматически управляемых технических систем, прошедшего XX века, разработаны на основе теории управления, построенной на аналитическом понимании законов механики и физики. Главными источниками этой теории были прикладные инженерные задачи, возникающие при проектировании и эксплуатации технических объектов и систем, что наложило отпечаток на выбор используемого математического аппарата и на идеологию этого научного направления. Развитие теории шло по пути расширения используемого математического аппарата. Сначала были привлечены дифференциальные уравнения с отклоняющимся аргументом, затем – разностные уравнения и уравнения в частных производных, а также различные разделы функционального анализа. Все это инициировалось и сопровождалось новыми прикладными задачами в химии, физике, биологии, экономике и т. д. Повышенный интерес математиков к задачам управления определялся в значительной мере тем, что при изучении управляемых процессов пришлось разрабатывать специальные методы аналитического анализа и построения приближенных решений. Последнее обстоятельство определило большое влияние вычислительной техники на теорию управления.

Однако при всей изощренности наработанного математического инструментария, областью применения «классических» методов управления остаются сравнительно простые объекты управления с очевидными свойствами. Попытки аналитически описать более тонкие свойства объектов управления (технических и, тем более, естественных), особенно в случаях, когда свойства объекта управления (ОУ) плохо определены априори, быстро приводят к катастрофическому усложнению математических моделей. Ситуацию в целом не спасают ни эвристические приемы, ни повышение эффективности вычислительной техники. На практике объекты управления,

которые плохо формализуются, свойства которых априори плохо известны или изменяются в процессе функционирования, являются типичными [1, 2].

В условиях работы реальных систем с высоким уровнем неопределенности информации для построения систем управления (СУ) неизбежно применение новых информационных технологий, ориентированных на потоки контекстно-зависимой информации, то есть фактическая разработка новых принципов построения интеллектуального управления – теории интеллектуальных СУ (ИнСУ) для систем высших уровней системной сложности [3].

Обзор литературных источников. Практический опыт авторов, отзывы пользователей СУ, материалы специальной периодической и современной литературы [4-7] свидетельствуют о необходимости интеллектуализации автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП). Актуальность утверждения подтверждается тем, что в настоящее время при проектировании и построении АСУ ТП информация об ОУ средняя либо практически отсутствует, а также сложность самого объекта средняя или высокая. В данной ситуации применение традиционного подхода, основанного на дифференциальных уравнениях, к построению СУ является довольно сложным, нерациональным, дорогостоящим, а чаще всего нереализуемым.

Авторы статьи [4] отмечают, что практически все уже существующие системы автоматизации металлургических процессов (АСУ ТП) базируются на классической теории управления, для практического применения которой используется математическое моделирование, реализуемое на основе предположения о линейности систем. Во многих реальных системах, таких как системы управления шахтной печью, дуговой электроплавкой, методической или нагревательной печью и т. д., имеются нелинейные характеристики, сложные для моделирования динамические элементы, неконтролируемые шумы и помехи, множество обратных связей и другие факторы, затрудняющие реализацию управления. Поэтому математическая модель таких сложных объектов не может отражать в полной мере ее действительные физические свойства. Даже если удастся построить такие сложные математические модели, как, например, шахтной печи, более-менее точно отражающие физические соотношения между входами и выходами системы, они могут оказаться бесполезными для целей управления. Практически приемлемыми могут быть только модели с низкой чувствительной частью по параметрам. Обеспечить это для нелинейных систем достаточно сложно. Кроме того, уменьшение чувствительности ведет к снижению точности регулирования.

По мнению ряда исследователей данной предметной области применение интеллектуализации в АСУ ТП наиболее важна при решении следующих задач:

- 1) преобразование данных в информацию о состоянии и режиме объекта;

- 2) распознавание ситуаций на ОУ и управление в этих ситуациях;
- 3) расширение возможностей математического моделирования ТП за счет использования качественной информации;
- 4) формализуемой с использованием методов искусственного интеллекта, применение регуляторов на основе нечеткой логики;
- 5) интеллектуальное отображение информации для пользователей;
- 6) адекватное управление
- 7) и т. д.

Постановка задачи. В качестве объекта исследования в данной научно-исследовательской работе (НИР) выступает стан горячей прокатки пакетов металлических пластин (СГП ПМП). Завершив исследование функциональных подсистем, а также входных и выходных параметров к ОУ применён искусственный прием. В результате приема выделен новый уточненный ОУ из исходного ОУ. Уточненным ОУ является вакуумная система (ВС), т. к. на нее СУ выдает управляющие воздействия.

ВС предназначена для обеспечения требуемого вакуума, измерения вакуума, а также для удержания вакуума в различных узлах стана горячей прокатки.

Режимы функционирования ВС:

- 1) откачка на форвакуум и высокий вакуум;
- 2) откачка камеры загрузки;
- 3) откачка камеры выгрузки.

В результате исследования ВС СГП ПМП были сделаны выводы о необходимости интеллектуализации разрабатываемой СУ, т. к.

- 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.

Необходимо разработать интеллектуальную систему управления технологическим процессом горячей прокаткой пакетов металлических пластин, которая:

- 1) реализует алгоритм контроля и управления станом горячей прокатки, соответствующий технологическому процессу;
- 2) отображает (визуализирует) состояния дискретных и значения аналоговых параметров ВС, системы нагрева, системы проката, системы охлаждения, системы электропитания, системы контроля и управления на мнемосхеме СГП;

- 3) отображает изменение во времени значения аналоговых параметров в виде трендов;
- 4) выдает управляющие воздействия на дискретные исполнительные механизмы ВС согласно алгоритму контроля и управления;
- 5) с заданным интервалом времени проверяет соответствие текущего состояния параметров заданному и при несоответствии информирует об этом оператора;
- 6) обеспечивает архивирование и хранение (согласно установленной длительности хранения):
 - a. состояний дискретных параметров;
 - b. значений аналоговых параметров;
 - c. событий (вход в систему, выход из системы, выдача управляющих воздействий на дискретные исполнительные механизмы, достижение аналоговыми параметрами предупредительных и аварийных уровней, аварийные сигналы от 13ВТ3 и ВИЦБ, срабатывание блокировок);
 - d. параметров проката.

Цели создания интеллектуальной системы управления технологическим процессом управления горячей прокатки пакетов металлических пластин является:

- 1) получение качественных и стабильных результатов в ходе проведения технологических процессов;
- 2) повышение производительности;
- 3) облегчение и удобство работы обслуживающего персонала;
- 4) предотвращение аварийных ситуаций;
- 5) создание и архивация отчетов тревог и аварийных ситуаций.

Реализация указанных целей осуществляется за счет:

- 1) выдачи управляющих воздействий в соответствии с технологическим процессом;
- 2) непрерывного контроля работы всех функциональных узлов стана, блокировок, отключений, сигнализации;
- 3) подачи соответствующих команд для предотвращения создания аварийных ситуаций;
- 4) жесткого контроля и стабилизации режимов технологического процесса.

Достижение указанных целей позволит устранить расходы на ремонт оборудования, простой, энергозатраты и испорченный материал. Архивация параметров каждого технологического процесса позволит повторение и анализ рабочей смены технологического процесса.

Интеллектуальная система управления технологическим процессом управления горячей прокатки пакетов металлических пластин предназначена для:

- 1) автоматизации процесса включения (выключения) ряда технологических систем СГП и вывода их на рабочие параметры;

- 2) управления аппаратурой технологических систем для стабилизации и перестройки режимов;
- 3) функционального контроля режимов и состояний узлов и устройств СГП, предоставление необходимой информации в удобной форме для обслуживающего персонала;
- 4) мониторинга параметров технологических систем при ручном управлении с имеющейся Стойки управления.

Метод решения. Совершенно естественным является предложение исключить, из класса интеллектуальных, такие задачи, для которых существуют стандартные методы решения. Примерами таких задач могут служить чисто вычислительные задачи: решение системы линейных алгебраических уравнений, численное интегрирование дифференциальных уравнений и т. д. Для решения подобного рода задач имеются стандартные алгоритмы, представляющие собой определенную последовательность элементарных операций, которая может быть легко реализована в виде программы для вычислительной машины. В противоположность этому для широкого класса интеллектуальных задач, таких, как распознавание ситуаций, адаптивное управление, преобразование данных в информацию и т. п., напротив это формальное разбиение процесса поиска решения на отдельные элементарные шаги часто оказывается весьма затруднительным, даже если само их решение несложно.

Как было отмечено выше, управление технологическим процессом, а также совокупность решаемых при этом подзадач, определяет задачу как интеллектуальную, которую невозможно решить стандартными методами.

Существуют различные подходы к построению ИнСУ:

- 1) логический подход – основой для данного подхода служит Булева алгебра;
- 2) структурный подход – построение ИнСУ путем моделирования структуры человеческого мозга;
- 3) эволюционный подход – при построении систем по данному подходу основное внимание уделяется построению начальной модели, и правилам, по которым она может изменяться (эволюционировать);
- 4) имитационный подход – данный подход является классическим для кибернетики с одним из ее базовых понятий – «черным ящиком».

При интеллектуализации СУ используют следующие технологии:

- 1) нейронные сети;
- 2) нечеткая логика;
- 3) экспертные системы;
- 4) распознавание образов;
- 5) системы со способностью обучения;
- 6) мягкие вычисления;
- 7) комбинированные математические модели.

В настоящее время в научной литературе [8,9] появляются материалы о некоторых неточностях и невозможностях применения технологий

интеллектуализации СУ в промышленности. Эти работы вызваны тем, что при выборе технологии решения необходимо проводить более тщательный отбор методов и руководствоваться научной обоснованностью. Эти материалы дают повод к более критичному обоснованию и осмыслению использования ИнСУ в АСУ ТП.

Продолжение работы. Следующий этап НИР – выбор наиболее подходящего метода интеллектуализации СУ и математическая постановка задачи. Отдельно следует выделить выбор программного комплекса реализации ИнСУ. Конечной целью НИР является проектирование и реализация СУ СГП ПМП. При построении СУ необходимо руководствоваться тем, что функционирование должно протекать в реальном масштабе времени. Это обстоятельство наложит определенные ограничения на выбор способа интеллектуализации и программных средств комплекса реализации.

Выводы. В результате работы выявлена необходимость построения СУ с использованием интеллектуальных технологий для управления СГП ПМП SGP-PMP-2-175 функционирующего в ННЦ ХФТИ. В ходе работы были рассмотрены и критические материалы ИнСУ, что позволит на этапе выбора технологии и разработки системы избежать тех ошибок, которые были допущены ранее различными исследователями в данной предметной области. Разрабатываемая в рамках научно-исследовательской работы ИнСУ будет обладать определенными преимуществами перед традиционными СУ, а также позволит достичь поставленных целей.

Список литературы: 1. *Жданов А.А.* Метод автономного адаптивного управления, его свойства и приложения// The IEEE International Conference Artificial Intelligence System IEEE ICAS'03, 2003 2. *Егоров А.И.* Математические задачи управления системами// Труды Международной конференции Интеллектуальное управление: новые интеллектуальные технологии в задачах управления (ИСУ'99) Переславль-Залесский, 1999 3. *Поляков А.О., Юсупов Р.М., Ерофеев А.А.* Интеллектуальные системы и информационные технологии управления// Site of Information Technologies – infotech.webservis.ru 4. *Еременко Ю.И.* Об интеллектуализации задач управления металлургическими процессами// Приборы и системы. Управление, контроль и диагностика. 2002. № 9. С. 6 – 9. 5. *Усков А.А.* Принципы построения систем управления с нечеткой логикой// Приборы и системы. Управление, контроль и диагностика. 2004. № 6. С. 7 – 13. 6. *Егоров А.А., Павлова Н.В. и др.* Искусственный интеллект в промышленных АСУ и контроллерах// Промышленные АСУ и контроллеры. 2004. № 1 – 4. 7. *Кудинов Ю.И., Халов Е.А. и др.* Разработка нечеткой обучаемой системы управления// Промышленные АСУ и контроллеры. 2004. № 2. С. 25 – 29. 8. *Ротач В.Я.* Возможен ли синтез нечетких регуляторов с помощью нечетких множеств?// Промышленные АСУ и контроллеры. 2004. № 1. С. 33 – 34. 9. *А.А.Зенкин* О некоторых семантических дефектах в логике интеллектуальных систем// Девятая национальная конференция по искусственному интеллекту (КИИ-2004) Тверь, Россия, 2004. Труды конференции, т. 1. С. 271 – 280.

Поступила в редколлегию 02.12.05

А.С. КУЦЕНКО, д-р техн. наук,
С.В. КОНОХОВ

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МАЛЫМ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ

Запропоновану спрощену математичну модель малого виробничого підприємства, яка дозволяє провести адаптацію методів теорії автоматичного управління технічними системами до виробничих систем. Проведено оцінку області стійкості та робастної стійкості в умовах невизначеності одного із параметрів моделі.

Введение. Вторая половина XX века характеризуется активным внедрением математических методов в экономическую теорию. Это связано с двумя обстоятельствами. Во-первых, с расширением технико-экономических взаимосвязей между отраслями производства и между отдельными государствами, т.е. с переходом к мировой экономической системе. Во-вторых, появилась реальная возможность получать практические результаты при решении экономических задач математическими методами, благодаря интенсивному развитию вычислительной техники. Указанные обстоятельства привели к созданию новой специфической области теории управления - экономической кибернетики. Поскольку в основу применения методов теории управления положены математические модели объектов управления, то различными экономистами был предложен широкий спектр статических и динамических, макро и микроэкономических моделей. Из них следует отметить широко известные модели Кейнса, Фриша, Лундберга, Беги и Калецкого[1]. Наибольший вклад в разработку математических моделей экономики был сделан Л.В. Канторовичем[2], Дж. Фон Нейманом и О. Моргенштерном[3], а также Дж. Форрестером[4]. Последняя монография представляет особый интерес для специалистов в области теории управления, поскольку модель Дж. Форрестера описывает производственный процесс на язык обыкновенных дифференциальных уравнений, что позволяет привлечь хорошо разработанные методы управления техническими системами к решению задач управления производством.

Целью настоящей работы является адаптация некоторых подходов классической теории автоматического управления к простейшей системе управления малым производственным предприятием.

Постановка задачи. Рассмотрим малое производственное предприятие, структурная схема которого представлена на рис. 1

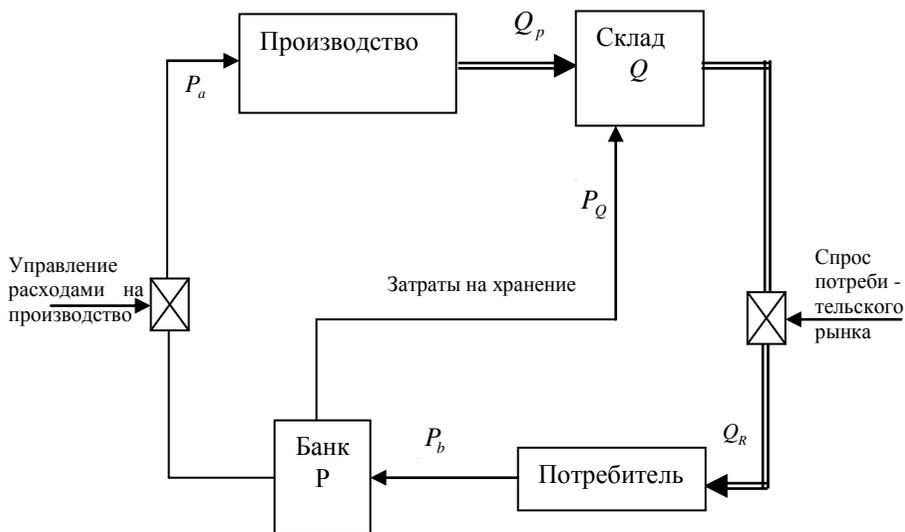


Рис. 1 – Структурная схема взаимосвязей между материальными и денежными потоками

- == — товарный поток;
- — финансовый поток;
- ⊗ — регуляторы уровней производства и потребления;
- Q — количество готовой продукции на складе;
- P — количество денег на банковском счете предприятия;
- Q_p — интенсивность производства продукции;
- Q_R — интенсивность потребления продукции рынком;
- P_a — интенсивность расходов на производство;
- P_b — интенсивность доходов от реализации продукции;
- P_Q — интенсивность расходов на хранение готовой продукции.

В соответствии с рис.1 предприятие можно рассматривать как двухёмкостную динамическую систему (склад и банковский счет) с одним управляющим и одним возмущающим воздействиями (управление расходами на производство и спрос потребительского рынка). Необходимо синтезировать регулятор, обеспечивающий заданную политику роста капитала на банковском счете предприятия.

Математическая модель предприятия. В соответствии с приведенной структурной схемой, математическая модель объекта управления может быть представлена в виде двух дифференциальных уравнений материального и денежного балансов:

$$\begin{aligned}\dot{Q} &= Q_P - Q_R, \\ \dot{P} &= P_b - P_Q - P_a.\end{aligned}\quad (1)$$

Интенсивности Q_P , P_b и P_a в первом приближении зададим в виде

$$\begin{aligned}Q_P &= \frac{P_a}{S}, \\ P_b &= CQ_R, \\ P_Q &= LQ,\end{aligned}\quad (2)$$

где S – себестоимость единицы продукции, C – цена единицы продукции при ее реализации, L – интенсивность расходов на хранение единицы готовой продукции.

Подставляя (2) в (1) получим окончательно

$$\begin{aligned}\dot{Q} &= \frac{1}{S}P_a - Q_R, \\ \dot{P} &= CQ_R - LQ - P_a.\end{aligned}\quad (3)$$

Полученная система, представляет собой линейную систему дифференциальных уравнений в которой Q_R (спрос) является возмущением, а P_a – управляющим воздействием.

Соответствующая (3) структурная схема представлена на рис. 2.

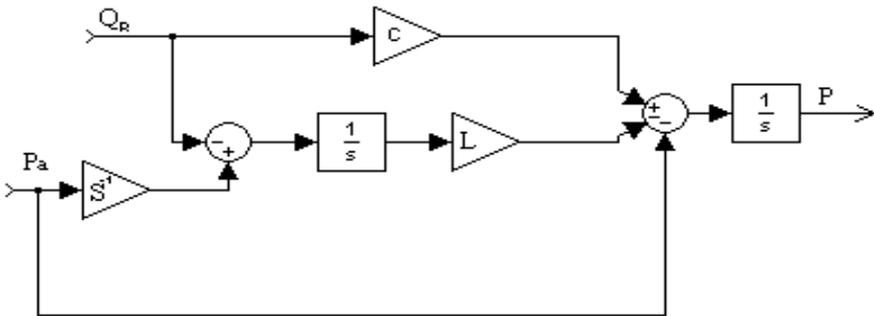


Рис. 2 – Структурная схема модели объекта управления

Как видно из структуры математической модели предприятия его работоспособность определяется наличием продукции Q на складе и суммы P на банковском счете при любых возмущениях спроса Q_R . Таким образом, основной задачей управления предприятием является выбор закона

управления P_a , обеспечивающего необходимые условия его функционирования при различных возмущениях величины спроса Q_R . Из приведенной постановки следует, что мы по сути дела имеем типичную задачу автоматического управления двумерной динамической системой, которая может решаться известными из теории управления методами. Для реализации системы управления предприятием необходимо располагать оперативными данными о количестве денег на счете P .

Синтез и исследование системы регулирования. Поскольку при постановке задачи предполагалось в качестве регулируемой переменной рассматривать сумму на банковском счете предприятия P , то процесс управления будем осуществлять на основании отклонения $\theta = P^* - P$, где P^* требуемая величина объема средств на счете предприятия, выбираемая в соответствии с его финансовой политикой. Структуру регулятора выберем в виде ПИД-регулятора

$$\begin{cases} \dot{\sigma} = \theta, \\ P_x = k_1\theta + k_2\sigma + k_3\dot{\theta}, \end{cases} \quad (4)$$

где k_1, k_2, k_3 – варьируемые коэффициенты регулятора, P_x – выход регулятора.

Учтем также инерционность исполнительного звена системы управления при принятии решения об изменении объема производства в виде инерционного звена 1-го порядка

$$T\dot{P}_a + P_a = P_x, \quad (5)$$

где T – постоянная времени исполнения.

При сделанных предположениях система автоматического регулирования предприятием будет описываться системой дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned} \dot{Q} &= \frac{1}{S}P_a - Q_R, \\ \dot{P} &= CQ_R - LQ - P_a, \\ \dot{\sigma} &= \theta, \\ P_x &= k_1\theta + k_2\sigma + k_3\dot{\theta}, \\ \theta &= P^* - P, \\ T\dot{P}_a &= P_x - P_a. \end{aligned} \quad (6)$$

Характеристическое уравнение замкнутой системы управления запишется как:

$$T\lambda^4 + (1 - k_3)\lambda^3 + (-k_1 - \mu k_3)\lambda^2 + (k_2 - \mu k_1)\lambda - \mu k_2 = 0. \quad (7)$$

где $\mu = \frac{L}{S}$.

Выбором коэффициентов усиления регулятора k_1, k_2 и k_3 можно получить необходимые распределения корней уравнения (7), исходя из требований к качеству переходных процессов.

Для частого случая ПИ-регулятора и малого запаздывания в исполнительной цепи ($T \approx 0$) область аperiodической устойчивости в соответствии с диаграммой Вышнеградского имеет вид:

$$\frac{k_1^2(k_2 + \mu k_1)^2}{\mu^2 k_2^2} - 4\left(\frac{k_2 + \mu k_1}{\mu k_2} - \frac{k_1^3}{\mu^2 k_2^2}\right) - 18\frac{k_1(k_2 + \mu k_1)}{\mu^2 k_2} - 27 < 0. \quad (8)$$

Выбор коэффициентов усиления регулятора k_1 и k_2 при условии неопределенности значения параметра μ осуществлялся на основании известной теоремы Харитонова о робастной устойчивости интервальных полиномов. Область робастной устойчивости в этом случае представима как:

$$k_2 < \frac{A_m k_1}{A^m - k_1}, \quad (9)$$

где A_m и A^m – нижняя и верхняя границы изменения параметра μ .

Полученные области аperiodической и робастной устойчивости могут быть положены в основу выбора коэффициентов регулятора уровня производства по количеству денег на банковском счете предприятия.

Переходные процессы в относительных единицах при ступенчатых изменениях задающего и возмущающего воздействий для различных значений коэффициентов усиления ПИ-регулятора k_1 и k_2 показаны на рис. 3-6.

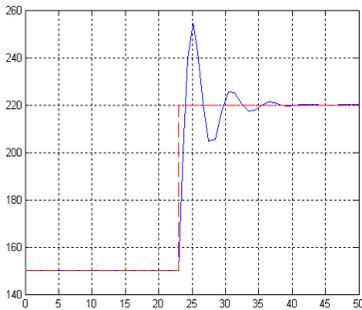


Рис. 3 Переходный процесс при ступенчатом изменении задающего воздействия при $k_1 = -1, k_2 = -1$

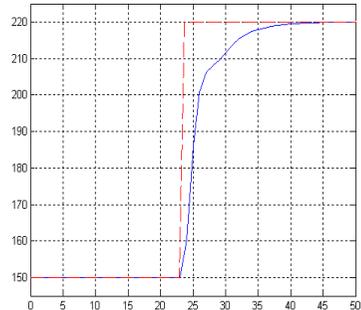


Рис. 4 Переходный процесс при ступенчатом изменении задающего воздействия при $k_1 = -1, k_2 = -0.3$

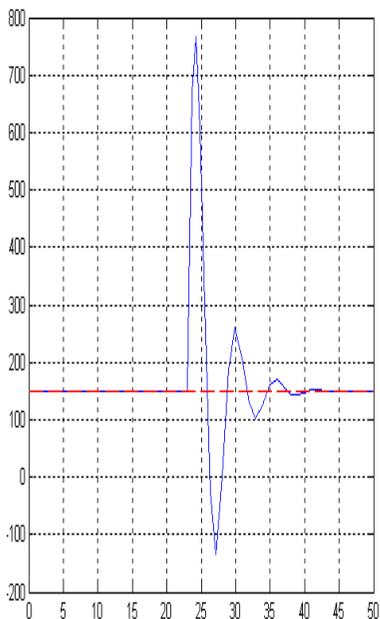


Рис. 5 Переходный процесс при ступенчатом изменении возмущающего воздействия при $k_1 = -1$, $k_2 = -1$

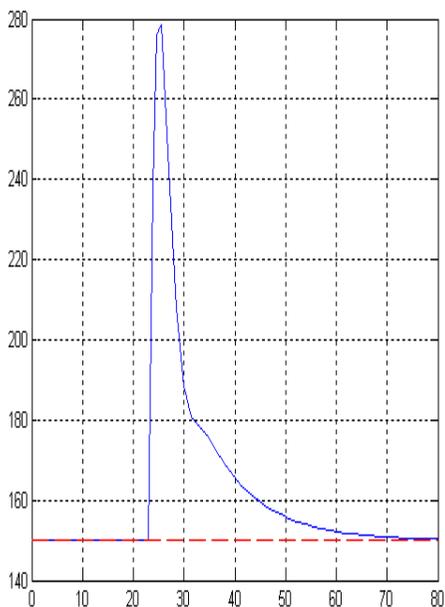


Рис. 6 Переходный процесс при ступенчатом изменении возмущающего воздействия при $k_1 = -1$, $k_2 = -0.1$

Заключение. Предложенная математическая модель малого производственного предприятия и методика параметрического синтеза робастно устойчивой системы управления позволила получить качественную картину изменения суммы на банковском счете предприятия при возмущениях спроса, а также изменении задающего воздействия, соответствующего финансовой политике предприятия. Дальнейшее развитие настоящего подхода связано с уточнением математической модели и учетом большего количества интервально заданных параметров.

Список литературы: 1. Фель К. Модели экономических систем регулирования более высоких порядков// Процессы регулирования в моделях экономических систем. М., 1961. с. 138-160
 2. Канторович Л.В., Горстко А.Б. Оптимальные решения в экономике. М.: Наука, 1972. 232 с.
 3. Нейман Дж., Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение. М.: Наука, 1970. 707с.
 4. Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия. М.: Прогресс, 1971. 340с.

Поступила в редколлегию 02.12.05

А.С. КУЦЕНКО, д-р. техн. наук, *Чан Занг ЛЮ*

НЕКОТОРЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОБЛЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ КВАЗИСТАТИЧЕСКИМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Запропоновано різноманітні підходи до синтезу лінійних систем управління квазістатичними технологічними процесами, які засновані на принципах управління по збуренню та по відхиленню.

Введение. В большинстве случаев, современный уровень развития теории управления опирается на весьма зыбкий фундамент – удобную математическую модель объекта управления. Без сомнения можно сказать, что наиболее значительные теоретические и практические результаты получены для достаточно простых объектов управления, математические модели которых описываются линейными дифференциальными уравнениями. В то же время математические модели большинства технологических процессов вряд ли могут быть представлены в виде достаточно обоснованной системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Это обусловлено, прежде всего, сложностью процессов преобразования материальных и энергетических потоков, а также недостаточной информацией о параметрах технологической установки. Для таких процессов в условиях медленно изменяющихся воздействий наиболее приемлемым следует считать эмпирический подход, позволяющий на основе эксперимента получать статические характеристики взаимосвязей «вход-выход». Изменения координат состояния и выходных координат, вызванные возмущающими и управляющими воздействиями, в соответствии со статическими характеристиками по аналогии с классической термодинамикой можно назвать квазистатическими управляемыми процессами.

Подходы, основанные на представлении динамических процессов квазистатическими, достаточно подробно рассмотрены в научной литературе. В ряде работ [1, 2] предлагается частичный переход от динамической модели к двум подмоделям, отображающим «быстрые» и «медленные» движения. Таким образом, можно уменьшить размерность исходной системы дифференциальных уравнений путем замены ее части статическими аналогами. В работе [3] предложен критерий сравнения скоростей изменения выходных координат и внешних воздействий, позволяющий судить о возможности замены динамической системы ее статическим аналогом без существенных искажений результатов численного моделирования. В [4] авторами настоящей работы предложен критерий оценки степени динамичности линейной системы по отношению к заданному классу внешних

воздействий. Критерий основан на представлении выхода управляемой системы в виде ряда по производным входного воздействия, аналогичного ряду для коэффициентов ошибок.

В настоящей работе предлагаются различные подходы к синтезу регуляторов линейных квазистатических управляемых процессов, основанные на принципах управления по возмущению и по отклонению.

Постановка задачи. Рассмотрим линейную статическую модель управляемого процесса $(u(t), x(t))$, подверженного возмущениям $v(t)$ в виде непрерывных функций, принадлежащих заданному классу V :

$$x = K_u u + K_v v, \quad (1)$$

где $x \in R^n$, $u \in R^m$, $v \in R^l$, K_u и K_v - матрицы соответствующих размерностей, $m \leq n$, u - вектор управления. Необходимо синтезировать закон управления $u(x, v, t)$, минимизирующий отклонения x от заданного вектора уставки z . В качестве меры отклонения x от z примем положительно определенную квадратичную форму

$$\rho(\varepsilon) = \frac{1}{2} \varepsilon^T Q \varepsilon, \quad (2)$$

где $\varepsilon = z - x$ - вектор ошибок.

Управление по возмущению. Рассмотрим случай, когда вектор возмущений полностью измеряем. Тогда, подставляя (1) в (2), получим:

$$\rho(\varepsilon) = \frac{1}{2} (z - K_u u - K_v v)^T Q (z - K_u u - K_v v). \quad (3)$$

Дифференцируя (3) по u и приравнивая результат 0, получим линейную систему уравнений для определения оптимального закона управления:

$$\frac{\partial \rho}{\partial u} = (z - K_u u - K_v v)^T Q K_u = 0. \quad (4)$$

Из (4) непосредственно следует закон управления

$$u = (K_u^T Q K_u)^{-1} K_u^T Q z - (K_u^T Q K_u)^{-1} K_u^T Q K_v v. \quad (5)$$

Как видно из (5) оптимальный закон управления представим в виде линейной комбинации задающего воздействия и возмущения. Из (5) и (1) можно получить выражения для вектора выхода x и для ошибки ε

$$x = \overline{K_u} z - (\overline{K_u} - E) K_v v, \quad (6)$$

$$\varepsilon = (E - \overline{K_u}) (z - K_v v), \quad (7)$$

где $\overline{K_u} = K_u (K_u^T Q K_u)^{-1} K_u^T Q$.

Нетрудно видеть, что в случае одинаковой размерности векторов x и u $\overline{K_u} = E$, а, следовательно, $\varepsilon = 0$.

Управление по отклонению. Рассмотрим пропорциональный регулятор, реализующий следующий закон управления:

$$u = K\varepsilon, \quad (8)$$

где K - матричный коэффициент усиления, выбор которого предстоит осуществить, исходя из требования минимума квадратичной формы (2). Для этого предварительно найдем величину ошибки ε . Из (8) и (1) непосредственно следует уравнение для вектора ошибок:

$$(E + K_u K)\varepsilon = z - K_v v, \quad (9)$$

из которого ошибка ε может быть представлена в виде:

$$\varepsilon = (E + K_u K)^{-1}(z - K_v v). \quad (10)$$

Поскольку второй сомножитель в (10) произволен, то для минимизации ошибки необходимо выбрать матрицу K таким образом, чтобы первый сомножитель в (10) был максимально близким к нулевой матрице.

Рассмотрим случай, когда $m = n$ т.е. K и K_u квадратные $n \times n$ матрицы.

Будем искать матрицу K такой, чтобы матрица $K_u K$ имела структуру:

$$K_u K = C, \quad (11)$$

где $C = \text{diag}(c_1, c_2 \dots c_n)$ - диагональная матрица, подлежащая в дальнейшем определению. Решение (11) запишется как

$$K = K_u^{-1} C. \quad (12)$$

В этом случае матричный сомножитель в соотношении (10) примет вид

$$D = (E + K_u K)^{-1} = \text{diag}\left(\frac{1}{1+c_1}, \frac{1}{1+c_2}, \dots, \frac{1}{1+c_n}\right). \quad (13)$$

Полученная структура матрицы D позволяет, во-первых, обеспечить автономность управления, а, во-вторых, минимизировать ошибку ε путем выбора достаточно больших значений диагональных элементов матрицы C .

Если $m < n$, то система уравнений (11) в общем случае несовместна и можно говорить только о нахождении приближенного решения (11) в смысле минимума квадратичного отклонения невязки. Т.е.:

$$K = (K_u^T K_u)^{-1} K_u^T C. \quad (14)$$

В соотношении (14) по сравнению с (12) вместо матрицы K^{-1} рассматривается псевдообратная матрица $K^+ = (K_u^T K_u)^{-1} K_u^T$. В результате матрицы $K_u K$ и D будут отличаться от диагональных и полученная замкнутая система уже не будет автономной.

Комбинированное управление. Предположим, что вектор возмущения v содержит r измеряемых и l неизменяемых компонент. Т.е. вектор v имеет структуру $v = (v_1, v_2)$, где компоненты вектора v_1 известны. Это позволяет скомбинировать законы управления по возмущению и отклонению:

$$u = K_\varepsilon \varepsilon + K v_1, \quad (15)$$

где K_ε и K - матричные коэффициенты усиления регулятора.

Уравнение объекта (1) представим в виде

$$x = K_u u + K_{v_1} v_1 + K_{v_2} v_2, \quad (16)$$

где матрицы K_{v_1} и K_{v_2} блоки матрицы K_v в (1), соответствующие измеряемой и неизмеряемой составляющим вектора v .

Найдем ошибку ε исходя из (15) и (16). В результате получим

$$\varepsilon = (E + K_u K_\varepsilon)^{-1} [z - (K_u K + K_{v_1}) v_1 - K_{v_2} v_2]. \quad (17)$$

Нетрудно видеть из (17), что в случае квадратной невырожденной матрицы K_u можно выбором K в виде

$$K = -K_u^{-1} K_{v_1} \quad (18)$$

достичь полной компенсации измеряемого возмущения v_1 . Если же $m < n$, то возможна лишь приближенная компенсация v_1 , в этом случае матричный коэффициент усиления K находится на основе метода наименьших квадратов:

$$K = -(K_u^T K)^{-1} K_u^T K_{v_1}. \quad (19)$$

Матрица K_ε в законе управления (15) находится по аналогии с определением матричного коэффициента усиления K для случая управления по отклонению: (12), (14).

Интегрирующий регулятор. Рассмотренные выше подходы к управлению квазистатическими системами реализуют принцип пропорционального регулирования предполагающего безынерционное изменение положения управляющего органа. В реальных же условиях формирование управляющего воздействия осуществляется исполнительными устройствами, которые представляют собой либо интеграторы, либо инерционные звенья. Рассмотрим случай, когда исполнительные устройства представляют собой интегрирующие звенья. Тогда математическая модель регулятора примет вид:

$$T \dot{u} = K \varepsilon, \quad (20)$$

где T - диагональная матрица постоянных времени интегрирования, K - матричный коэффициент усиления, подлежащий в дальнейшем определению.

Исключая из (1) и (20) переменные ε и x , получим систему дифференциальных уравнений относительно вектора управляющих воздействий u :

$$T \dot{u} + K K_u u = K z - K K_v v. \quad (21)$$

Динамические характеристики (21) определяются матрицами T , K_u , K . Выбором K в случае $m = n$ можно получить любое наперед заданное

распределение корней характеристического уравнения системы (21). Если же $m < n$, то матрицы K и K_u становятся прямоугольными $m \times n$ и $n \times m$ соответственно и в этом случае реализация матрицы системы с заданным распределением собственных чисел может быть получена приближенно на основе метода наименьших квадратов.

Рассмотрим поведение управляемой системы (21) в квазистатическом режиме, приравняв \dot{u} нулю. В результате получим линейную систему для определения множества положений равновесия:

$$KK_u u - Kz + KK_v v = 0. \quad (22)$$

В общем случае, когда $m < n$ из (22) следует

$$u^* = (KK_u)^{-1} Kz - (KK_u)^{-1} KK_v v. \quad (23)$$

Соответствующие управлению u^* вектор выходных координат x^* и вектор ошибок ε^* находятся подстановкой (23) в уравнения объекта:

$$\begin{aligned} x^* &= K_u (KK_u)^{-1} Kz - K_u (KK_u)^{-1} KK_v v + K_v v, \\ \varepsilon^* &= (E - \bar{K})(z - K_v v), \end{aligned} \quad (24)$$

где $\bar{K} = K_u (KK_u)^{-1} K$.

Соотношение (24) для ошибки в этом случае совпадает по структуре с выражением (7) для случая управления по возмущающему воздействию. Они становятся идентичными в случае «квадратной» системы при $m = n$, когда $\bar{K} = K_u = E$, что приводит к нулевой ошибке. В общем же случае ($m < n$) установившаяся ошибка ε^* будет всегда отлична от нуля и может быть минимизирована соответствующим выбором матрицы коэффициентов усиления K с учетом требований к динамическим показателям системы (21).

Заключение. Предложены лишь самые общие подходы к синтезу регуляторов квазистатическим технологическим процессам. В развитие изложенных методов необходимо рассмотреть вопросы устойчивости процессов управления объектами такого рода, а также гарантирующих стратегий выбора параметров регуляторов в условиях неопределенности характеристик объекта управления.

Список литературы: 1. Васильева А.Б. О дифференциальных уравнениях, содержащих малые параметры, - Матем. Сб. 31(73), 1952. – стр. 27-32. 2. Н.А. Картвелишвили, Ю.И. Галактионов Идеализация сложных динамических систем, - Наука, - М. – 1976, - 272с. 3. А.Г. Александров Синтез регуляторов многомерных систем, Машиностроение, - М. – 1986. – 272с. 4. А.С. Куценко, Чан Занг Лю Критерии адекватности динамических и статических математических моделей технологических процессов // Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2003. - № 18. – стр. 23-28.

Поступила в редколлегию 20.11.05

Н. Н. СЛИСАРЕНКО

ОБ АЛГЕБРАИЧЕСКОМ ПОДХОДЕ К ОПИСАНИЮ ОБОБЩЕННЫХ СУЩНОСТЕЙ

В статті пропонується нова методика розробки логічних моделей складних інформаційних систем з використанням узагальнених сутностей. Показано, що узагальнені сутності можуть бути представлені категоріями, а у більш загальному випадку рефлексивними категоріями. Застосування узагальнених сутностей у логічних моделях і реалізація їх на рівні деякої СУБД дозволить покращити “масштабність” програмного забезпечення.

Темпы развития современного общества определяются уровнем информатизации. Одним из основных факторов, оказывающих влияние на процесс информатизации, является наличие современной технологии и инструментальных средств проектирования, сложных информационных управляющих систем, под которыми понимаются системы сбора, хранения, обработки информации, независимо от функционального назначения.

Проектирование сложных информационных управляющих систем является процессом, требующим больших затрат ресурсов и времени, а также привлечения большого количества высококвалифицированных специалистов.

Масштабы работ по информатизации современного общества привели к тому, что ещё в 70-х годах в развитых странах были разработаны и приняты на правительственном уровне Государственные программы создания и развития промышленных технологий проектирования, такие как SSADM , IDEF, Merice, Dafhe, NIAM. Как правило, данные средства применяются для проведения анализа и реорганизации бизнес процессов, предоставляя средства описание существующих бизнес процессов на предприятии.

После создания эффективной схемы функционирования предприятия возникает следующий вопрос: как представить данное описание в виде логической модели данных (в данном случае ER модели), которую можно будет реализовать в конкретной СУБД. К сожалению, данный процесс плохо формализуется и поэтому не полностью автоматизирован, но результатом подобного процесса является, как правило, достаточно большая и непрозрачная для не специалиста ER модель.

На практике, при реализации задач автоматизации часто возникает проблема изменения требований к системе. Как правило, при любом радикальном вмешательстве в уже существующую систему, её приходится перерабатывать практически с нуля. Это натолкнуло на мысль о необходимости использования такой схемы разработки, которая при включении и изменении элементов в общую структуру ER модели, сохраняла бы её функциональность.

На данный момент для построения ER моделей, наиболее часто используется разработанная для армии США и сейчас широко используемая в государственных учреждениях и промышленных корпорациях нотация IDEF1X.

Логическая модель этой идеологии включает в себя два основных уровня логической модели, отличающихся друг от друга глубиной представления информации о данных:

1. Диаграмма “сущность - связь” - модель верхнего уровня, включающая в себя только сущности и связи предметной области.
2. Полная атрибутивная модель.

При разработке реальных систем с использованием нотации IDEF1X возникает прямая зависимость прозрачности модели от её размеров. Чем больше схема, тем она становится менее прозрачной. Проблема заключается в том, что, опираясь на главное правило построения сущностей, любое явление или объект может быть представлено в виде только одной сущности. Такое определение сущности целесообразно на стадии законченной, уже однозначной модели. На практике же, в процессе построения модели, часто приходится частично или полностью изменять структуру модели, последовательность и характер связей между сущностями и сами сущности в зависимости от новых требований. Было бы более целесообразно располагать таким механизмом, который позволил бы работать с сущностями более высокого уровня абстракции, которые в процессе разработки модели могли бы быть детализированы более подробно с учётом новых требований к системе.

Для решения данной задачи предлагается расширение ER моделей, путем использования обобщенных сущностей (ОС).

Методика формирования ОС основывается на двух принципах: на деятельностном принципе и принципе включения сущностей в ОС (абстрактное – конкретное либо часть - целое).

Применение подобной схемы построения обобщенной ER модели позволит значительно повысить уровень абстракции модели, что крайне необходимо на начальных этапах разработки, в частности на этапе общения с заказчиком. Также эта схема позволит значительно увеличить прозрачность ER модели, за счет укрупнения элементов модели в ОС. Кроме того, расширенная ER модель позволит работать с элементами ОС таким образом, что это не будет пагубно отражаться на модели в целом, другими словами, повысится общая масштабируемость ER модели.

В данной работе показывается, что ОС можно представить в виде алгебраической структуры - категории. Категорийный подход к представлению ОС является естественным развитием реляционного подхода к БД, начало которого было заложено в работах Е. Кодда [1].

Сначала рассмотрим основные понятия и определения категорий.

Понятия категории и функтора были введены в математику С. Эйленбергом и С. Маклейном в 1944 году [2]. Эти понятия широко используются во многих областях математики. В последние десятилетия с развитием теоретических исследований в компьютерных науках они используются при описании абстрактных структур данных в программировании, в реляционных СУБД при описании схем баз данных, в работах по созданию БД понятий [3].

Определение 1. Говорят, что задана категория ζ , если определены:

1. Класс $Ob\zeta$ элементов, называемых объектами категории: A, B, C, \dots ;
2. Множество $Morf\zeta$ морфизмов (отображений, стрелок): f, g, h, \dots ;

Чтобы показать, что f есть отображение будем писать $A \xrightarrow{f} B$ (или $f: A \rightarrow B$);

3. Для каждого объекта $A \in Ob\zeta$ имеется тождественное отображение которое обозначается $1A$, такое что $1A: A \rightarrow A$.

4. Для каждой пары отображений $(f, g) A \xrightarrow{f} B \xrightarrow{g} C$ существует композиция отображений $A \xrightarrow{g \circ f} C$, которую обозначим через $g \circ f$, и которая удовлетворяет следующим законам:

(a) закон идентичности:

$$\text{если } f: A \rightarrow B, \text{ то } 1B \circ f = f \text{ и } f \circ 1A = f.$$

(b) закон ассоциативности:

$$\text{если } A \xrightarrow{f} B \xrightarrow{g} C \xrightarrow{h} D, \text{ то } (h \circ g) \circ f = h \circ (g \circ f).$$

В определении категории (1) ничего не говорится о теоретико-множественной структуре объектов, поэтому мы не можем в общем случае работать с «элементами» таких объектов.

Все основные общекатегорные конструкции и их приложения к конкретным категориям формулируются преимущественно в терминах морфизмов и их композиции. Удобным языком для таких формулировок является язык диаграмм. Например, вместо того чтобы говорить, что у нас имеются четыре объекта A, B, C, D и четыре морфизма $f: A \rightarrow B, g: B \rightarrow D, h: A \rightarrow C$ и $d: C \rightarrow D$, причем $g \circ f = d \circ h$, говорят, что задан коммутативный квадрат (см. рис 1):

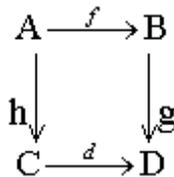


Рис. 1.

Коммутативность здесь - это равенство $g \circ f = d \circ h$, которое означает, что два пути вдоль стрелок от A к D приводят к одному и тому же результату.

Более того, диаграмма - это ориентированный граф, вершины которого являются объектами ζ , а ребра морфизмами.

Частным случаем диаграмм являются комплексы.

Комплекс – конечная или бесконечная последовательность объектов и стрелок $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \dots$

Часто объекты и морфизмы, входящие в комплексы, индексируются некоторым отрезком целых чисел

$$a_0 \xrightarrow{f_0} a_1 \xrightarrow{f_1} a_2 \xrightarrow{f_2} a_3 \xrightarrow{f_3} \dots$$

Рассмотрим важное понятие функтора.

Определение 2. Функтор – это отображение из одной категории в другую, сохраняющее категорную структуру.

Функтором F из категории ζ_1 в категорию ζ_2 называется функция, ставящая в соответствие:

1. Каждому объекту $a \in \zeta_1$ - некоторый объект $F(a) \in \zeta_2$;

2. Каждой стрелке $f: a \rightarrow b \in \zeta_1$ стрелку $F(f): F(a) \rightarrow F(b) \in \zeta_2$ такую,

что:

(а) $F(1a) = 1F(a)$ для каждого объекта $a \in \zeta_1$ т.е. единичной стрелке, соответствующей объекту a , сопоставляется единичная стрелка, соответствующая объекту $F(a)$;

(б) $F(g \circ f) = F(g) \circ F(f)$ для любых g и f , для которых определена композиция $g \circ f$.

Последнее условие означает, что F образ композиции двух стрелок является композицией их F образов, т.е. всякий раз, когда диаграмма коммутативна в ζ_1 (рис. 2, а), соответствующая диаграмма коммутативна в ζ_2 (рис. 2, б). Для того чтобы выразить тот факт, что F есть функтор из ζ_1 в ζ_2 , будем писать

$$F: \zeta_1 \rightarrow \zeta_2 \text{ или } \zeta_1 \xrightarrow{F} \zeta_2.$$

Таким образом, функтор – это отображение, сохраняющее единичные стрелки и композиции.

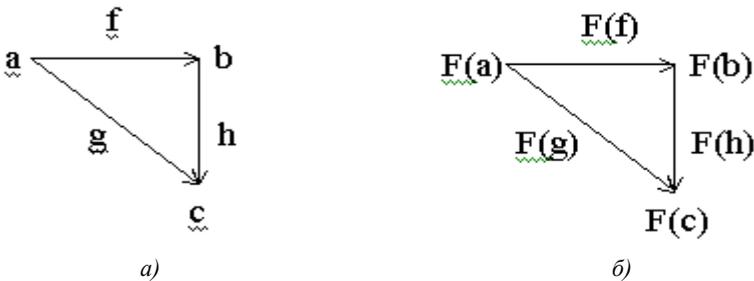


Рис. 2.

Рассмотрим ОС. Обобщенная сущность \overline{E} представляется в логической модели «сущность-связь» (ER-модели), последовательностью E_1, \dots, E_n с заданными связями между ними $R_{ij}, \dots, R_{n-1,n}$.

Уточним теперь какими свойствами обязательно обладает совокупность сущностей E_i и связей R_{ij} (для $i=1, n$) независимо от того, какая ОС ими представляется. Так как связям R_{ij} в конкретных реализациях соответствуют отображения одних множеств в другие, то выполняется следующее свойство:

если $R_{12}: E_1 \rightarrow E_2$ и $R_{23}: E_2 \rightarrow E_3$ такие отображения, что $(R_{12})_- = _ (R_{23})$, где

$()_-$ - операция выделения области значений;

$_ ()$ - операции выделения области определений, то строится новое отображение $R_{23} \circ R_{12}: E_1 \rightarrow E_3$, которое назовем композицией отображений R_{12} и R_{23} .

Композиция отображений обладает свойством ассоциативности. Это значит, что для любых отображений R_{12} и R_{23} и любого отображения $R_{34}: E_3 \rightarrow E_4$ выполняется равенство:

$$R_{34} \circ (R_{23} \circ R_{12}) = (R_{34} \circ R_{23}) \circ R_{12}.$$

Кроме этого, для любой сущности E ОС можно ввести тождественное отображение $\text{id}(E): E \rightarrow E$ композиция которого с любыми отображениями $f: E_i \rightarrow E$ и $g: E \rightarrow E_j$ дает следующие равенства:

$$\text{id}(E) \circ f = f \text{ и } g \circ \text{id}(E) = g$$

Как отмечалось ранее (определение 1, п. 3 и п. 4), математическая структура, обладающая операциями типа операции “композиция” со свойствами (определение 1, п. 1 и п. 2), является категорией. Объектами этой категории являются сущности ОС, а морфизмами – отношения между сущностями ОС. Обозначим эту категорию через C .

Для указания элементов объектов категории в теории категорий используется следующий прием.

Вводится особый объект точка, который сокращенно обозначается через I , обладающий следующим свойством:

для каждой сущности E из категории C существует единственный морфизм из E в I , который обозначается через $I(E): E \rightarrow I$. Это свойство полностью характеризует объект точка. В теории категории его называют финальным объектом. Полезно также иметь пустой объект (сущность \emptyset), который задается следующим свойством: для любой сущности категории C множество всех морфизмов $C(\emptyset, E)$ состоит из единственного морфизма $\emptyset(E): \emptyset \rightarrow E$. В теории категорий такой объект называют инициальным.

В дальнейшем будем предполагать, что рассматриваемая здесь категория C имеет сущности \emptyset и I .

Категория C называется непротиворечивой, если область \emptyset неизоморфна области I . Соответственно, если ОС \overline{E} представлена непротиворечивой категорией, то представление называется непротиворечивым.

Пусть E некоторая сущность из категории \mathcal{C} . Известно, что элементы объекта задаются морфизмами $e: I \rightarrow E$ из области точка в область E . Множество морфизмов $\mathcal{C}(I, E)$ соответствует множеству всех известных элементов сущности E в категории \mathcal{C} .

Если $f: E_1 \rightarrow E_2$ морфизм, то он индуцирует отображение известных элементов сущности E_1 в известные элементы сущности E_2 . Действительно, пусть $e: I \rightarrow E_1$ произвольный элемент сущности E_1 , тогда композиция морфизмов $f \circ e: I \rightarrow E_2$ элемент сущности E_2 .

В основе категорного подхода к представлению ОС так же как и в основе реляционного подхода в моделях баз данных лежит некоторый набор операций, называемых категорными [4]. Категорные операции позволяют по одним сущностям и преобразованиям (морфизмам) строить (выражать) другие сущности и преобразования.

Пусть \mathcal{F} – множество морфизмов, а \mathcal{E} – множество сущностей категории \mathcal{C} .

Приведем операции, которые уже встречались в ходе рассмотрения ОС.

1. Область_определения: $\mathcal{F} \rightarrow \mathcal{E}$. Обозначается $_()$. Для заданного морфизма $f: E_1 \rightarrow E_2$ результатом будет сущность E_1 .

2. Область_значений: $\mathcal{F} \rightarrow \mathcal{E}$. Обозначается $(_)$. Для заданного морфизма $f: E_1 \rightarrow E_2$ результатом будет сущность E_2 .

3. Тожественный_морфизм: $\mathcal{E} \rightarrow \mathcal{F}$. Сущности E сопоставляет морфизм $1E$.

4. Композиция: $\mathcal{F} \times \mathcal{F} \rightarrow \mathcal{F}$. Обозначается символом \circ . Операция композиция сопоставляет паре морфизмов (f_1, f_2) третий морфизм обозначаемый $f_2 \circ f_1$, если $_ (f_2) = (f_1)_$.

5. Операция $_E$: $\mathcal{E} \rightarrow \mathcal{F}$. Эта операция сущности E сопоставляет морфизм $1E$.

6. Операция $\emptyset E$: $\mathcal{E} \rightarrow \mathcal{F}$. Эта операция сущности E сопоставляет морфизм $\emptyset E$.

Как видно из приведенных операций, только четвертая создает что-то новое, а остальные извлекают из категории известные элементы ОС.

7. Операция $_TMP$: $\mathcal{E} \times \mathcal{E} \rightarrow \mathcal{E} \times \mathcal{F}$.

Очень важным понятием в теории категорий является теоретико-множественное произведение (ТМП) двух объектов.

Пусть E_1 и E_2 объекты категории \mathcal{C} . Декартово произведение $E_1 \times E_2$ – это новый объект вместе с морфизмами (проекциями) $pr_1: E_1 \times E_2 \rightarrow E_1$ и $pr_2: E_1 \times E_2 \rightarrow E_2$, обладающие следующими свойствами: для любой пары морфизмов $f_1: E \rightarrow E_1$ и $f_2: E \rightarrow E_2$ есть морфизм $(f_1, f_2): E \rightarrow E_1 \times E_2$, композиция которого с проекциями pr_1 и pr_2 дает равенства:

$$pr_1 \circ (f_1, f_2) = f_1 \text{ и } pr_2 \circ (f_1, f_2) = f_2,$$

и, наоборот, любой морфизм вида $f: E \rightarrow E_1 \times E_2$, представляется в виде $f = (\text{pr}_1 \circ f, \text{pr}_2 \circ f)$.

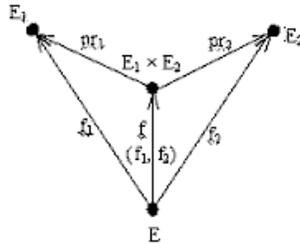


Рис.3

В этом определении декартовое произведение объектов задается следующим набором операций: произведением объектов $E_1 \times E_2$, проекциями $\text{pr}_1 (E_1, E_2)$, $\text{pr}_2 (E_1, E_2)$ и произведением морфизмов (f_1, f_2) , которые по областям E_1, E_2 и морфизмам f_1, f_2 строят соответствующие объект и морфизмы.

Приведенных операций вполне достаточно для ведения ОС и извлечения из неё информации. Однако в практических приложениях для различных ОС могут понадобиться и другие полезные операции. Целесообразно было бы унифицировать систему операций так, чтобы набор операций был конечным и единым для различных ОС.

Удовлетворить этим казалось бы противоречивым требованиям к системе операций, предъявляемым задачами представления ОС, оказалось возможно за счет введения конечного набора особых операций над объектами и морфизмами категории C , который позволяет иметь описание самой категории внутри этой же категории C . Такие категории называются рефлексивными [5].

Пусть в категории C дополнительно заданы две области Name_o – множество имен объектов и Name_m – множество имен морфизмов (преобразований) вместе с финальным объектом I категории C , а также с преобразованиями между ними с соотношениями, которые входят в определение понятия категории, так что относительно этих преобразований множества элементов областей Name_o и Name_m образуют категорию, которая называется категорией имен.

Введем необходимые морфизмы этой категории:

$e: \text{Name}_o \rightarrow \text{Name}_m$ отображает имя объекта (E) категории C в имя его тождественного морфизма $1E: E \rightarrow E$;

$\text{Name}_{\text{dom}}: \text{Name}_m \rightarrow \text{Name}_o$ отображает имя морфизма в имя объекта, являющегося его областью определения, т.е. для морфизма $f: E_1 \rightarrow E_2$ отображает имя f в имя E_1 .

$Name_codom: Name_m \rightarrow Name_o$ отображает имя морфизма в имя объекта, являющегося его областью значений, т.е. для морфизма $f: E_1 \rightarrow E_2$ отображает имя f в имя E_2 .

По смыслу этих морфизмов между ними должны выполняться соотношения:

$$Name_dom \circ e = id (Name_o), Name_codom \circ e = id (Name_o),$$

которые означают, что имена области определения и области значений для имени тождественного морфизма совпадают с именем объекта этого морфизма.

Дополним категорию имен морфизмом композиции имен. Обозначим через E объект в категории C , который получается операцией уравнивания пары морфизмов $Name_dom \circ pr_1$ и $Name_codom \circ pr_2$ из произведения объектов $Name_m \times Name_m$ в $Name_o$, где pr_1 – проекция произведения $Name_m \times Name_m$ на первый сомножитель, а pr_2 – проекция на второй сомножитель. То есть E это подобъект в $Name_m \times Name_m$, состоящий из тех пар имен морфизмов, у которых имя области определения первой компоненты пары совпадают с именем области значений второй.

Пусть в категории C задан морфизм вида $comp_name: Name_o \rightarrow Name_m$, который называется композицией имен морфизмов. Если в $Name_m$ были $f_1: E_1 \rightarrow E_2$, $f_2: E_2 \rightarrow E_3$, и не было имени $f_3: E_1 \rightarrow E_3$, то по морфизму $comp_name$, задавая E_2 , получим морфизм $f_3: E_1 \rightarrow E_3$ в $Name_m$.

Предполагается также, что для морфизмов $comp_name$, $Name_dom$, $Name_codom$, e выполняются соотношения являющиеся аналогами аксиом категорий. Следовательно, объект $(Name_o, Name_m, comp_name, Name_dom, Name_codom, e)$ является внутренней категорией категории C : Тогда финальный объект I категории C , множество элементов объектов $Name_o$ и $Name_m$ и операции на них, индуцированные морфизмами $comp_name$, $Name_dom$, $Name_codom$, e , по определению внутренней категории образуют малую категорию.

Эту категорию имен назовем C_{name} .

Определение 3. Категория C вместе с внутренней категорией C_{name} , называется категорией с категорией имен $[D]$.

Определение 4. Категория C вместе с внутренней категорией C_{name} называется рефлексивной категорией C^R , если существуют функторы

$F_n: C \rightarrow C_{name}$ и $F_d: C_{name} \rightarrow C$, такие что их композиция $F_d \circ F_n = 1_C$, является тождественным функтором на C .

Функтор F_n называется функтором именования, функтор F_d – денотатом (т.е. функтором разименования).

Функтор F_n по каждой области E категории C строит элемент:

$F_n(E): I \rightarrow Name_o$ в области $Name_o$ категории C_{name} , а по каждому морфизму категории C строит элемент $F_n(f): I \rightarrow Name_m$ в области $Name_m$ категории C_{name} .

При этом на функторы F_n и F_d накладываются соотношения:

$$F_d(F_n(E)) = E \text{ и } F_d(F_n(f)) = f$$

для любых объектов E и морфизмов f в категории C , т.е. $Denote$ - это обратная функция по отношению к F_n , что было отмечено выше:

$$F_d \circ F_n = 1C.$$

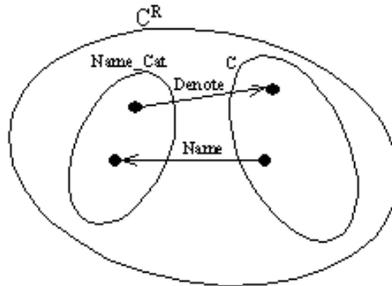


Рис. 4

Таким образом, рефлексивная категория C^R , являющаяся алгебраической моделью ОС, состоит из категорий C и C_{name} и двух функторов F_n и F_d .

$C^R = (E, R, OER, Nc, Nm, Ocm, F_n, F_d)$, где

E – множество сущностей ОС;

R – множество морфизмов (связей) ОС;

OER – операции в категории C ;

Nc – множество имён сущностей;

Nm – множество имён морфизмов;

Ocm – операции в категории C_{name} ;

F_n – функтор именованя : $C \rightarrow C_{name}$;

F_d – функтор разыменованя: $C_{name} \rightarrow C$.

Использование категории C^R для представления ОС позволяет отражать знания о структуре всей категории, обращаясь к описанию внутри категории.

Дополнительно к этому, использование категорных операций категории C^R позволяет строить новые операции над объектами и преобразованиями категории C , вводя новые преобразования лишь над именами, а с помощью функторов F_n и F_d находить соответствующие им объекты и морфизмы.

Применение ОС в логических моделях прикладной области и реализации категории CR на уровне некоторой СУБД позволит повысить «масштабируемость» ПО до уровня включения (исключения) сущностей из последовательности сущностей ОС.

Список литературы: 1. Codd E.F. A relational model for large shared data banks. Comm. of ACM 13, 6, 1970, p.377-387. 3. Бениаминов Е. М. Система представления и обработки понятий основанная на алгебраическом (категорном) подходе. Труды II Всесоюзной конференции “Искусственный интеллект - 90”, т.2, 1990, с.8-11. 4. Голблатт Р. Топосы. Категорный анализ логики. М.: Мир, 1983. 5. Джонстон П.Т. Теория топосов. М.: Наука, 1986. 3.

Поступила в редколлегию 16.11.05

Е. М. ГЕЦОВИЧ, д-р техн. наук, проф.,

С. Г. СЕЛЕВИЧ, асп., НТУ “ХПИ”,

Т. В. МАРТЫНЕЦ, инж., Электромеханический техникум ХНАГХ

К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПРОБНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В ДУАЛЬНЫХ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ С ЗАРАНЕЕ НЕИЗВЕСТНЫМ НЕУСТОЙЧИВЫМ ОПТИМУМОМ

В статті обґрунтовано необхідність, параметри та отримана залежність для коректування коефіцієнта пробних впливів в дуальних адаптивних системах керування об'єктами із заздалегідь невідомим нестійким оптимумом на прикладі автомобільного колеса в гальмовому(тяговому) режимі.

Введение

Одной из наиболее сложных задач при разработке систем автоматического управления объектами с заранее неизвестным оптимумом является синтез закона управления. Решение этой задачи возможно методами общей теории адаптивных систем [1,2], которые позволяют «нащупывать» искомый оптимум. Эти методы обеспечивают приемлемый результат при управлении объектами, динамическое состояние которых изменяется достаточно медленно (минимум несколько секунд). Если же динамическое состояние объекта регулирования изменяется сравнительно быстро (десятые или сотые доли секунд), то непосредственное применение методов дуального адаптивного управления приводит к результатам, не существенно отличающимся от других, в том числе и «эвристически» синтезированных, законов автоматического управления [3].

Анализ последних достижений и публикаций

Известен ряд работ по синтезу дуальных адаптивных законов управления движением автомобильного колеса в тормозном и тяговом режимах [3,4,5], которое является типичным объектом регулирования с заранее неизвестным неустойчивым оптимумом динамического состояния.

Колесо в процессе торможения (разгона) совершает сложное плоское движение (см. рис.1), которое можно представить в виде суммы переносного (движение центра колеса O вдоль оси X) и относительного (вращение колеса вокруг центра O). Уравнение кинестатики в этих движениях имеют вид:

$$\frac{Z}{g} j = R_x \quad (1)$$

$$J\dot{\omega} = -M_T + R_x r_d \quad (2)$$

где:

- Z - часть силы веса машины, приходящаяся на колесо;
- g - ускорение свободного падения;
- j - продольное замедление колеса;
- R_x - суммарная касательная реакция в пятне контакта колеса с дорогой;
- J - момент инерции связанных с колесом вращающихся масс;
- ω - угловая скорость колеса;
- M_T - тормозной (тяговый) момент, приложенный к колесу со стороны тормозного механизма (трансмиссии);
- r_d - динамический радиус колеса;

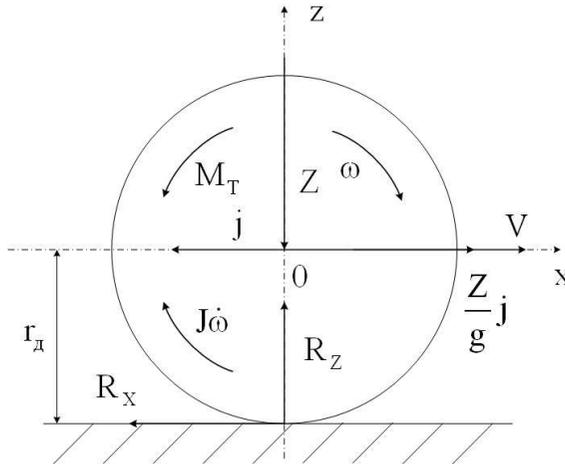


Рис. 1. Расчетная схема качения колеса в тормозном режиме

Для количественной оценки взаимодействия колеса с опорной поверхностью в тормозном (тяговом) режимах используется коэффициент сцепления

$$\varphi_x = \frac{R_x}{Z} \quad (3)$$

а для оценки степени заторможенности (буксования) колеса величина относительного продольного скольжения

$$S = \frac{V - \omega r_d}{V} \quad (4)$$

в тормозном и

$$S = \frac{\omega r_d - V}{\omega r_d} \quad (5)$$

в тяговом режимах, где:

V - скорость центра колеса в переносном движении.

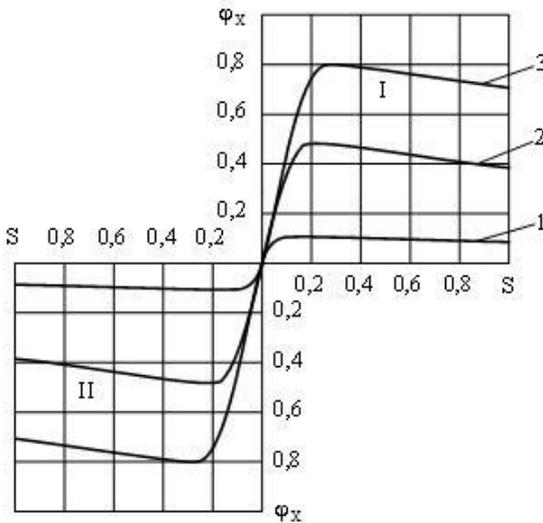


Рис. 2. $\varphi-S$ диаграммы в тормозном (I) и тяговом (II) режиме

1 – скользкая, 2 – мокрая, 3 – сухая дорожная поверхность

Примерные зависимости $\varphi_x = \varphi_x(S)$ для скользкой, мокрой и сухой дорожной поверхности показаны на рис. 2. Значение S , при котором достигается $\varphi_{x\text{MAX}}$, называют критическим и обозначают S_K .

Из (1), (2) и (3) путем несложных преобразований можно получить соотношение

$$M_T = -J\dot{\omega} + \frac{Zr_d}{g} j , \quad (6)$$

из которого следует, что степень рассогласования между j и $\dot{\omega}$ обусловлена величиной приложенного к колесу момента, который в свою очередь, пропорционален (в тормозном режиме) величине давления в исполнительном аппарате тормозного привода:

$$M_T = K_M \cdot P_{\text{ПР}} , \quad (7)$$

где:

K_M - коэффициент пропорциональности;

$P_{\text{ПР}}$ - давление в исполнительном аппарате тормозного привода.

В установившемся режиме торможения (разгона) параметры j и $\dot{\omega}$ связаны соотношением

$$j = \dot{\omega} \cdot r_d , \quad (8)$$

а для достижения такого режима необходимо M_T ($P_{\text{ПР}}$) регулировать пропорционально степени рассогласования j и $\dot{\omega}$ с учетом знака рассогласования по зависимости [4]:

$$\frac{dP_{\text{ПР}}}{dt} = K_{\text{ч}} \left(\dot{\omega} - \frac{K_{\text{ПР}}}{r_d} j \right) , \quad (9)$$

где:

$K_{\text{ч}}$ - коэффициент чувствительности системы управления;

$K_{\text{ПР}}$ - коэффициент пробных воздействий.

Для удобства анализа процессов регулирования степени заторможенности (буксования) колеса используют так называемые фазовые

диаграммы (см. рис. 3), которые строятся в соответствии с уравнением (6), приведенным к безразмерному виду:

$$\frac{M_T}{Z_{r_d}} = -\frac{J}{Z_{r_d}} \dot{\omega} + \varphi_x, \quad (10)$$

в координатах $\varphi_x - S$.

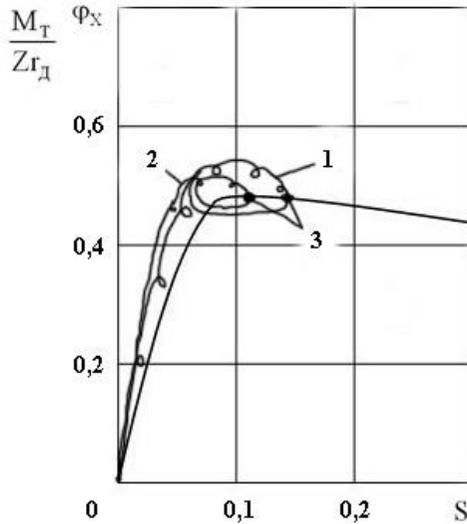


Рис. 3. Фрагмент фазовых диаграмм процессов регулирования.

1 – при $K_{ГР} = \text{Const}$; 2 – при $K_{ГР} = K_{ГР0} - aS + bj$; 3 – точка прекращения регулирования $P_{ГР}$

В соответствии с принципом дуального адаптивного управления логика выбора пробного воздействия, осуществляемого с помощью $K_{ГР}$, заключается в следующем: произойдет ли повышение величины продольного замедления j , если ещё увеличить M_T . Для этого $K_{ГР}$ необходимо задать больше 1, так как в случае $K_{ГР} = 1$ процесс регулирования может стабилизироваться в любой точке $0 \leq S \leq S_K$, отличной от оптимума.

Вследствие наличия запаздываний в исполнительных элементах системы автоматического управления процесс регулирования по условию (9) носит колебательный характер (петли на кривых 1 и 2, рис. 3). Колебательный характер снижает эффективность торможения колеса, задерживая процесс

достижения $\varphi_{x\text{MAX}}$, но позволяет определить момент времени, в который следует прекратить регулирование $P_{\text{ГР}}$, а также при $P_{\text{ГР}} = \text{Const}$ вывести объект регулирования из неустойчивой зоны ($S_K < S$) в устойчивую ($S \leq S_K$) [5]. При этом чем меньше $K_{\text{ГР}}$, тем ближе т. з к $S = S_K$, то есть выше качество управления.

Цель и постановка задачи

Цель данного исследования заключается в устранении противоречий в требованиях к величине коэффициента пробных воздействий на устойчивой и неустойчивой ветвях регулирования динамического состояния объекта с заранее неизвестным неустойчивым оптимумом.

Для достижения поставленной цели необходимо определить параметры, в функции которых следует регулировать коэффициент пробных воздействий $K_{\text{ГР}}$, а также обосновать выбор зависимости $K_{\text{ГР}}$ от этих параметров.

Очевидно, что при $0 \leq S \leq S_K$ для ускорения вывода процесса регулирования на максимум зависимости $\varphi_x = \varphi_x(S)$ величину $K_{\text{ГР}}$ следует задавать достаточно большой, при $S = S_K$ пробное воздействие можно прекратить, то есть принять $K_{\text{ГР}} = 1$, а при $S_K < S$ величину $K_{\text{ГР}}$ следует снизить до $K_{\text{ГР}} < 1$ с целью приближения т. з к S_K , т.е. ускорения вывода объекта регулирования из неустойчивой зоны.

Выбор параметров и зависимости для корректировки величины коэффициента пробных воздействий.

Из $\varphi - S$ диаграмм (рис.2) видно, что $K_{\text{ГР}}$ в процессе его корректировки должен быть:

$$\begin{aligned}
 K_{\text{ГР}} &= K_{\text{ГР}0} \text{ (максимальным) при } S = 0 ; \\
 K_{\text{ГР}} &= 1 \text{ при } \varphi_{x\text{MAX}} \approx 0,1 \text{ и } S_K = 0,1 \text{ на скользкой дороге;} \\
 K_{\text{ГР}} &= 1 \text{ при } \varphi_{x\text{MAX}} \approx 0,45 \text{ и } S_K = 0,2 \text{ на мокрой дороге;} \\
 K_{\text{ГР}} &= 1 \text{ при } \varphi_{x\text{MAX}} \approx 0,8 \text{ и } S_K = 0,3 \text{ на сухой дороге.}
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

Известно, что в начале торможения $K_{\text{ГР}} = 1,7 \dots 1,9$ достаточен для быстрого достижения $\varphi_{x\text{MAX}}$ [5]. Величина S может быть вычислена по зависимостям (4) и (5). Величина φ_x неизвестна, а измерение её в процессе регулирования не представляется возможным. Однако, с учетом (1) и (3) величину φ_x можно оценить по величине параметра j , который является контролируемым и легко измеряется.

Из сказанного следует, что величина $K_{\text{ГР}}$ должна быть максимальной в начальной стадии торможения (при $S=0$ и $j=0$), а затем убывать по мере возрастания S , но возрастать по мере возрастания j . Для реализации такой корректировки коэффициента пробных воздействий может быть использовано достаточно простое выражение

$$K_{\text{ГР}} = K_{\text{ГР}0} - aS + bj, \quad (12)$$

где a и b - постоянные коэффициенты, подлежащие определению.

Вычисление значений a и b может быть выполнено с использованием условий (11). Поскольку неизвестных два, а условий три, то для вычисления могут быть использованы два из них, а третье условие – для проверки. Запишем (12) для скользкой и сухой дорог, приняв $K_{\text{ГР}0} = 1,8$, а $j = \varphi_{\text{X}}g$, в виде:

$$\begin{bmatrix} 0,1 & -0,1g \\ 0,3 & -0,8g \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,8 \\ 0,8 \end{bmatrix}. \quad (13)$$

Решив систему (13), получим $a \approx 11$ и $b \approx 0,32$. Проверим значение $K_{\text{ГР}}$ для мокрой дороги в точке $S = S_{\text{К}}$. $K_{\text{ГР}} = 1,8 - 0,2 \cdot a + 0,45g \cdot b = 1,02$, то есть $K_{\text{ГР}} \approx 1,0$.

Поскольку кривые $\varphi_{\text{X}} = \varphi_{\text{X}}(S)$ для скользкой (обледенелой) и сухой дорожных поверхностей являются предельными, ограничивающими возможный диапазон изменения зависимостей $\varphi_{\text{X}} = \varphi_{\text{X}}(S)$, а условие корректировки $K_{\text{ГР}}$ (12) обеспечивает приемлемый результат как на границах этого диапазона, так и в его середине (для мокрой дороги), можно утверждать, что условие (12) приемлемо для всего возможного диапазона изменения сцепных условий.

Список литературы: 1. Тасев А.С. Вопросы параметрической оптимизации существенно нелинейных систем // Адаптивные системы автоматического управления. – №1. – Киев: Техника, 1973. – С.3-14. 2. Загарий Г.И. Методы построения адаптивных систем управления для нестационарных динамических объектов. – Деп. в НИИНавтопроме 25.04.83, №3771ап-Д83 // Анот. в БУ ВИНТИ "Депоинированные научные работы", №10(144), 1983. – С.82 3. Гецович Е.М. Классификация алгоритмов функционирования АБС // Автомобильная промышленность. – 1987. – №11. – С.34. 4. Гецович Е.М., Александров Е.Е. Синтез законов автоматического управления торможением транспортного средства // Механіка та машинобудування. – 1999. – №1. – С.140-148. 5. Гецович Е.М., Ходирев С.Я., Фаворов Н.Ю. Сравнительная оценка некоторых алгоритмов противоблокировочных систем по качеству регулирования процесса торможения. // Деп. в НИИНавтопром. – М., 1982.-№ 720 ап Д82. БУ «Депоинированные рукописи». М.: ВИНТИ, 1982.-№8.- Реф. 130.

Поступила в редколлегию 02.12.05

Н. И. БЕЗМЕНОВ, канд. техн. наук,
Я. В. ПЕТРОВА, магистрант НТУ «ХПИ»

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

У статті розглянута так називана узагальнена геоінформаційна система, тобто система, абстрагована від конкретної сфери застосування, моделі місцевості й т.д. Запропоновано методику побудови структури геоінформаційної системи.

1. Введение

Геоинформационная система (ГИС) – это информационная система (система аппаратно-программных средств и алгоритмических процедур), созданная для цифровой поддержки, пополнения, управления, манипулирования, анализа, математико-картографического моделирования и образного отображения географически координированных данных. Географические данные содержат четыре интегрированных компонента: местоположение, свойства и характеристики, пространственные отношения и время. ГИС является динамическим объектом. У пользователя есть возможность: изменять масштаб, преобразовывать картографические проекции, варьировать объектным составом карты (что выводится), получать через карту в режиме реального времени многочисленные базы данных, изменять способы отображения объектов (цвет, тип линии, символ и т.п.) в зависимости от содержимого баз данных, легко вносить любые изменения.

Структура ГИС, как правило, включает четыре обязательные подсистемы:

- подсистемы ввода данных, обеспечивающей ввод и/или предварительную обработку пространственных данных, полученных с карт, материалов дистанционного зондирования и т.д.;
- подсистемы хранения и поиска, позволяющей оперативно получать данные для соответствующего анализа, актуализировать и корректировать их;
- подсистемы обработки и анализа, которая дает возможность оценивать параметры, решать расчетно-аналитические задачи;
- подсистемы представления (выдачи) данных в требуемом виде (а именно, в виде карты, таблицы, изображения, блок-диаграммы, цифровой модели местности и т.д.).

ГИС хранит информацию о реальном мире в виде набора тематических слоев, которые объединены на основе географического положения. Любая географическая информация содержит сведения о пространственном положении, будь то привязка к географическим или другим координатам,

ссылка на адрес, почтовый индекс, избирательный округ или округ переписи населения, идентификатор земельного или лесного участка, название дороги или километровый столб на магистрали и т. п.

При использовании подобных ссылок для автоматического определения местоположений объектов применяется так называемая процедура геокодирования. С ее помощью можно быстро определить и посмотреть на карте, где находится интересующий объект или явление, где произошло событие, по какому маршруту лучше добраться до нужного пункта.

Основой визуального представления данных служит так называемая графическая среда [1]. ГИС объединяет два принципиально различных типа данных. Первый определяет форму и местоположение объекта или явления – это пространственные данные. По форме представления их можно разделить на векторные и растровые. Подвидом растровых данных являются изображения – цифровые космические снимки, аэроснимки и обычные фотоснимки, любые оптически отсканированные документы и картинки, в том числе и бумажные карты. Данные второго типа представляют собой дополнительные сведения о географическом объекте (например, число населения в городе) – это атрибутивные данные. Пространственные данные являются основой для создания базовой карты, атрибутивные придают этой карте больший смысл и специфику.

2. Постановка задачи

Определение основополагающих принципов функционирования любой автоматизированной системы, достижение ее целостности, оптимизация структуры осуществляются на основе методов системного анализа. Анализ, выполненный с использованием методов формализации общей теории систем, отвечает требованиям целостности и единства рассматриваемых проблем и задач, позволяет определить структуру обобщенной ГИС и минимальные требования, которым должна удовлетворять такая система.

Системный подход – междисциплинарное научное направление, изучающее объекты любой физической природы как системы. Это – методология познания частей на основании целого и целостности.

Главная концепция системного подхода состоит в изучении некоторой системы, которое необходимо проводить не только, изучая его части, а и в "обратном" направлении, – определив основные свойства системы как целого, интерпретировать функционирование и развитие ее частей (подсистем) с точки зрения системы в целом [4]. Необходимо рассматривать систему сразу и одновременно во всем комплексе проблем и на всех уровнях организации, в том числе – с учетом анализа организации внешней для системы среды. При системном подходе любой объект рассматривается как совокупность взаимосвязанных элементов: входа (ресурсы), выхода (цель), связи с внешней средой, в том числе обратную связи.

Системный подход опирается на эксперимент и ориентирован на выявление закономерностей, непосредственно следующих из наблюдений и экспериментов. Эксперименты ставятся на основе принятой исследователем теоретической концепции, исходя из целей и задач исследователя. На основании выявленных факторов и закономерностей создается модель объекта, среды. Модель заменяет исследователю теорию, которая ориентирована на его потребности и становится источником последующих выводов, домыслов и гипотез.

Системный подход позволяет представить процесс построения любой информационной системы в виде схемы, содержащей семь этапов (рис 1), которые определяют создание системы от постановки задачи до ее реализации.

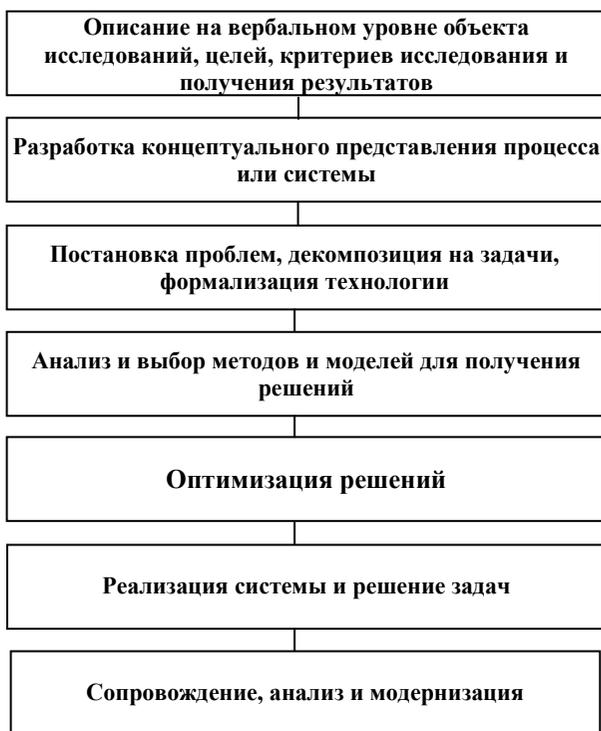


Рис 1. Схема построения автоматизированной системы

3. Метод решения

При системном подходе процесс разработки ГИС интерпретируется как поиск оптимальной структуры системы путем разбиения ее на подсистемы. При этом реализуется концепция разработки «сверху вниз».

Построение схемы обобщенной ГИС можно осуществить на основе анализа входных/выходных информационных потоков, функционирующих в автоматизированной системе. Совокупность входных и выходных данных ГИС может быть представлена в виде независимых технологических совокупностей трех групп: сбора, моделирования и хранения, представления. Что является достаточным для того, чтобы представить входные X и выходные Y потоки обобщенной ГИС в виде независимых совокупностей (в форме декартовых произведений):

$$X=(X_1 \otimes T3c \otimes T3m \otimes T3n); \quad (1)$$

$$Y=(X_y \otimes ЦММ \otimes ЦМК), \quad (2)$$

где $T3c$ – техническое задание на сбор информации; $T3_m$ – техническое задание на хранение, обновление и моделирование; $T3_n$ – техническое задание на представление данных после окончательной обработки; X_1 – множество первичных данных, получаемых или собираемых с помощью различных технологий; X_y – множество унифицированных данных, получаемых после сбора и первичной обработки; ЦММ – цифровая модель местности, хранимая в базе данных ГИС [2]; ЦМК – цифровая модель карты, сгенерированная для визуального представления на дисплее или для печати.

Цифровая модель карты представляет собой отображение цифровой модели местности с помощью средств компьютерной визуализации. Необходимые операции на этапе построения ЦМК включают подготовку (выбор) математической основы (проекции), базовых слоев (как правило, это элементы топоосновы) и тематических слоев. Обязательным условием получения качественной цифровой модели должно быть наличие процедур автоматической верификации всех слоев (геометрии и атрибутики).

Множество X_1 представляет собой сложную совокупность данных, получаемых с помощью разных технологий: по геодезическим методам на местности, по фотоснимкам, при помощи систем GPS (Global Position System), из архивных табличных данных и т.д.

На основе общей теории систем с учетом выражений (1) и (2) можно представить обобщенную ГИС в виде трехуровневой структуры. Ее составляющие представлены на рис. 2, где УСО – системный уровень сбора и первичной обработки информации; УМХ – системный уровень моделирования, хранения и обновления; УП – системный уровень представления данных; НТ_м и НТ_п – нормативные требования к данным при моделировании.

На первом уровне наиболее широко представлены задачи первичной обработки информации, а именно, задачи распознавания, структуризации, декомпозиции, компоновки, измерения, сжатия, контроля, унификации. Для второго уровня определяющими являются задачи типизации, геометрического преобразования, экспертного типа, построения цифровых моделей синтеза и т. п. На третьем уровне наиболее значимы задачи оптимизации, компоновки, синтеза и другие аналогичные задачи.

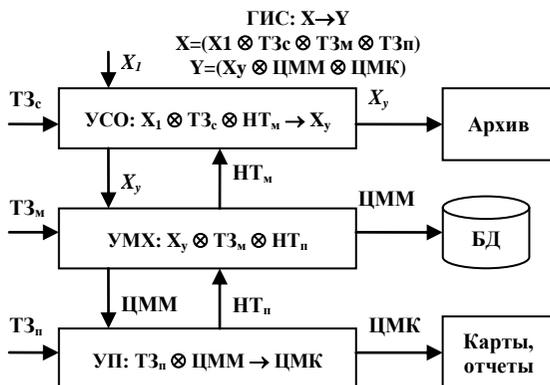


Рис 2. Структура обобщенной ГИС

4. Выводы

Таким образом, системный подход позволяет построить схему ГИС в виде основных уровней обработки информации. Данный метод применим не только к ГИС, но и к любой автоматизированной системе, включая САПР, АСИС, АСУ. Следовательно, любая информационная система или система управления при аналогично заданных условиях (1), (2) представима в виде трехуровневой системы. Эта общность структур систем, различающихся задачами и целями, а также общность преобразования информации дает основание говорить и об общности концепций и методов обработки данных в этих системах. Таким образом, на уровне системной структуры ГИС и других АС существует общность принципов обработки данных широкого круга прикладных задач, включая управление, организацию производства, проектирование, хранение и обновление данных.

Список литературы: 1. Берлянт А.М. Геоинформатика. – М., 1996. – 208 с. 2. Цветков В. Я. Моделирование в научных исследованиях и проектировании. – М., 1991. – 125 с. 3. DeMers M. Fundamentals of Geographic Information Systems. John Wiley & Sons, 1996. – 320 p. 4. Колесников Л. А. Основы теории системного подхода. – К., 1988. – 175 с. 5. Кошкарёв А. В., Каракин В. П. Региональные геоинформационные системы. – М., 1987. – 26 с.

Поступила в редколлегию 20.10.05

В.А. КОЛБАСИН

ОЦЕНКА ОТКЛОНЕНИЯ ОТ НОМИНАЛА ЧАСТОТ ДВУХТОНАЛЬНОГО СИГНАЛА НАБОРА НОМЕРА

У роботі розглянуто метод оцінювання відхилення частот сигнальних компонентів (СК) двотонального сигналу набору номера від номіналу та потужності СК. За цим методом оцінки знаходяться по двом оцінкам спектральної щільності потужності з різними значеннями ширини елемента розрізнення за частотою. Розглянуто величину похибки оцінки та межі застосування даного методу.

Введение. При разработке систем компьютерной телефонии актуальной является задача распознавания сигналов набора номера в тональном режиме (ННТР). Сигнал ННТР представляет собой сумму двух синусоидальных сигналов (сигнальных компонент, СК), частоты которых f_1, f_2 выбираются из множества допустимых частот F . Выбор конкретных значений частот f_1, f_2 определяет передаваемую цифру. Параметры сигнала ННТР определяются стандартом [1].

В большинстве приложений применяется классическая методика распознавания сигнала, изложенная в частности в работе [2]. Согласно ей на анализируемом участке сигнала вычисляются оценки спектральной плотности мощности (СПМ) на всех частотах множества F . Среди вычисленных оценок находятся две частоты с наибольшими оценками СПМ, и исходя из предположения, что они являются частотами СК, выполняется проверка соответствия параметров сигнала требованиям стандарта [1]. Однако при этом величина допустимого отклонения частоты СК от номинала задается неявно выбором ширины элемента разрешения по частоте при вычислении оценок СПМ, используемых при проверке допустимости отношения мощностей СК (твист). Поскольку стандарт задает отдельные требования для каждого из вышеперечисленных параметров, то при их совместном отклонении от номинальных значений использование значения твиста для определения соответствия сигнала требованиям стандарта будет некорректно. В этом случае, декодер может произвести как ложное определение, так и ложный пропуск цифры.

Цель работы. Целью данной работы является разработка методики оценивания мощности СК и отклонения частоты СК от номинала.

Анализ. Будем рассматривать спектр анализируемого сигнала как сумму спектра помехи $S_{NS}(f)$ и спектра незашумленного сигнала ННТР $S_{ННТР}(f)$:

$$S'(f) = S_{NS}(f) + S_{ННТР}(f). \quad (1)$$

Оценка СПМ сигнала (1) на частоте f_1 представляет собой свертку функции прямоугольного окна $W(f)$ и спектра сигнала [3]:

$$S(f_1) = \int_{-\infty}^{\infty} S_{NS}(g) \cdot W(f_1 - g) dg + \int_{-\infty}^{\infty} S_{ННТР}(g) \cdot W(f_1 - g) dg. \quad (2)$$

Так как функция спектра прямоугольного окна убывает с увеличением частоты, влиянием гармоник помехи, значительно удаленных от частоты, на которой вычисляется оценка СПМ, можно пренебречь. Тогда при относительной равномерности спектра помехи в области частот сигнала ННТР саму помеху будем рассматривать как белый шум. Следствием этого допущения будет то, что вклад энергии помехи в оценки СПМ не будет зависеть от частоты и будет равняться:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \langle S_{NS}(g) \rangle \cdot W(f - g) dg = S'_{NS} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} W(f - g) dg = S_{NS}, \quad (3)$$

где S'_{NS} - уровень помехи в частотной области;

S_{NS} - энергия помехи, приходящаяся на элемент разрешения по частоте.

В предположении о том, что в области частот сигнала ННТР присутствуют лишь две явно выраженные гармоники, соответствующие частотам СК, оценка СПМ по незашумленному сигналу на одной из частот СК (для определенности обозначим ее как f_1) можно представить в виде:

$$S(f_1) = \int_{-\infty}^{\infty} S_{ННТР}(g) \cdot W(f_1 - g) dg = S_1 \cdot W(f_1 - f'_1) + S_2 \cdot W(f_1 - f'_2), \quad (4)$$

где f_1 - номинальная частота СК, на которой вычисляется оценка СПМ;

f'_1, f'_2 - реальные частоты СК;

S_1, S_2 - реальные мощности СК.

С учетом (4) выражение (2) примет вид:

$$S(f_1) = S_{NS} + S_1 \cdot W(f_1 - f'_1) + S_2 \cdot W(f_1 - f'_2). \quad (5)$$

Из выражения (5) видно, что, вычислив оценки СПМ на двух частотах СК при двух различных длинах окон, теоретически можно найти реальные значения частот СК. Однако, внутри допустимых стандартом пределов изменения частоты СК можно найти такие две частоты $f_{2,1}$ и $f_{2,2}$, для которых выполняются условия:

$$W(f_2 - f_{2,1}) = W(f_2 - f_{2,2}), \quad W(f_1 - f_{2,1}) = W(f_1 - f_{2,2}). \quad (6)$$

Поэтому на практике в рамках данного подхода найти значения частот СК не представляется возможным. Тем не менее, если пренебречь взаимным влиянием СК, выражение (5) примет вид:

$$S(f_1) = S_{NS} + S_1 \cdot W(f_1 - f'_1). \quad (7)$$

Поскольку $W(f)$ симметрична и в пределах главного лепестка бина $W(|f|)$ непрерывно убывает, по значению $W(f - f')$ можно будет однозначно определить абсолютное значение величины отклонения частоты СК от номинала. Для этого необходимо вычислить как минимум две оценки СПМ на одной и той же частоте, но с разной шириной бина (длиной окна анализа). Для двух оценок СПМ при длинах окон анализа N_1, N_2 на основании (7) составим систему уравнений:

$$\begin{cases} S_1(f_1) = S_1 \cdot W_{N_1}(f_1 - f_1') + S_{NS} \\ S_2(f_1) = S_1 \cdot W_{N_2}(f_1 - f_1') + S_{NS} \end{cases}, \quad (8)$$

из решения которой найдем модуль отклонения частоты от номинала $|f_1 - f_1'|$ и значение реальной мощности СК $S_{\text{ННТР}}(f)$.

После выполнения простых преобразований и подстановки в (8) значения спектра прямоугольного окна получим:

$$\frac{S_1(f) - S_{NS}}{S_2(f) - S_{NS}} = \frac{N_2 \cdot \sin(\pi \cdot (f_1 - f_1') \cdot N_1 / f_{\text{смп}})}{N_1 \cdot \sin(\pi \cdot (f_1 - f_1') \cdot N_2 / f_{\text{смп}})}. \quad (9)$$

Поскольку (9) имеет вид гиперболической функции, для практических применений имеет смысл использовать ее аппроксимацию:

$$\frac{S_1 - S_{NS}}{S_2 - S_{NS}} = \frac{a}{(|f_1 - f_1'| + b)} + c. \quad (10)$$

Коэффициенты аппроксимации вычисляются следующим образом. Поскольку правая часть (9) устремляется в бесконечность при $|f_1 - f_1'| \cdot N_2 / f_{\text{смп}} = 1$, смещение аргумента b найдем из соотношения:

$$b = f_{\text{смп}} / N_2. \quad (11)$$

Коэффициенты a и c найдем как параметры эквивалентной линейной регрессии $y = a \cdot x + c$ после выполнения следующей замены переменных [4]:

$$x = \frac{1}{(|f_1 - f_1'| - b)}, \quad y = \frac{W_{N_1}(|f_1 - f_1'|)}{W_{N_2}(|f_1 - f_1'|)}. \quad (12)$$

С использованием аппроксимации (10) отклонение частоты от номинала будет вычисляться по формуле:

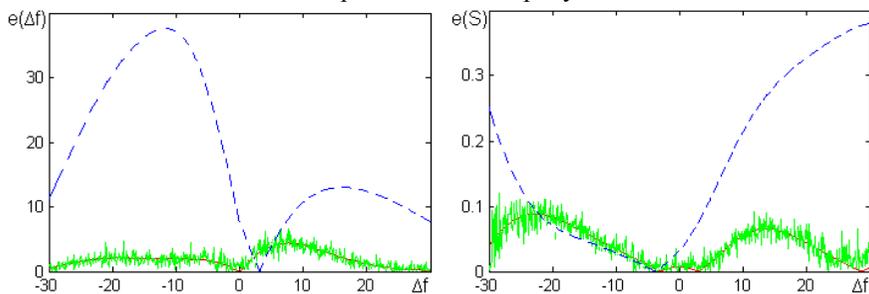
$$|f - f'| = \frac{a}{(S_1 - S_{NS}) / (S_2 - S_{NS}) - c} + b, \quad (13)$$

а оценка мощности СК по формуле:

$$S(f) = \frac{\pi \cdot S_2(f) \cdot N_2 \cdot |f_1 - f_1'|}{f_{\text{смп}} \cdot \sin(\pi \cdot N_2 \cdot |f_1 - f_1'| / f_{\text{смп}})}. \quad (14)$$

Поскольку значение ошибки аппроксимации внутри основного лепестка бина не превышает 10%, данную аппроксимацию вполне можно применять при распознавании сигналов ННТР.

Результаты. Для проверки адекватности предложенного метода были сформированы тестовые сигналы ННТР, в которых частота одной СК изменялась в пределах главного лепестка бина. Для этих сигналов с помощью предложенного метода находились оценки отклонения частоты СК от номинала и мощности СК. Графики ошибки оценивания для сигнала с частотами СК 852 и 1336 Гц представлены на рисунке.



Графики ошибок оценивания отклонения частоты СК от номинала и мощности нормированной СК. Сплошной линией обозначены ошибки оценок при наличии белого шума, пунктирной – при наличии гармонической помехи с мощностью, равной мощности СК на частоте 770 Гц.

Как видно из рисунка ошибка оценивания является достаточно большой в середине спадов главного лепестка бина, но уменьшается ближе к краю. Также из рисунка следует, что при наличии гармонической помехи ошибка оценивания резко увеличивается.

Выводы. Предложенный в работе метод позволяет на основании двух оценок СПМ на одной и той же частоте, полученных при различных ширинах бина, вычислить отклонение частот СК от номинала и скорректировать оценку мощности СК. Несмотря на достаточно большую ошибку оценок, метод вполне можно применять при распознавании сигналов ННТР. При этом в декодере ННТР необходимо предусмотреть оценку типа шума и применять данный метод только при отсутствии явно выраженных гармонических помех в области сигнала ННТР.

Список литературы: 1. CCITT Blue Book, Recommendation Q.24: Multi-Frequency Push-Button Signal Reception, - Geneva, 1989. 2. Analog Devices, DSP Applications using the ADSP-2100 Family. Prentice-Hall, 1992. 3. Г. Дженкинс, Д. Ватмс, Спектральный анализ и его приложения, – М.Мир - 1971, 4. Справочник алгоритмам и программам на языке бейсик для персональных ЭВМ. – М. Наука, 1987. – 240 с.

Поступила в редколлегию 20.09.05

А. Ю. СИДОРЕНКО, А.А. ЧЕРНЫШЕВ

ВЛИЯНИЕ ИСХОДНЫХ СВОЙСТВ ОПТИЧЕСКОГО ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ

За допомогою теоретико-ймовірнісного підходу визначено вплив неоднорідності структури матеріалу на мікрогеометрію поверхонь після обробки лезом, а також на експлуатаційні характеристики оптичних полімерних виробів. Встановлений параметр гранично допустимого значення (квантиля) характеризує початкову структуру оптичного полімерного матеріалу, при якому можливо отримання виробів з потрібними експлуатаційними властивостями.

Введение. Современные технологии лезвийной обработки оптических полимерных (ОП) материалов позволяют получать изделия с высокими эксплуатационными и функциональными характеристиками. Расширение областей применения деталей из полимерной оптики ужесточают требования, предъявляемые к ним, и обуславливают необходимость разработки новых методик контроля качества продукции на всех этапах производства.

Неоднородность физико-механических свойств поверхности является одной из причин, негативно влияющих на функциональные (появление трещин серебра, снижение коэффициента внутреннего отражения) и эксплуатационные (долговечность) характеристики ОП изделий. Имеющиеся в литературе модели структуры поверхности [1] и выведенные на их основе зависимости для контроля параметров качества обладают существенным недостатком. Они, зачастую, неприменимы к ОП материалам, либо требуют специального технологического оборудования и большого количества экспериментальных данных.

Постановка проблемы. Исследование влияния неоднородности поверхности на шероховатость изделия и эксплуатационные свойства ОП изделий вызывает научный и практический интерес. Знание величины и характера данного влияния позволит нам прогнозировать получение изделия с заданным качеством шероховатости и необходимой долговременной стабильностью.

Целью данной работы является определение влияния неоднородности структуры материала на микрогеометрию поверхности после лезвийной обработки, а также на эксплуатационные характеристики с помощью теоретико-вероятностного подхода.

В основу промышленной технологии получения крупногабаритных оптических полистирольных пластин положен традиционный способ свободнорадикальной полимеризации в массе с последующей механической

обработкой. При получении полимерных блоков, объем которых достигает до 1000 литров, что соответствует теоретическому пределу данной технологии, возможно возникновение остаточных напряжений и варьирование микротвердости в пределах одного блока от 127 до 188 МПа. При этом крайне не желательными и опасными являются напряжения растяжения в поверхностных слоях оптических полимеров. Последующие операции механической обработки вскрывают, а зачастую и усугубляют (черновая обработка) дефекты и напряжения, имеющиеся в изделии [2].

Технология лезвийной обработки поверхности позволяет оценивать этот процесс, за счет количественно выражающихся критериев качества этой поверхности, достигнутого в результате обработки. Такие критерии можно выразить в терминах неслучайных статистических характеристик функционалов от случайных реализаций процесса (функционалы качества). На основе обработки наборов случайных значений функционалов качества методами математической статистики строится соответствующая теория принятия решений.

Были проведены измерения микротвердости поверхности образцов полученных из различных блоков. На каждом образце было проведено более 50 измерений. Измерения проводились на микротвердомере ПМТ-3 по невозстановленному отпечатку индентора. Вес необходимой нагрузки 20 грамм, время на поворот рукоятки нагружающего устройства 10 с, продолжительность выдержки под нагрузкой 5 - 7 с. Шаг 0,5 мм, что исключает возможность влияния соседних измерений друг на друга.

Профиль обрабатываемой поверхности, как известно, содержит не только периодическую, а также случайную составляющую, которая играет немаловажную роль в формировании микрогеометрии [3]. Влияние на преобладание той или иной составляющей оказывает подача, профиль головки режущего инструмента, характеристики материала, вибрация режущего инструмента технологической системы. Взаимодействие данных факторов можно рассматривать в рамках анализа стохастических процессов.

Прежде чем приступить к статистическому описанию процесса, необходимо проверить, подчиняются ли полученные измерения нормальному закону распределения. Проверку соответствия эмпирического закона распределения ординаты профиля нормальному закону можно осуществить с помощью критерия согласия Пирсона χ^2 . Как известно [4], вероятность того, что величина χ^2 при совпадении предполагаемого (табличного) и эмпирического выборочного законов распределения должна равняться 21.9, т.е. при уровне значимости равном 5%. Следовательно, если имеет место нормальный закон распределения, то значение критерия χ^2 с вероятностью 95% должно быть менее 21.9. Результаты проверки соответствия полученных измерений нормальному закону показали, что эмпирическое распределение хорошо согласуется с нормальным ($\chi^2_{эмт.} = 21.3$). Исходя из этого, модель измерений микротвердости оптических поверхностей можно представить в виде реализации нормального марковского процесса.

В силу того, что получены дискретные данные, в качестве математической модели, описывающей структуру поверхностного слоя, будем использовать аддитивный квадратичный функционал качества.

$$J = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N H_{\mu_i}^2, \quad (1)$$

где H_{μ_i} – значения микротвердости, измеренные на концах подынтервалов; $i=0,1,2,\dots,N$.

Для принятия решений о качестве обработанной поверхности можно использовать стратегию, описанную в работе [5].

В качестве критерия принятия решения о качестве поверхности используется правосторонний квантиль η_α аддитивного функционала (1). Для нахождения порогового значения η_α необходимо найти значения оценок параметров шероховатости: σ – интенсивность, ν – декремент. Затем построить плотности распределения $f_j(\eta)$ данного функционала (1). Для известной плотности распределения вероятностей $f_j(\eta)$ случайного функционала (1) и заданного уровня значимости α справедливо:

$$\int_{\eta_\alpha}^{\infty} f(\eta) d\eta = \alpha, \quad (2)$$

где η_α – искомый правосторонний квантиль.

Поскольку найти аналитическое представление для плотности распределения не представляется возможным, то для описания статистических свойств рассматриваемого функционала удобно использовать аппарат, основанный на вычислении производящей функции $Q_J(\lambda)$ [6].

Полученный из (2) квантиль (с помощью обратного преобразования Лапласа) будет использоваться для определения влияния структуры (микротвердости) поверхности на качество обработки ОП, а также на их эксплуатационные свойства. Если зафиксированное значение η критерия качества J (1) будет меньше критического значения η_α , то изделие считается годным. Если найденное при наблюдении значение J будет больше критического значения η_α , то изделие должно подвергаться вторичной обработке.

Основные результаты. Для определения влияния неоднородности микротвердости изделия на микрогеометрию поверхности были взяты 10 образцов ($50 \times 50 \times 10$) из различных блоков и получены с каждого образца по 70 измерений микротвердости. Одновременно были проведены измерения шероховатости поверхности (R_a , мкм) и проведены испытания на стойкость к растрескиванию по ГОСТ 10667-90 в соответствии с методикой описанной в

[7]. График влияния подачи на шероховатость поверхности образцов с различной структурой представлен на рис. 1.

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что при неоднородных исходных свойствах (микротвердости) поверхности образца шероховатость поверхности выше чем при аналогичных условиях обработки образцов с нормальной ($H_\mu = 161$ МПа), повышенной ($H_\mu = 180$ МПа) и низкой ($H_\mu = 130$ МПа) микротвердостью.

Так же было установлено, что при лезвийной обработке образцов с повышенной микротвердостью на входе и выходе инструмента образуются значительные сколы материала, что негативно влияет на оптические свойства изделия. Данные образцы можно обрабатывать на более низких подачах, без образования «налипов», что позволяет получить изделия с более низкими показателями шероховатости поверхности.

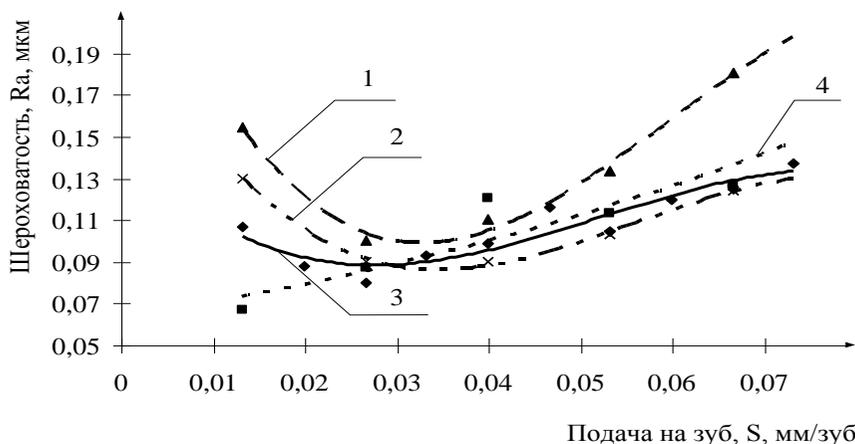


Рисунок 1 – Влияние подачи на шероховатость поверхности образцов с различной микротвердостью ($V = 1750$ м/мин; $t = 0,05$ мм, природный алмаз, $\alpha = 12^\circ$, $\gamma = 4^\circ$): 1 - $H_\mu = 127-188$ МПа; 2 - $H_\mu = 130$ МПа; 3 - $H_\mu = 161$ МПа; 4 - $H_\mu = 180$ МПа

Образцы с пониженной микротвердостью, необходимо обрабатывать на более высоких подачах чем образцы с нормальной и повышенной. На последующей операции «полировка» возможно возникновение прижогов поверхности.

Испытания на трещиностойкость показали, что чем выше изменение микротвердости в пределах одного образца, тем больше образцы подвержены растрескиванию (трещины серебра). При воздействии внешних факторов (температура, радиация, механические нагрузки и т.п.), в процессе эксплуатации, появляющиеся трещины серебра способны привести к полной потере оптических свойств. Образцы со стабильными (нормальными,

повышенными либо пониженными) значениями микротвердости удовлетворяют необходимым требованиям по трещиностойкости.

На основании теоретических положений были построены корреляционные функции (пример рис. 2 и рис. 3) и найдены оценки декремента затухания $\hat{\nu}$ и дисперсии $\hat{\sigma}$ для всех ОП образцов (полученные данные сведены в таблицу).

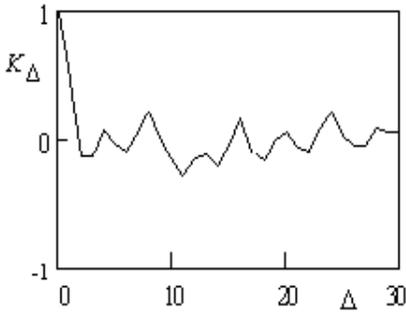


Рисунок 2 – Пример нормированной аппроксимации корреляционной функции (масштаб по оси абсцисс: 1 : 0.083)

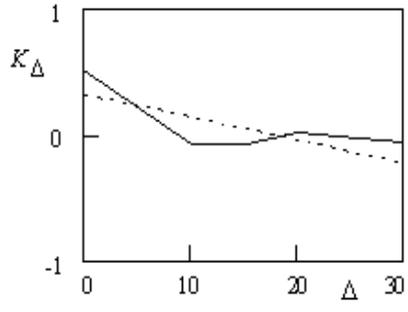


Рисунок 3 – Пример и средней линии корреляционной функции (масштаб по оси абсцисс: 1 : 0.083)

На рис. 4 представлены плотности распределения вероятностей, полученные при обработке данных 1-го, 3-го и 7-го измеренных образцов.

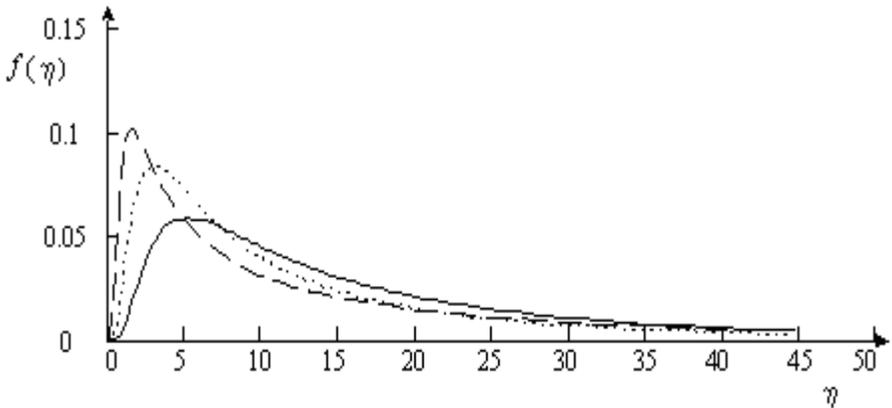


Рисунок 4 – Плотность распределения вероятностей для данного функционала J (параметры $N = 30$, $\sigma = 11,551; 8,292; 10,625$, $\nu = 0,239; 0,181; 0,061$, $\Delta = 0,5$)

Анализ зависимостей, построенных на рис. 4, показывает, что изменение полученных статистических данных (дисперсии σ и коэффициента корреляции ν) приводит к образованию различных форм плотностей распределения. Это означает, что различная структура поверхности непосредственно влияет на шероховатость поверхности.

Для нахождения правостороннего квантиля по описанной в данной статье методике необходимо построить интегральный закон распределения функционала качества (1). На рис. 5 изображены реализации интегрального закона распределения, соответствующие плотностям распределения вероятностей, построенным на рис. 4. Также на этом рисунке нанесены найденные правосторонние пороговые значения для 1-го, 3-го и 7-го образцов.

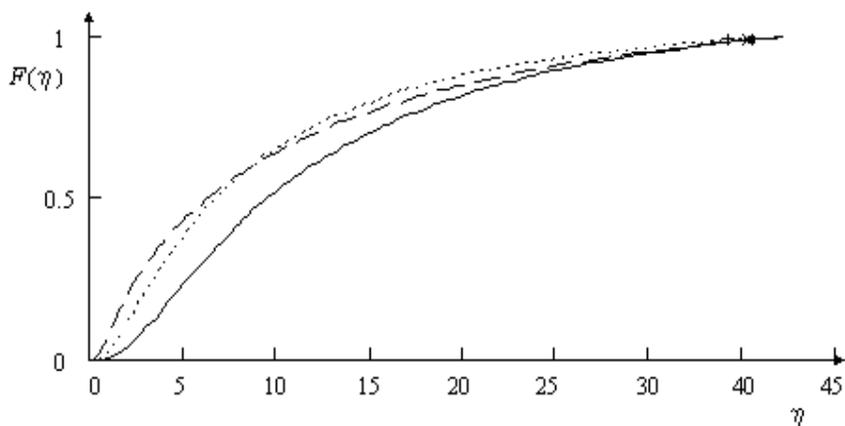


Рисунок 5 – Реализация интегрального закона $F(\eta)$ распределения функционала (1) для нахождения правостороннего квантиля η_α (параметры $N = 30$, $\sigma = 11,551; 8,292; 10,625$, $\nu = 0,239; 0,181; 0,061$, $\Delta = 0,5$)

Проанализировав полученные зависимости можно сказать о непосредственном влиянии квантилей на микротвердости обработанных ОП поверхностей.

Первым шагом при работе с данной методикой является экспериментальное нахождение квантиля изделия с предельно допустимой неоднородностью структуры, которая позволит получить изделие с заданными показаниями по качеству и долговременной стабильности. В рамках данного исследования был определен предельно допустимый квантиль $\eta_\alpha \approx 42,000$.

В таблицу сведены некоторые полученные результаты ОП образцов.

Таблица – Результаты исследования

№ образца	СКО, σ , МПа	Декремент, ν	R_a , мкм	Правосторонний квантиль, η , МПа ²	Предельно допустимый квантиль, η_a , МПа ²
1	11,551	0,239	0,11	42,633	42,017
2	10,263	0,372	0,10	42,318	
3	8,292	0,181	0,08	41,377	
4	9,764	0,420	0,09	41,962	
5	11,912	0,591	0,12	43,013	
6	9,491	0,413	0,08	41,534	
7	10,625	0,061	0,10	42,510	

Выводы. Разработана методика оценки качества исходной структуры полимерного оптического материала, базирующаяся на теории стохастических процессов. Данная методика позволяет при минимальных финансовых и временных затратах прогнозировать получение оптического изделия после лезвийной обработки с необходимыми требованиями по шероховатости и долговременной стабильности.

Установлено, что величина предельно допустимого порогового значения (квантиля), характеризующего исходную структуру ОП материала, при которой возможно получение изделия с требуемыми эксплуатационными свойствами, составляет $\eta_a \approx 42,017$. Заготовки, которым соответствуют значения $\eta > \eta_a$, требуют дополнительной термической обработки (отжиг).

Список литературы: 1. *Г. М. Чанг, С. Г. Капур* «Динамика процесса формирования поверхностей при механической обработке. Часть 1. Описание системы случайного возбуждения». – «Современное машиностроение», 1991, № 9. – с. 86-93. 2. *М. В. Литвиненко*. Повышение функциональных и эксплуатационных характеристик оптических полистирольных изделий, полученных фрезерованием: - Дисс. канд. техн. наук: 05.03.01 – Харьков, 2004 – 182 с. 3. *А. П. Хусу, Ю. Р. Виттенберг, В. А. Пальмов*. Шероховатость поверхностей (теоретико-вероятностный подход). – М.: Наука, 1975. – 344 с. 4. *А. С. Мазманишвили*. Континуальное интегрирование как метод решения физических задач. – К.: Наукова думка, 1987. – 224 с. 5. *Н. В. Везуб, А. С. Мазманишвили и др.* Особенности формирования микрогеометрии крупногабаритных оптических полимеров. Вестник НТУ «КПИ», Вып. 41. – К.: Машиностроение, 2001. – 260 с. 6. *А. С. Мазманишвили, А. Ю. Сидоренко*. «Статистическое описание многоточечного квадратичного критерия качества при технологической обработке шероховатых поверхностей». – Харьков: «Механика и машиностроение». – 2004, № 4. – с. 240-245. 7. *И. Нарисава*. Прочность и механизмы разрушения полимеров. – М., 1987. – 400 с.

Поступила в редколлегию 08.10.05

А.П. УЛЕЕВ, канд. техн. наук, **И.Ю. МАЛЮТИНА**, **В.И. КИЛЬДИШЕВ**,
Ю.С. ШЕВЦОВ

ПРИНЦИП КАСКАДНОГО КОДОПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТАЙМЕРНЫХ КОДОВ

Пропонуються шляхи зниження втрат пропускної здатності каналу та алгоритми каскадного кодування при спільному використанні разрядно-цифрових і таймерних кодів у телекомунікаційних системах.

Summary. Ways of decrease in losses of throughput of the channel and algorithms of cascade coding are offered at sharing bit-digital and timer's codes in telecommunication systems.

Введение. Принцип каскадного кодирования предусматривает использование нескольких ступеней кодопреобразователей [1]. При этом символами кода последующей ступени являются слова кода предыдущей ступени. Например, для двухкратной системы кодопреобразования можно выделить две ступени кодирования (кодеки) - внешний и внутренний кодек. Разрядность каскадного кода n определяется разрядностью n_1 внешнего и n_2 внутреннего кода. Эффективная скорость передачи такой системы $R_1 = k_1 / n_1$, $R_2 = k_2 / n_2$, а k_i , n_i - элементы на отдельных ступенях кодирования.

Метод каскадного кодирования. Известно [2], что одним из основных направлений использования таймерных кодов (ТК), является простое кодирование ТК с минимальным кодовым расстоянием $d_0 = 1$. При таком способе формировании ТК можно наиболее полно реализовать временной интервал передачи сигналов источника информации. Временной отрезок исходного кода источника информации (интервал времени, например кода КОИ-7), как правило, содержит m - двоичных единичных элементов, с помощью которых при разрядно-цифровом способе кодирования (РЦК) реализуют все возможные 2^m кодовые слова алфавита.

При совместном использовании РЦК и ТК можно реализовать принцип каскадного кодирования (см. рис. 1), при котором на первой ступени преобразования (внешний кодек) блочный или непрерывный РЦК, избыточность которого определяет требуемое качество передачи, а на второй ступени (внутренний кодек) ТК, как простой ($d_0 = 1$) так и избыточный.

Число реализаций N_p при использовании таймерных сигналов (ТС) значительно выше, особенно при простом кодировании, когда любая генерируемая кодовая комбинация входит в алфавит всех разрешённых N_p реализаций. Если же использовать такие коды при каскадном кодировании (внутренний кодек), то на этом этапе кодопреобразования можно наиболее полно реализовать временной интервал $T_u = m \cdot t_0$ кодовой комбинации, т.е. увеличить количество информации.

При определённых условиях передачи и параметрах ТС можно получить алфавит сигнала простого ТК $N_p \gg N_H$ (где N_H – объём источника информации $N_H = 2^m$). Если объём передаваемого сообщения не превышает N_H , то при $N_p = N_H$ значительно сокращается время передачи кодового блока ТК $T_{TK} = T_H$. На втором этапе кодопреобразования вводится избыточный групповой код для целей защиты информации от ошибок. Выбирая и оптимизируя параметры ТК и групповых кодов, можно достичь эффективной скорости передачи не ниже, а в некоторых случаях и выше для систем передачи дискретной информации безызбыточного кодопреобразования.

Статистика каналов связи. Анализ состояний существующих каналов, к которым относятся каналы низовых уровней сетей LAN и MAN показывают, что каналы большую часть времени находятся в хорошем состоянии и незначительную часть в плохом для проводных каналов связи порядка 2-3 %. Поэтому вводимая избыточность особенно при группировании ошибок в пакеты используется малоэффективно, при этом резко снижается эффективная скорость передачи, и для систем передачи с обратной связью при $P_0 \geq 10^{-3}$ практически падает до нуля.

Рассмотрим эффективность использования непрерывных (цепных) кодов в односторонних системах ПДИ при работе по коммутируемым каналам низового уровня сети LAN.

В работе [1] представлено выражение для оценки вероятности ошибочного приема кодового блока условий длины n при использовании цепного кода, исправляющего k -кратные ошибки.

$$P_{КЦ} = 1 - q^n - C_n^1 p^1 q^{n-1} - \dots - C_n^k p^k q^{n-k}$$

Целесообразно ввести условную кодовую группу, длина которой равна сумме допустимого пакета ошибок l_n и минимально необходимого интервала между пакетами ошибок l_u .

$$\left. \begin{aligned} l_n &= 2l + 1 \\ l_u &= 4l + 1 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где l -шаг сложения элементов для цепного кода. Откуда $n = l_n + l_u$

Однако выражение (1) не позволяет учесть характер группирования ошибок, что снижает точность оценки.

В работе проводится оценка эффективности применения цепного кода, исправляющий пакет ошибок $\leq l_n$, при условии безошибочного интервала $\geq l_u$. Выражение для верхней границы коэффициента повышения верности

$$K_{эф} \leq \frac{P(\geq 1, l_{II})}{P(\geq l_{II} + 1, l_{II})} \quad (2)$$

Используя статистику потока ошибок [3] для реального коммутируемого канала ГТС, в таблице 1 сведены результаты расчёта коэффициента верности (2). Значения $P(\geq 1, l_{II})$ и $P(\geq l_{II} + 1, l_{II})$ определены на основе знания $P(\geq 1, n)$ и $P(\geq m, n)$.

Как следует из табл.1, использование цепного кода на коммутируемых каналах ГТС позволяет снизить вероятность ошибки на знак на **2÷2,5** порядка при относительной скорости передачи $R = 0,5$. При этом $K_{эфmax}$ составляет при шаге сложения $l = 5,6$.

Таблица 1

l	2	3	4	5	6	7
$P(\geq 1, l_{II})$	$7.3 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1.3 \cdot 10^{-2}$	$1.3 \cdot 10^{-2}$	$1.5 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$
$P(\geq l_{II} + 1, l_{II})$	$6.7 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$3.3 \cdot 10^{-5}$	$3.5 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-5}$
$K_{эф}$	108	200	258	400	414	315

Моделирование непрерывных кодов. С целью проведения анализа эффективности применения непрерывных кодов при работе по трактам ГТС, была изготовлена измерительная система передачи с цепным кодом Финка-Хагельбаргера с шагом сложения $l = 3, 4, 5, 6, 7$, структурная схема которой приведена на рис. 1.

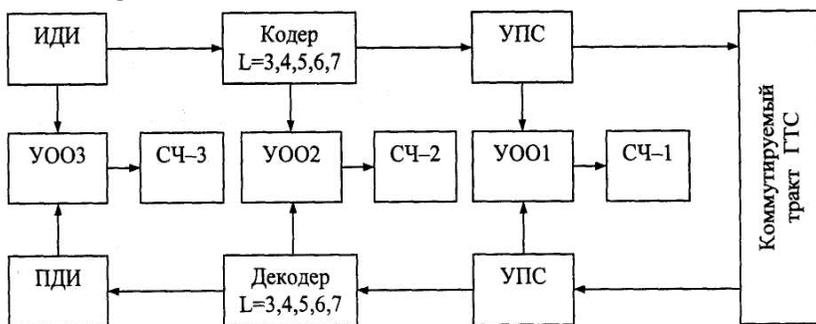


Рис.1

В качестве окончных устройств передачи-приема использованы датчик и приемник испытательного текста. В качестве устройств преобразования сигналов /УПС/ при измерениях были использованы модемы каналообразующей аппаратуры ТТ-48 и ЧВТ.

В результате проведенных статистических измерений были определены следующие характеристики:

- частота ошибок по элементам P_o (УОО1-СЧ1);
- частота ошибок по элементам на выходе декодера $P_{оц}$ (УОО2-СЧ2);
- частота ошибки по знакам на выходе декодера $P_{кц}$ (УОО3-СЧ3);
- коэффициент повышения верности за счёт применения цепного кода $K_{эф}$, где УОО устройства обнаружения ошибок, СЧ - счётчики анализа.

Исследования проводились при двух способах организации измерительного тракта с групповой скоростью передачи $B = 100$ Бод;

1. УПС – выделенный модем 1У группы, система ЧВТ, $F = 700$ Гц;
 $B/F = 0,143$ Бод/Гц;
2. УПС – выделенный модем, 112 канал системы ТТ-48, $F = 80$ Гц;
 $B/F = 1,25$ Бод/Гц;

В табл. 2 приведены значения коэффициента использования цепного кода с $l = 3, 4, 5, 6, 7$.

По данным эксперимента были построены графики зависимости $P_{оц} = f(P_o, P, l)$ при различных способах организации измерительного тракта (см. рис. 2 и рис. 3).

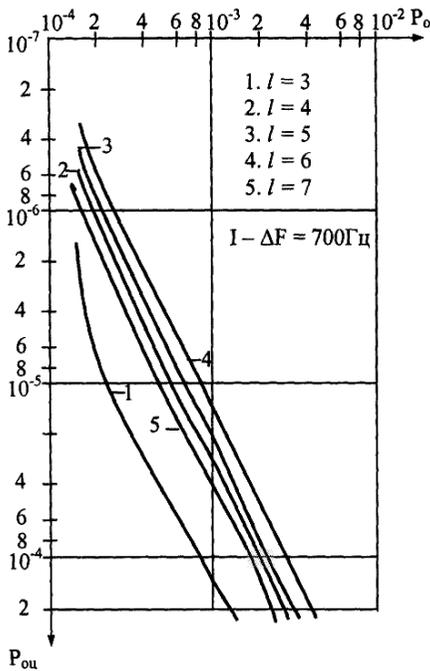


Рис. 2

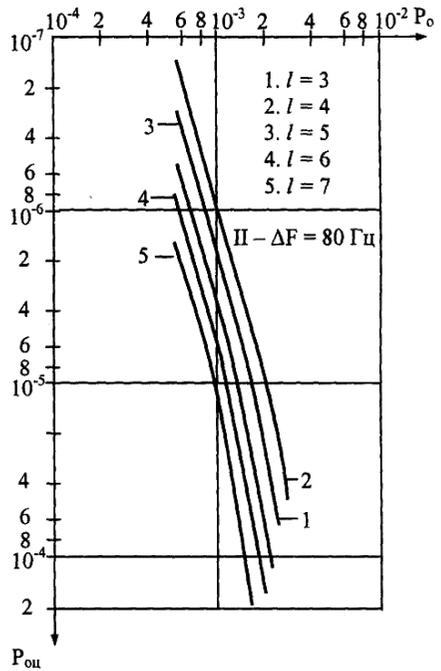


Рис. 3

Анализируя эти зависимости можно сделать следующий вывод, что вероятность ошибки по элементам $P_{Oц}$ зависит от шага сложения l и полосы пропускания канала связи.

Таблица 2

l	3	4	5	6	7	P , дБ
1	90	275	300	422	208	-8.7
	18	135	158	200	95	-13.05
	10	65	73	125	60	-1.4
	4	10	12	16	8	-25.1
2	200	375	100	80	38	-8.7
	138	258	72	40	28	-13.05
	40	48	20	16	11	-17.4
	4	6	3	2	1	-25.1

Таким образом по результатам исследований можно утверждать, что максимальный выигрыш в верности передачи $P_{КЦ} = (2 \div 8) \cdot 10^{-6}$ по знакам, достигается при работе по коммутируемым каналам ГТС с уровнем передачи $P = -8,7$ дБ при потерях пропускной способности $R = 0,5$.

Следует отметить, что при измерениях не учтены потери в верности передачи, вызванные неидеальной работой устройств синхронизации и фазирования синхронного тракта передачи-приема.

Сравнивая результаты теоретического и экспериментального исследований, представленных в табл. 1 и 2 можно отметить, что при $F = 700$ Гц максимальный выигрыш по достоверности приходится для $l = 5,6$.

Моделирование кодека каскадного кода. Известно, что простым в техническом отношении являются цепные коды с относительной скоростью $R = 1/2$. Среди таких кодов наиболее простым являются коды Финка-Хагельбаргера.

Недостатком кодов с $R = 1/2$ является то, что при их использовании требуется вдвое расширить полосу пропускания канала связи. Уменьшить ширину канала можно, если на выходе цепного кода включить кодер ТК.

В существующей аппаратуре передачи данных чаще всего применяется распознавание элементов кодовых комбинаций методом анализа в средней точке. Поэтому при ширине зоны $S = 12\%$ большая часть ошибок будет возникать за счет краевых искажений в проводных каналах со средним квадратическим отклонением $\sigma \leq 2,1\%$. Вероятность ошибки в канале с ТК определяется по формуле:

$$P_{ош} = \frac{1}{2} [1 - F_k(S/2\sigma)] \leq 2,2 \cdot 10^{-3}$$

где F_k – функция Крампа.

Полученное значение верности передачи в канале является недостаточным для передачи данных. Повышение достоверности может быть достигнуто благодаря каскадному использованию простейшего цепного кода и декодера с кодеком ТК. Схемы кодера и декодера для цепного кода с $R = 1/2$ и минимальным кодовым расстоянием d_m приведены на рис. 4а и рис. 4б. Обозначения на рисунках соответствуют: ДЛЗ – дискретная линия задержки, т. е. последовательный регистр сдвига с памятью $\gamma_0 = 6$; КТК – кодер таймерного кода; ДТК – декодер таймерного кода; КД – кодер декодера цепного кода, аналогичный по схеме кодеру на передающем конце линии и & - трехвходовой пороговый элемент.

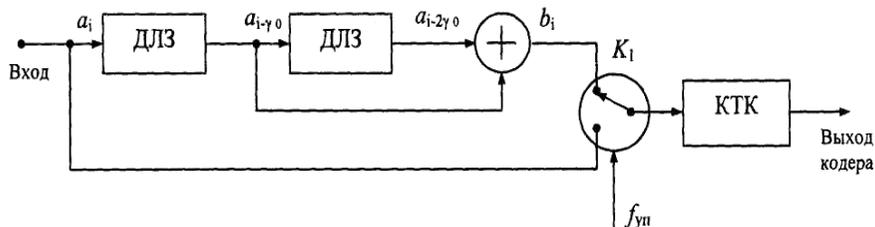


Рис. 4, а

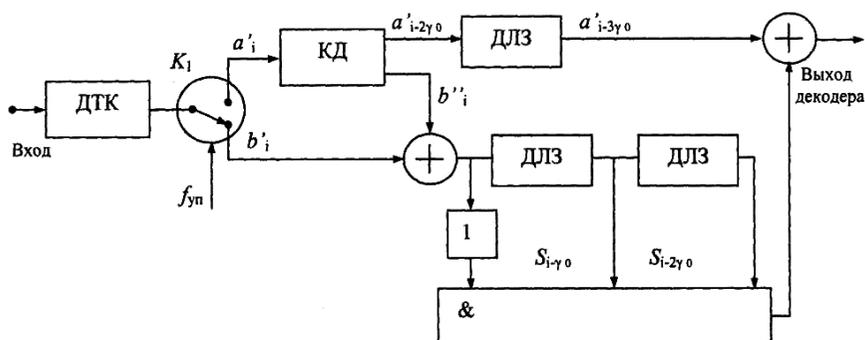


Рис. 4, б

В табл.3 приведена статистика совместного использования ТК и цепного кода Финка-Хагельбаргера. В данной таблице колонки с соответствующими обозначениями имеют следующий смысл: P_0 – заданная вероятность ошибки

в канале; L – объем выборки, заданный в кодовых элементах; I_1 – количество ошибок в канале; I_2 – количество ошибок на выходе декодера; K_O – достигнутое значение коэффициента ошибки в канале; K_d – коэффициент ошибки на выходе декодера, который практически совпадает с вероятностью ошибки на выходе декодера и $W = K_O / K_d$ выигрыш по вероятности ошибки.

Таблица 3

P_O	L	I_1	I_2	K_O	K_d	W
0.05	500000	49922	8724	4.99E-02	1.74E-02	2.9
0.03	750000	44843	4980	2.99E-02	6.64E-02	4.5
0.01	1000000	20165	782	1.01E-02	7.82E-02	12.9
0.008	2000000	31915	1005	7.98E-02	5.02E-04	15.9
0.005	4000000	40111	862	5.01E-02	2.15E-04	23.3
0.002	8000000	32223	274	2.01E-03	3.42E-05	58.8
0.001	15000000	29896	120	9.96E-03	8.00E-06	124.6

Выводы. Таким образом, совместное использование кода Финка-Хагельбаргера даёт возможность примерно на два порядка снизить вероятность ошибки.

Так как в плохом состоянии канал может исказить два идущих подряд символа ТК, то на передаче дополнительно может быть реализована перестановка символов последовательности, обеспечивающая декорреляцию ошибок, т.е. некоторые байты переставляются перед кодером ТК. Естественно, на приеме после декодирования сигналов ТК для восьмиразрядных блоков следует сделать обратную перестановку байтов на входе декодирующего устройства сверточного кода.

Следовательно, применение на входе в канале кодера ТК позволяет повысить эффективность использования канала.

Список литературы: 1. Захарченко Н.В., Крысько А.С., Захарченко В.Н. Основы кодирования. Учебное пособие. – Одесса. УГАС им. А.С. Попова, 1999. – С. 240.
2. Захарченко В.М. Синтез багатопозиційних часових кодів - К.: Техніка, 1999. – 284 с.
3. Захарченко В.Н., Кильдишев В.И., Буряченко Б.Д., Драганов А.В. Эффективность использования сигнальных конструкций на базе таймерных сигналов. // Научные труды ОНАС им. А. С. Попова. – 2002. – №2.

Поступила в редколлегию 20.09.05

В.І.ШЕКЕТА, канд. техн. наук

ПОБУДОВА МОДЕЛІ МОДИФІКАЦІЙНИХ ПРЕДИКАТНИХ ЗАПИТІВ НА ОСНОВІ ПРЕМОНОЇДНИХ КАТЕГОРІЙНИХ СТРУКТУР

На шарах індексованої категорії модифікаційних предикатних запитів введено премоноїдні структури замість моноїдних, що з точки зору програмної імплементації в більшій мірі відповідає стандартній процедурі Prolog–резольуції. Введено спосіб використання премоноїдних структур на шарах синтаксичних і семантичних стратегій. Показано, що премоноїдна модель в рамках категорійної стратегії може бути задана також і з допомогою відповідної функторної інтерпретації, що відповідає моделі Гербранда для абстрактних логічних програм. Показано, що реіндексовані функтори зберігають премоноїдну структуру шарів яку можна також розглядати і як моноїдну оскільки всі відображення є центральними, а значить, також і як таку, що може бути перетворена в премоноїдну індексовану категорію.

On the layers of indexed category of predicate queries modifications premonoidal structures are introduced in place of monoidal, because they better corresponds to the standard procedure of Prolog–resolution. The method for premonoidal structures using on the layers of syntactic and semantic strategies of predicate queries modifications is introduced. There is shown, that premonoidal model within the framework of categorical strategy can also be presented by means of proper functor interpretation that corresponds to the Herbrand model for the abstract logical programs. Reindexed functors that are used preserves the premonoidal structure of layers which can be also treated as monoidal one, because all mappings are the central one, and sofar can be easily transformed in premonoidal indexed category.

Категорійні підходи до логічного програмування з'явилися разом із категорійним підходом до процедури уніфікації[1...9]. Основним результатом стало введення категоріальної формалізації для синтаксису логіки тверджень Хорна, і її розширення на основі семантики теоретичних топосів. В [10] розвиваючи деякі базові ідеї, сформульовані в [11], виконано категоріальний аналіз логічних програм і виконано побудову відповідних моделей на основі використання індексованих моноїдних категорій.

Всі ці підходи зосереджені на побудові суто теоретико—операційних моделей. В той же час мало уваги приділяється застосуванню денотаційних семантик до побудови операторів на зразок оператора безпосереднього слідування, який є суто важливим із точки зору побудови логічних програм і дослідження їх семантик [12]. Більшість досліджень семантик логічних програм зосереджено на побудові формальних конструкцій на основі теорії фіксованих значень. Тому, саме з цих причин доцільним є подальше дослідження застосувань категорійного апарату, який включає в себе семантики на основі фіксованих значень. Першою роботою даного напрямку була робота [13] в якій було введено поняття категоріального синтаксису над множиною скінчених категорій. Це послужило вихідним пунктом для введення як поняття категорійної дедукції, так і денотаційних семантик, що є відповідниками семантик коректних рішень для логічних Хорн—програм.

Такі семантики можуть бути обчислені на основі конструкцій для фіксованих значень, що не виходить за рамки категоріальної дедукції. Однією із переваг такого підходу є те, що категорія термів не обов'язково повинна співпадати з відповідною алгебраїчною категорією для заданої множини функціональних символів.

Всі рішення в нафтогазовій предметній області приймаються на основі аналізу висновків експертів, спеціалістів з великим досвідом роботи. В роботі [14] база знань інформаційної системи розглядається як набір інформаційних сутностей атомарних предикатів з деякого скінченного інформаційного простору \mathfrak{R} . Всі зміни, що відбуваються в базі знань, розглядаються, як наслідок модифікаційних предикатних запитів Q_m . Основою самих запитів є набір модифікаційних предикатних правил:

$$Q_M \longleftrightarrow (K_B)^{\ll} \parallel_{K_{B_+}(o)}^{K_{B_-}(o)} \ll,$$

де $o, o_n, p_n \in \mathfrak{R}$. $K_{B_+}(o)$ означає, що атомарний предикат o повинен бути включений в базу знань K_B , K_{B_-} означає, що o – повинен бути виключений з бази знань; $(K_B)^{\ll}$ — означає модифікацію бази знань на рівні логічної зв'язаності предикатних правил як наслідок виконання операцій додавання і вилучення правил; \ll — дескриптор модифікації, який розглядається, як категорійна стрілка. **Недослідженням** залишається питання категорійної інтерпретації самих модифікаційних предикатних запитів.

Таким чином, метою даної статті є введення і дослідження категорійної моделі модифікаційних предикатних запитів на основі денотаційної семантики в рамках теорії фіксованих значень [15,16] і категоріальної дедукції.

Для заданої скінченої категорії добутків термів K , ми знаємо, що монострілки можна розглядати, як предикати. Припустимо, що ми хочемо побудувати модифікаційний предикатний запит використовуючи множину предикатів X_1, \dots, X_k типів $\theta_1, \dots, \theta_k$.

Основна ідея яку ми прагнемо досягнути в даному дослідженні є побудова синтаксичної категорії в якій значення предикатів X_1, \dots, X_k є явно заданими, і побудова інтерпретації (функтора), що відображає одержану синтаксичну і семантичну категорію предикатних запитів способом, який є сумісним із твердженнями, що утворюють сам запит. Коли ми говоримо про явний спосіб задання значень предикатів X_i в синтаксичній категорії, то ми маємо на увазі, що для кожного терма $\ell : r \gg \theta_i$ зворотний зсув X_i вздовж ℓ є відповідним підоб'єктом для r . Іншими словами, це буде означати, що $X_i(\ell)$ є істинним незалежно від набору тверджень, що утворюють предикатний запит. В даному випадку множина предикатів не вимагає введення систем обмежень, як і в класичних логічних Хорн—програмах.

В загальному випадку, якщо ми ідентифікуємо X_i підоб'єктом θ_i , то ми не можемо бути впевнені, що вище наведена властивість задовольняється. Тому нам потрібно знайти спосіб вільного під'єднання підоб'єкта θ_i для кожного X_i таким чином, що всі його ініціалізації будуть існувати і уявлятимуть собою відповідні підоб'єкти заданого коректного типу. Ми отримаємо нову категорію, яку ми будемо позначати через $K[X_1, \dots, X_k]$.

Тепер ми можемо ввести поняття категорійної дедукції. Нехай ціль задано у вигляді послідовності атомарних цілей і твердження є парою, утвореною із цілі Ch і атомарної цілі (заголовка) $X_i(\ell)$. Використовуватимемо запис $X_i(\ell) \gg Ch$. В першому наближенні будемо розглядати категорійну дедукцію, як послідовність кроків в транзитивній системі із мітками. Позначатимемо даний факт через \sim . Таким чином якщо Z_1 і Z_2 є цілями, φ — підстановкою і t — твердженням виду $X_\ell(t) \gg Ch$, тоді

$$Z_1 \overset{\varphi, t}{V} \sim Z_2,$$

де $Z_1 = X_{J_1}(\zeta_1), \dots, X_{J_k}(\zeta_k), \dots, X_{J_\ell}(\zeta_\ell)$ для деякої стрілки $\zeta: Y_1 \gg \theta_k$;
 $Z_2 = \sigma \sim X_{J_1}(\zeta_1), \dots, \varphi \sim Ch, \dots, \sigma \sim X_{J_\ell}(\zeta_\ell)$.

В даному випадку пара σ, φ є уніфікатором для ζ і ζ_1 , і ми маємо пару стрілок замість одної, оскільки ми виконуємо уніфікацію стрілок із різних джерел (що відповідає операції попереднього переіменування термів). Таким чином, категорійну дедукцію будемо розглядати як дедукцію в транзитивній системі \sim . Категорійним спрощенням будемо вважати категорійну дедукцію, що закінчується порожньою ціллю. Для заданої дедукції $kd = Z_1 \overset{\sigma_1, t_1}{\sim} \dots \overset{\sigma_k, t_k}{\sim} Z_k$, обчислюваний розв'язок для kd означимо через композицію $\sigma_k; \dots; \sigma_1$.

Інтерпретацією в даному випадку буде функтор, що зберігає скінченні добутки

$$[F]: K[X_1, \dots, X_k] \gg Slt^{K^\circ},$$

що розширює Y — вбудування (тобто таке, що $[\theta] = H(F, \theta)$ для кожного $\theta \in O_K$) і виконує прив'язку підоб'єкта $H(F, \theta_i)$ до X_i . Можна показати, що для заданої прив'язки підоб'єктів для X_i — их існує тільки одна інтерпретація, що розширює дану прив'язку. Більше того, множина таких інтерпретацій утворює повну структуру.

Тепер введемо оператор на множині інтерпретації R_Q , параметризація якого задана по відношенню до запиту Q

$$R_Q([F])(X_i) = \bigcup_{X_i(t) \gg Ch \in Q} \text{Im}_{[t]}([Ch]),$$

де $\text{Im}_f(X)$ — є образом монострілки X вздовж стрілки f .

Тому замість розгляду цілей, як монострілок в категорії K , ми використаємо індексовану категорію над K . Об'єкт на шарі $\theta \in O_K$ буде категорійним відповідником цілі типу θ . Тобто, ми не виходимо за рамки стандартної категорійної інтерпретації логіки першого порядку.

Означення 1. (Категорійна стратегія) $\wedge\Pi$ — категорійною стратегією будемо вважати індексовану категорію Ξ_1 над базовою категорією K . Для кожного $\theta \in O_K$, об'єкти і стрілки в $\Xi_1\theta$ будемо називати формулами і доведеннями (абстрактного типу θ) відповідно. Будемо використовувати термін *ціль*, як синонім до формула. Для заданої цілі Z абстрактного типу θ і $f: r \gg \theta$ в K і $f: Z = Z(f)$ є ініціалізацією для Z .

Будемо записувати $Z: \theta$ і $f: \theta$, як скорочені позначення для $Z \in O_{Q_\theta}$ і $f \in M_{r_{Q_\theta}}$. Для заданої $\wedge\Pi$ категорійної стратегії, твердженням (абстрактного типу θ) є об'єкт tr із відповідною парою (Ch, Zh) цілей абстрактного типу θ . Позначимо даний факт як $Zh \gg^{tr} Ch$.

Означення 2. (Модифікаційний запит)

Модифікаційним запитом будемо вважати пару (Q, Ξ_1) , де $\Xi_1 \in \wedge\Pi$ — категорійною стратегією, і Q — є множиною тверджень. Будемо говорити, що Q є запитом над Ξ_1 .

Модифікаційний запит можна розглядати також як індексовану категорію Q над O_K , таку, що $Q(\theta)$ є категорією об'єктів абстрактного типу θ стрілок $tr: Zh \gg Ch$ тверджень типу θ .

Нехай задано сигнатуру першого порядку M_{F_1} , утворену із множини F функціональних символів і множин Π — предикатних символів відповідної розмірності. Побудуємо категорію $T_{M_{F_1}}$, як алгебраїчну категорію на основі F . Об'єктами $T_{M_{F_1}}$ є натуральні числа, стрілками із k до l є l — кортежі із термів, побудовані на основі множини змінних $\{w_1, \dots, w_k\}$

$$O_{T_{M_{F_1}}} = N, \quad T_{M_{F_1}}(k, l) = S_{M_{F_1}}(\{w_1, \dots, w_k\})^l.$$

Тепер виконаємо побудову синтаксичної категорії $\Xi_{M_{F_1}}^1$ над T заданої наступним чином:

1. Для кожного $k \in N$, $\Xi_{M_{F_1}}^1(k)$ є дискретною категорією атомарних цілей, утвореною із змінних w_1, \dots, w_k .

2. Для $t = \langle l_1, \dots, l_i \mid k \rangle \gg l$, $\Xi_{M_{F_1}}^1(t)$ є функтором, що задає відображення атомарної цілі Z в $Z[w_1/l_1, \dots, w_i/l_i]$.

Припустимо тепер, що K є категорією скінчених добутоків. Ми можемо розглядати, K як зв'язану модель відповідної сигнатури, що описується багатьма абстрактними типами. Ми можемо побудувати синтаксичну стратегію для модифікаційних предикатних запитів, де терми будуть елементами результуючої категорії. Нехай Π – сигнатура предикатів над K , тобто фактично, множина предикатних символів відповідного типу в O_K . Будемо записувати $\pi : \theta$ якщо π є предикатним символом типу θ . Тоді ми можемо оголосити індексовану категорію Ξ_{Π}^1 над K таку, що:

1. $\Xi_{\Pi}^1(\theta)$ дискретна категорія, об'єктами якої є пари $\langle \pi, f \rangle$ такі, що $\pi : r \in \Pi$ і $f : \theta \gg r$ є стрілкою в K . Будемо записувати $\pi(f)$ замість $\langle \pi, f \rangle$.

2. $\Xi_{\Pi}^2(\theta)$, де $F : r \gg \theta$ є функтором, що задає відображення $\pi(t) \in O_{\Xi_{\Pi}^1(\theta)}$ в $O(f, t)$.

Припустимо тепер, що ми маємо два предикатних символи π і $\pi\rho$ типу $r \times r$, і ми хочемо додати до синтаксичної категорійної стратегії властивість того, що $\pi\rho$ є симетрично замкнутим для π . Тоді ми довільним чином виконаємо приєднання до Ξ_{Π}^1 двох стрілок в шарі $r \times r$:

$$a_1 : \pi \gg \pi\rho ; a_2 : \pi \gg \pi\rho(\langle p_2, p_1 \rangle).$$

Одержимо нову категорійну стратегію $\Xi_{\theta}^{\pi\rho}$.

Функтори $\wedge \Pi$ – категорійної стратегії будемо розглядати, як інтерпретації. Якщо $[F] = (F, t)$ є інтерпретацією із Ξ_1 в Ξ_2 , тоді будемо позначати $F(x)$ через $[X]$ для кожного об'єкту або стрілки x в K . Більш того, для кожної цілі або доведення X в шарі θ ми позначимо $t_{\theta}(x)$ як $[X]_{\theta}$.

Означення 3. (Модель модифікаційного предикатного запиту) Для заданого запиту Q над категорійною стратегією Ξ_1 моделлю Q буде пара

$([F], \nu)$, де $[F]: \Xi_1 \gg \Xi_2$ є інтерпретацією, і ν є функцією, що виконує відображення твердження $Zh \ll^{tr} Ch \in Q$ в стрілку $[Zh] \ll^{v(tr)} [Ch]$.

Якщо ми розглянемо запит як індексовану категорію, то тоді ν є функтором із Q в $T(\Xi_2)$, де $T: IKt \gg IKt$ є функтором, який задає відображення індексованої категорії над K в індексовану категорію над O_K , опускаючи всі стрілки в базовій категорії. Формально кажучи, якщо $\Xi_2: K \gg Kt$, то ми маємо, що $T(\Xi_2): O_K \gg Kt$ таке, що $T(\Xi_2)(\theta) = \Xi_2(\theta)$.

В наступних дослідженнях, модель $Md = ([F], \nu)$ буде нами використовуватися, як синонім для її складових частин. Тобто, $Md(tr)$ буде означати власне теж саме, що і $\nu(tr)$, а $Md_\theta(Z)$ те саме, що і $[Z]_\theta$. Більше того, ми будемо розглядати композицію моделі Md із інтерпретацією I , як нову модель модифікаційного предикатного запиту $([F]; I, \nu; I)$.

В загальному випадку модель $Md: \Xi_1 \gg \Xi_2$ для запиту Q будемо розглядати, як один із видів ціленезалежних семантик для Q . Для заданої цілі Z абстрактного типу θ , відповідні семантики можна розглядати як клас стрілок, напрямлених на $Md_\theta(Z)$ в Ξ_2 .

Розглянемо тепер $\wedge \Pi$ - категорійну стратегію $\Xi_{M_f}^1$, запит Q і індексовану категорію Ξ_2 над $T_{M_{F_1}}$ таку, що:

1. $\Xi_2(k) = r_f(S_{M_{F_1}}(\emptyset)^k)$, що є впорядкованою множиною, яка розглядається як категорія.

2. $\Xi_2(t)(X) = \{ \langle i_1', \dots, i_k' \rangle \mid t[w_1/i_1', \dots, w_k/i_k'] \in X \}$. Іншими словами, переіндексований функтор дає нам факторизацію всіх кортежів термів X через t .

Інтерпретація $[F]$ задає відображення атомарної цілі в $\Xi_\theta^1(k)$, тобто атомарної цілі із k вільних змінних в множини k -кортежів базових термів. Зокрема, якщо ми оголосимо $[V]_\theta$ як множини частково коректних базових відповідей для V в запиті Q , тоді можна виконати розширення $[F]$ моделі, виконуючи відображення твердження $V_1 \ll^{tr} V_2$ в відображення включення

$[V_1] \subseteq [V_2]$. Можливо також виконати узагальнення введеної інтерпретації для роботи із абстрактною синтаксичною категорійною стратегією такою, як Ξ_{Π}^1 .

Розглянемо $\wedge \Pi$ -категорійну стратегію Ξ_{Π}^1 і індексовану категорію Ξ^2 над K , таку, що :

1) для кожного $\theta \in O_K$, $\Xi^2(\theta) = r_f(H(1, K))$, яка є впорядкованою множиною, що розглядається, як категорія;

2) для кожного $f \in H_K(\theta, r)$, $\Xi^2(f)(X) = \{S \in H(1, \theta); f \in X\}$.

Інтерпретація $[F]$ задає відображення атомарної цілі типу θ на множину стрілок із граничного об'єкту для K в Q . Ці стрілки фактично є категорійними відповідниками базових термів.

Додаткові моделі можна одержати на основі інтерпретацій, що задають відображення кожної цілі Z типу θ в $H(1, \theta)$ або в \emptyset . Твердження і стрілки відображатимуться в елементи ідентифікації. Якщо ми будемо розглядати $H(1, \theta)$ як істинне значення, і \emptyset , як хибне, то це відповідатиме інтерпретаціям, де всі елементи є істинними, або хибними.

Коли семантична стратегія є дискретною, то процедура інтерпретації із Ξ^1 в Ξ^2 може відобразити кожен об'єкт із Ξ^1 в де-який об'єкт в Ξ^2 , при умові, що таке відображення є обгрунтованим по відношенню до операції переіндексації. Хоча, в загальному випадку, може виникнути потреба в накладанні додаткових обмежень на процедуру відображення.

Розглянемо тепер $\wedge \Pi$ -категорійну стратегію Ξ^2 . Інтерпретація $[F]$ із Ξ^1 в Ξ^2 зводиться до відображення стрілок S_1 і S_2 на множину стрілок в Ξ^2 . Це в свою чергу, означає, що $[\pi\rho] \supseteq [\pi]$ і $[\pi\rho] \supseteq [\pi(< p_1, p_2 >)]$, тобто фактично $[\pi\rho] \supseteq [\pi]; < p_1, p_2 >$. Іншими словами, інтерпретація для $[\pi\rho]$ повинна містити як інтерпретацію для π так і для семантичного компонента.

Одним із можливих способів отримання моделі модифікаційного предикатного запиту Q в Ξ^1 є вільне приєднання тверджень Q до відповідних шарів індексованої категорії Ξ^1 .

Означення 4. (Формальна модель модифікаційного запиту). Для заданого модифікаційного предикатного запиту Q над Ξ^1 будемо вважати формальною моделлю, якщо вона існує, модель $Md : \Xi^1 \gg \Xi^2$ таку, що для кожної іншої моделі Md' для Q існує унікальна інтерпретація I така, що $Md' = (Md; I)$.

Легко довести, що якщо Md і Md' - дві формальних моделі для запиту Q і двох різних $\wedge\Pi$ - категорійних стратегій Ξ^3 і Ξ^4 , то тоді Ξ^3 і Ξ^4 є ізоморфними.

Нехай тепер для заданої цілі Z типу θ в модифікаційному запиті (Q, Ξ^1) ми прагнемо виконати дедукцію Z використовуючи як стрілки розміщені в шарах Ξ^1 так і твердження самого запиту. Тобто, якщо $x:Z \ll Ch$ є твердженням або стрілкою в Ξ^1 , то власне потрібно виконати дедукцію із Z до Ch . Таким чином, єдині модифікації, які ми можемо безпосередньо застосовувати до Z задаються правилами (стрілками або твердженнями) типу θ . Можливим є виконання модифікації через використання твердження tr іншого типу r , такого, що Z і заголовок твердження tr стають рівними відразу після виконання їх переіндексації в шарі γ .

Можна виконати редукцію цілі $Z:\theta$ із стрілкою $f:Zh \ll Ch$ в шарі r , якщо існує стрілка $S:r \gg \theta$ така, що $S \sim Z = Zh$. Будемо називати пару $\langle S, f \rangle$ із такими властивостями редукційною парою. Всі редукційні пари утворюють категорію, таку, що $t \in M_{r_k}$ є стрілкою із $\langle S_1, f_1 \rangle$ в $\langle S_2, f_2 \rangle$ якщо $S_1 = t; S_2$ і $t \sim f_2 = f_1$. Найбільш загальною редукційною парою будемо вважати максимальну редукційну пару.

Означення 5.(Категорійна дедукція) Для заданого запиту (Q, Ξ^1) , ми означимо транзитивну систему із мітками $(U_{\theta \in O_k} O_{\Xi^1 \theta}, \sim \gg f)$, де в якості об'єктів будуть :

1) Твердження зворотнього ланцюга $Z \ll^{S, t, tr} Ch$, якщо tr є твердженням типу $Zh \ll^{tr} Ch$ і $\langle S, t \rangle$ є уніфікатором для Z і Zh (тобто, що $S \sim Z = t \sim Zh$);

2) Стрілки зворотнього ланцюга $Z \ll^{S, f} Ch$ якщо Z є ціллю в шарі θ , і $f:Zh \ll Ch$ є стрілкою в шарі r і $\langle S, f \rangle$ є редукційною парою для Z . Категорійною дедукцією будемо вважати дедукцію в даній транзитивній системі.

Якщо ми обмежимо кроки дедукції суто до виконання найбільш загальних уніфікаторів і найбільш загальних редукційних пар, то ми одержимо нову транзитивну систему $(U_{\theta \in O_k} O_{\Xi^1 \theta}, \sim \gg f_2)$ і відповідне поняття найбільш загальної категорійної дедукції.

Для заданої послідовності цілей Z_0, \dots, Z_i і послідовності міток m_0, \dots, m_{i-1} , де $i \geq 0$, таких, що

$$Z_0^{m_0} \rightsquigarrow Z_1 \dots Z_{i-1}^{m_{i-1}} \rightsquigarrow Z_i$$

введемо категорійну дедукцію $Z \overset{C}{\rightsquigarrow} *Z_i$, де $C = m_0 \dots m_{i-1}$ є рядком отриманим в результаті конкатенації всіх міток. Позначати через \emptyset_z порожню дедукцію, що стартує із цілі Z .

Означення 6. Для заданої категорійної дедукції C , обчислюваною відповідно для C будемо вважати (і відповідно позначати $Vd(C)$) де-яку стрілку в K , означену наступним чином:

$$Vd(\emptyset_z) = id_\theta, \text{ якщо } Z : \theta \gg$$

$$Vd(\langle s, f \rangle, C) = Vd(C); S \gg Vd(\langle s, t \rangle, C) = Vd(C); S.$$

Найбільш загальними обчислюваними відповідями будемо вважати відповіді, що відповідають найбільш загальній категорійній дедукції.

Ми можемо виконати оголошення $\wedge \Pi$ - категорійної стратегії $\Xi_{M_F}^1$ таким чином, щоби об'єктами були послідовності атомарних цілей. Для цього ми виконаємо оголошення моноїдної структури для шарів, що відповідають цілі, яка є результатом конкатенації атомарних цілей. Проте цього не буде достатньо для досягнення поставленої цілі, оскільки, всі решту семантичні конструкції, які були нами введені, не включатимуть в себе нову структуру. Так наприклад, введена модель модифікаційного предикатного запиту не буде зберігати моноїдні структури при виконанні трансформації, оскільки вона не підтримує $\Theta \wedge$ - композиції. Більше того для заданого твердження $\pi(t) \ll Z$ і цілі $\pi(t)$ або $\pi^1(t)$, введена нами категорійна дедукція не зможе виконати кроку $\pi(t) \ll Z, \pi^1(S)$. Те саме буде стосуватися і введення семантик фіксованих значень.

Таким чином, будемо використовувати премоноїдні структури на шарах замість моноїдних. З точки зору імплементації премоноїдні структури відповідають стандартній процедурі *Prolog*-резольуції.

Розглянемо категорію скінчених добутоків $T_{M_{F_1}}$. Ми можемо побудувати премоноїдну індексовану категорію над $T_{M_{F_1}}$, позначимо її через $\Xi_{M_{F_1}}^\oplus$. А саме:

1) для кожного $k \in N$, $\Xi_{M_{F_1}}^\oplus(k)$ є дискретною категорією, об'єкти якої є скінченими послідовностями атомарних цілей побудованих із змінних W_1, \dots, W_k ;

2) для кожного $k \in N$, премоноїдні структури в шарі k задаються через:

а) $Z_1 \Theta Z_2 = Z_1 * Z_2$;

б) $I_k = \mathcal{G}$ є порожньою послідовністю цілей;

в) $\mathcal{G}_k, r_k, \gamma_k$ є ідентифікаторами.

3) для кожного $t = \langle t_1, \dots, t_l \rangle : k \gg l, \Xi_{M_{F_1}}^{\oplus}(t)$ є функтором, що задає відображення цілі Z в $Z[w_1/t_1, \dots, t_l/w_l]$.

Твердження в $\Xi_{M_{F_1}}^{\oplus}$ є об'єкти виду $Z_1 \ll Z_2$.

Розглянемо тепер категорію скінчених добутків K і предикатну сигнатуру M_{F_2} над K . Побудуємо премоноїдну індексовану категорію над K , позначимо її через $\Xi_{M_{F_2}}^{\oplus}$. А саме :

1) для кожного $\theta \in O_K$, $\Xi_{M_{F_2}}^{\oplus}(\theta)$ є дискретною категорією, об'єкти якої є скінченними послідовностями атомарних цілей $\pi(t)$ де , якщо $\pi : r$, то тоді $t : \theta \rightarrow r$;

2) для кожного $\theta \in O_K$, премоноїдні структури в шарі θ задаються через:

а) $Z_1 \Theta_{\theta} Z_2 = Z_1 * Z_2$;

б) $I_{\theta} = \mathcal{G}$ є порожньою послідовністю цілей;

в) $\mathcal{G}_{\theta}, r_{\theta}, \gamma_{\theta}$ є ідентифікаторами.

3) для кожного $f : r \rightarrow \theta \in M_{F_2}$, $\Xi_{M_{F_2}}^{\oplus}(f)$ є функтором, що задає відображення цілі $Z = \pi_1(t_1), \dots, \pi_k(t_k)$ в $\pi_1(f \circ t_1), \dots, \pi_k(f \circ t_k)$.

Тепер виконаємо корекцію введених означень, для того, щоб вони працювали і в випадку премоноїдних індексованих категорій.

Означення 7. (Премоноїдні індексовані функтори). Для заданих премоноїдних індексованих категорій Ξ^1 над K_1 і Ξ^2 над K_2 , премоноїдним індексованим функтором $[F] : \Xi^1 \rightarrow \Xi^2$ є індексований функтор (F, η) , такий , що для кожного $\theta \in O_K$, $\eta_{\theta} : \Xi^1 \theta \rightarrow \Xi^2 \theta$ є строгим премоноїдним функтором.

Означення 8. (Премоноїдні індексовані природні перетворення) Для заданих двох премоноїдних індексованих функторів (F, η) та (F', η') із Ξ^1 в Ξ^2 премоноїдним індексованим природнім перетворенням є індексоване природнє перетворення (L, θ_1) таке, що для кожного θ в базовій категорії $\Xi^1(\theta_1)_{\theta}$ є премоноїдним природнім перетворенням.

Будемо використовувати терміни премоноїдна $\wedge\Pi$ -категорійна стратегія і премоноїдні інтерпретації, як синоніми для премоноїдних індексованих категорій і премоноїдних індексованих функторів.

Означення 9. (*Премоноїдна модель*) Для заданого модифікаційного предикатного запиту Q побудованого над премоноїдною $\wedge\Pi$ -категорійною стратегією Ξ^1 , премоноїдною моделлю для Q є модель $([F], \nu)$, де $[F]$ є премоноїдною інтерпретацією.

Розглянемо індексовану категорію Ξ^2 над K . Для кожного шару $\Xi^2\theta$ можна ввести премоноїдну структуру через:

$$1) X_1 \Theta_\theta X_2 = X_1 \cap X_2 \text{ для кожного } X_1, X_2 \subseteq H(\iota, K);$$

2) Якщо $X_1 \subseteq X_1'$ та $X_2 \subseteq X_2'$ тоді $X_1 \cap X_2 \subseteq X_1' \cap X_2'$. Звідки маємо, що Θ може бути розширено до множини стрілок в $\Xi^2\theta$;

$$3) I_\theta = H(\iota, K);$$

$$4) \gamma_\theta, \vartheta_\theta, r_\theta \text{ є ідентифікаторами.}$$

Таким чином, премоноїдна модель для модифікаційного предикатного запиту Q в Ξ^2 може бути задана із допомогою інтерпретації $[F]$ такої, що

$$[Z]_\theta = H(\iota, \theta)$$

для кожної цілі Z і відображення ν такого, що

$$\nu(tr) = id_{H(\iota, \theta)}$$

для кожного твердження tr типу θ .

Висновки та перспективи подальших досліджень: в даній статті введено спосіб використання премоноїдних структур на шарах синтаксичних і семантичних стратегій модифікаційних предикатних запитів. Шари представлені у вигляді моноїдних структур, що відповідають цілям, які є результатом конкатенації атомарних цілей. На шарах індексованої категорії використовуються премоноїдні структури замість моноїдних, оскільки з точки зору програмної імплементації, премоноїдні структури строго відповідають стандартній процедурі Prolog-резолюції. Виконано оголошення категорійної стратегії, де об'єктами є послідовності атомарних цілей. Для категорії скінчених добутоків і предикатної сигнатури виконано побудову премоноїдної індексованої категорії, об'єкти якої є скінченими послідовностями атомарних цілей. Премоноїдна модель для модифікаційного предикатного запиту в рамках категорійної стратегії може бути задана також і з допомогою відповідної функторної інтерпретації, що відповідає моделі Гербранда для абстрактних логічних програм. Використовувані реіндексовані функтори зберігають премоноїдну структуру шарів яку можна також розглядати і як моноїдну оскільки всі відображення є центральними, а

значить, також і як таку, що може бути перетворена в премоноїдну індексовану категорію. У випадку використання премоноїдних синтаксичних стратегій, на їх основі можна утворити як і премоноїдні так і не премоноїдні моделі модифікаційних предикатних запитів. **Подальші дослідження** даного напрямку будуть зосереджені на розширенні одержаної формальної моделі модифікаційних предикатних запитів та побудови її коректних імплементацій.

Список літератури: 1. *Burhans D., Shapiro S.* Expanding the notion of answer in rule-based systems. / Technical Report 99- 07. // Department of Computer Science and Engineering, SUNY Buffalo.— November 1999.—155p. 2. *Comini M.,Levi G.,Meo M., Vitiello G.* Abstract diagnosis. // Journal of Logic Programming, №39 (1 — 3).— 1999.—P.43— 93. 3. *Comini M., Meo M.* Compositionality properties of SLD-derivations. // Theoretical Computer Science.— №211(1&2). — 1999. — P.275 — 309. 4. *Cousot P., Cousot R.* Temporal abstract interpretation. // In Conference Record of the 27 Annual ACM SIGPLAN-SIGACT Symposium on Principles of Programming Languages. — Boston, USA. — January 2000. — ACM Press, New York, NY.—P. 12—25 5. *Gabrielli M., Levi G., Meo M.* Resultants semantics for PROLOG. // Journal of Logic and Computation.- №6(4). — 1996.— P. 491— 521. 6. *Jacobs B.* Categorical Logic and Type Theory. // Studies in Logic and the Foundations of Mathematics. —North Holland, Elsevier.—1999.—325p. 7. *Lipton J., McGrail R.* Encapsulating data in logic programming via categorical constraints. / In Palamidessi C., Glaser H., Meinke K. Editors // Principles of Declarative Programming. — Volume 1490 of Lecture Notes in Computer Science. — Springer Verlag, Berlin.— 1998. — P.391—410. 8. *Maleusieux F., Ridoux O., Boizumault P.* Abstract compilation of Prolog. / In Jaar J. Editor // Joint International Conference and Symposium on Logic Programming. — Manchester, United Kingdom. — June 1998. — MIT Press. — P.130 — 144. 9. *Power J., Robinson E.* Premonoidal categories and notions of computation. // Mathematical Structures in Computer Science. — № 7(5).— October 1997.— P. 453—468. 10. *Corradini A., Asperti A.* A categorical model for logic programs: Indexed monoidal categories. / In Proceedings REX Workshop '92 // Springer Lectures Notes in Computer Science. — 1992.—P. 5 — 36. 11. *Corradini A., Montanari U.* An algebraic semantics for structured transition systems and its application to logic programs. // Theoretical Computer Science. — №103(1).— August 1992. — P.51 — 106. 12. *Barbuti R., Giacobazzi R., Levi G.* A General Framework for Semantics-based Bottom-up Abstract Interpretation of Logic Programs // ACM Transactions on Programming Languages and Systems. — № 15(1). — 1993.—P. 133—181. 13. *Finkelstein S., Freyd P., Lipton J.* Logic programming in tau categories. // In Computer Science Logic '94, volume 933 of Lecture Notes in Computer Science. — Springer Verlag, Berlin. — 1995. — P. 249 — 263. 14. *Шекета В.І.* Модифікаційні предикатні запити. / Науковий журнал «Проблеми програмування» Інституту Програмних Систем НАН України. — 2004. — №2 — 3. — С.339 — 343 // Спеціальний випуск за матеріалами 4-ї МНПК “УкрПрог 2004”, 1 — 3 червня 2004. — Київ, Кібернетичний центр НАН України. 15. *Шекета В.І.* Ініціалізація еластичних семантик над простором Гербранда для модифікаційних предикатних запитів // Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах”—м.Хмельницький – 2003 – № 2(22)– С.13-18. 16. *Шекета В.І.* Аналіз семантики шаблонів виклику модифікаційних предикатних запитів для інформаційних систем на основі баз даних і знань // Комп’ютерна інженерія та інформаційні технології.— Вісник національного університету “Львівська політехніка”—м.Львів.—2003. — № 496. — С.217—228 .

Поступила в редколлегию 07.09.05

В.Л. ЛИСИЦКИЙ, доц. канд. техн. наук, *М.А. ГРИНЧЕНКО*

СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Для регіону, що є цілеспрямованою макроекономічною системою, пропонується структура системи прогнозування, яка здатна забезпечувати рішення комплексу функціональних задач, пов'язаних з формуванням довгострокового прогнозу соціально-економічного розвитку, інформаційною та аналітичною підтримкою процесу прогнозування. Розглядаються особливості реалізації сценарного підходу в рамках системи прогнозування розвитку регіону.

Постановка проблеми. В настоящее время в рамках реформирования системы управления проводится обсуждение последствий реализации законопроектов о административно-территориальной реформе. В связи с этим выполняются аналитическую и диагностическую функции, а также функцию предвидения, прогнозирование является инструментом научного обоснования региональной политики.

Цель работы. Предлагается система регионального управления, содержащая информационно-аналитическую систему региона, в которую включена подсистема стратегического развития региона, содержащая систему прогнозирования направляемого развития региональной макроэкономической системы (МЭС). Система прогнозирования предназначена для построения прогнозов последствий реализации проводимой политики, диагностики процессов развития региона [1].

Система прогнозирования направленного развития МЭС должна удовлетворять основным требованиям предъявляемым к системам прогнозирования [2, 3]:

- совокупность показателей при прогнозировании должна быть адекватна совокупности показателей при планировании действий моделируемой МЭС;
- прогнозная информация должна передаваться в систему планирования с достаточным упреждением по времени, необходимым на процессы принятия решения по выбору предпочтительного варианта развития и разработку решений;
- адаптивность и открытость аналитических и прогнозных расчетов в системе прогнозирования;
- возможность задание различных управляющих воздействий в системе;
- реализация сценарного подхода, т.е. построение многовариантных прогнозов основных показателей моделируемой системы;
- прогнозирование и анализ последствий управленческих решений.

Эти требования формируют комплекс функциональных задач решаемых системой прогнозирования и определяющих её структуру. Процесс разработки структурной схемы системы прогнозирования предполагает

окончательную формализацию объекта моделирования в виде МЭС. Для этого необходимо описать структуру МЭС и совокупность математических описаний всех её элементов, внешних воздействий и взаимодействия между всеми структурными элементами в процессе функционирования и развития МЭС. Структура системы прогнозирования модели развития территориально-экономической системы, выбраны языки программирования общего назначения, к подходам для реализации имитационного алгоритма.

Предлагается структура системы прогнозирования, состоящая из совокупности компонент включающих подсистемы (рис. 1):

- подсистему мониторинга состояния региона;
- подсистему моделирования региона;
- подсистему вариантного прогнозирования.

Функционирующая система прогнозирования развития МЭС представляет собой совокупность целенаправленно взаимодействующих подсистем. Взаимодействие осуществляется с помощью информационного обмена данными. При этом система сбора, накопления, обработки, анализа информации обеспечивает её достоверность, полноту, своевременность, совместимость со всеми подсистемами, накапливающимися в базе данных центрального сервера, оперативную и аналитическую информацию о МЭС. Хранилище данных в рамках системы прогнозирования представляет собой предметно-ориентированное, статичный сбор данных, поддерживающих хронологию принимаемых решений.

В рамках системы прогнозирования направленного развития МЭС осуществляется слаженное взаимодействие подсистемы мониторинга, подсистемы моделирования развития региона и подсистемы вариантного прогнозирования.

Подсистема мониторинга обеспечивает контроль и отслеживание основных показателей текущей социально-экономической и экологической деятельности региона.

Подсистема моделирования развития региона предназначена для анализа системы показателей, имитационного моделирования системы управления регионом (ИМ СУ), которая содержит имитационные модели сферы производства (ИМ СПР), сферы потребления (ИМ СПО) и экологической сферы (ЭС). При разработке имитационных моделей подготовка данных осуществляется с помощью системы подготовки данных, содержащая модули: задания начальных условий, задания функциональных зависимостей, задание системных параметров прогноза и параметров временных переключателей.

Методологической основой моделирования социально-экономического, экологического развития региона является системный анализ, центральной процедурой которого, является построение обобщенной модели региона, отражающей все факторы и взаимосвязи реальной системы.

Имитационное моделирование осуществляется на основе модифицированной модели мировой динамики Дж. Форрестера. Концепция системной динамики позволяет моделировать динамические процессы на высоком уровне агрегирования, в её основе лежит представление о функционировании динамической системы, как совокупности потоков и темпов.

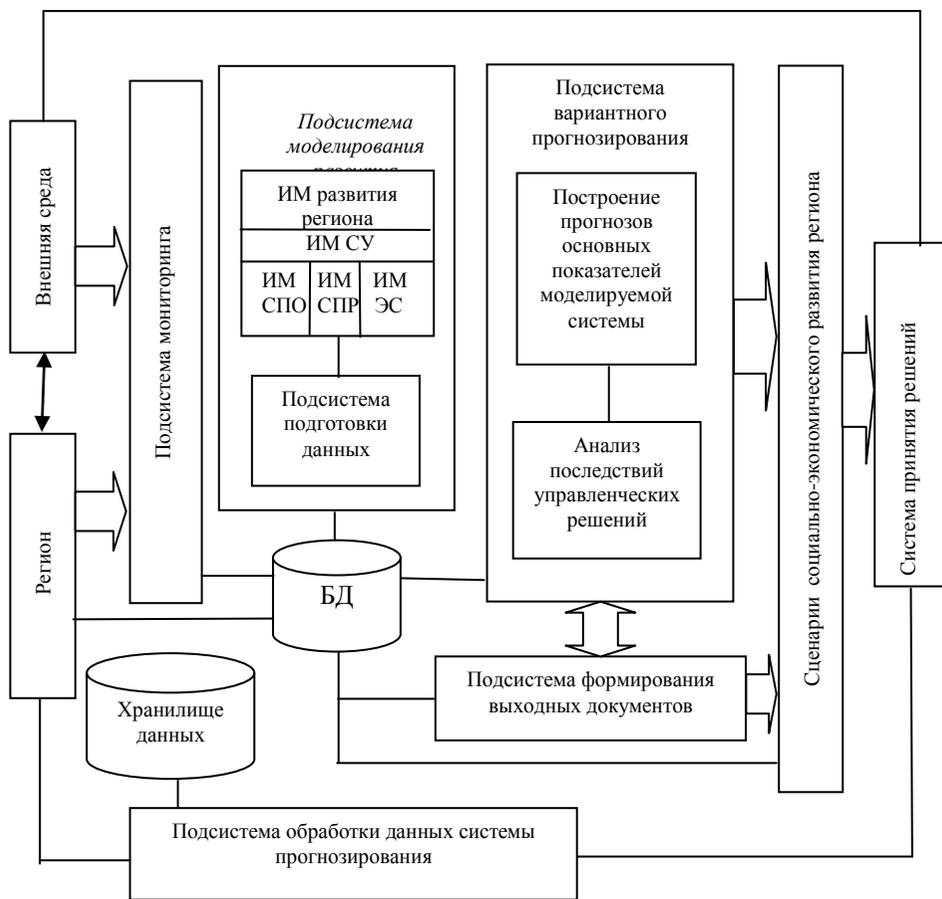


Рис.1 Структура системы прогнозирования направленного развития МЭС

Применение имитационного моделирования и сценарного подхода позволяет строить эффективные системы принятия решений, предназначенные для решения задач в различных отраслях и для различных объектов. Сценарный подход позволяет описать множество вариантов развития МЭС [4].

Построение сценариев направлено на решение двух основных проблем: во-первых, выделение ключевых моментов развития исследуемого объекта необходимых для качественной разработки вариантов развития объекта, во-вторых, всесторонний анализ и оценка каждого из полученных вариантов, изучение его структурных особенностей и возможных последствий его реализации. Построение сценария развития региона сводится к нескольким этапам: изучение сложной, динамической, открытой системы, которой является экономика региона; описание возможных направлений изменения этой системы несколькими вариантами, так, чтобы в рамках поставленной задачи дать наиболее полное представление о возможных будущих состояниях развития МЭС [5].

Подсистема вариантного прогнозирования обеспечивает автоматизацию многовариантных расчетов прогнозов развития региона на основе сценарного подхода. Она включает построение прогнозов основных показателей МЭС и анализ последствий управленческих решений принимаемых на уровне регионального управления. Результатами функционирования подсистемы вариантного прогнозирования и подсистемы формирования выходных документов является разработка и анализ сценариев социально-экономического развития региона.

Выводы Разработанная система прогнозирования развития МЭС может обеспечивать реализацию различных технологий построения прогноза в зависимости от направления развития МЭС. Дальнейшие исследования будут посвящены разработке прогноза состояния МЭС в условиях реформирования системы управления.

Список литературы: 1. Лисицкий В.Л., Гринченко М.А. Долгосрочное прогнозирование динамики развития территориальных систем с переходной экономикой нового типа // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2005. - №19. – С. 26-30. 2. Долгосрочный прогноз социально-экономического развития Украины / Кононенко И.В., Лисицкий В.Л. и др. / Под общей редакцией И.В. Кононенко. – Харьков: ИМиС, 1999. – 176 с. 3. Лычкина Н.Н. Системы принятия решений в задачах социально-экономического развития регионов // Компьютер. 1999. - № 2(32). - С. 11-18. 4. Андрианов Д.Л. и др. Имитационное моделирование и сценарный подход в системах поддержки принятия решений // Проблемы теории и практики управления. 2002.- №5. - С.43-46. 5. Шибалкин О.Ю. Проблемы и методы построения сценариев социально-экономического развития. – М.: Наука, 1992. - 176 с.

Поступила в редколлегию 10.11.05

В.И. БОРОДИН, В.Л. ЛИСИЦКИЙ, канд. техн. наук

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ МАКРОРЕГИОНА

Розглядаються питання створення імітаційної моделі адаптивної системи управління розвитком макрорегіону на етапі підготовки та проведення в ньому адміністративно-територіальної реформи.

Введение. Современные процессы взаимодействия элементов триады: население – природная среда – сфера производства настолько сложны и масштабны, что нельзя пассивно надеяться на стихийную адаптацию существующих территориальных систем (ТС) к их желательному будущему состоянию. Превращение ТС в целенаправленные системы требует наличия развитого механизма государственной регуляции, способного активно, с единых системных позиций осуществлять координацию процессов направляемого развития различных сфер территории (социальной, экономической, экологической, управленческой) в направлении зафиксированного целевого состояния. Сложность и ответственность процесса принятия решений в этих условиях, наличие развитых информационных технологий обусловило создание имитационных моделей (ИМ) процессов развития ТС, позволяющих проведение исследование всего спектра альтернатив ее развития, изучения их последствий, выбор эффективного управленческого решения, разработку сценария его практической реализации. В связи с этим актуальным является разработка ИМ функционирования системы управления развивающегося макрорегиона, содержащей объект управления (ОУ) (экономическая, экологическая, социальная сферы) и управляющую сферу, интегрирующую в себе развитые, взаимодействующие механизмы стихийной и осознанной регуляции процессов направляемого развития макрорегиона.

Постановка задачи. Предполагается, что макрорегион V представляет собой совокупность сферы производства (B_1), сферы потребления (B_2), экологической сферы (B_3), сферы управления (B_4), образующих некоторую структуру, предназначенную в пределах некоторой выделенной территории S для производства, обмена, распределения, потребления товаров и услуг, для регулирования этих функций с целью обеспечения при минимальных потерях общества, без нарушения действующих социальных, экологических ограничений максимального удовлетворения растущих потребностей широких слоев населения макрорегиона [1]. Территориальный строй

макрорегиона определяется разбиением $T = T(S) = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ территории S , где $S_j \subset S$ не имеют “дыр”, $S_j \cap S_k = \emptyset, j \neq k, \bigcup_j S_j = S$. [2]. Каждая территория $S_j \in T$ определяет регион R_j , имеющий номер j и удовлетворяющий определенно целенаправленной ТС. Регион R_j располагает производительными силами – совокупностью средств, предметов труда интеллекта общества и людей приводящих их в действие. Территория S_j региона обладает свойствами размерности, конфигурации, местоположения, а также привнесенными человеком особенностями. Она как особый вид ресурса региона R_j способна содействовать или препятствовать его развитию. Сущность, облик, структурные особенности макрорегиона B , регионов R_j определяются заданными приоритетами используемых управляющей сферой инструментов управления (средств воздействия на поведение человека) – иерархия, рынок, культура. Сфера производства B_{1j} (экономическая сфера) региона R_j , осуществляющая накопление фондов, определяющих развитие материальной составляющей его производительных сил, имеет структуру $|B_{1j}| = \{V_{1j}, G_1 \subset V_{1j} \times V_{1j}, V_{1j} \subset V\}$, где V - множество всех структурных элементов макрорегиона, предназначенную для создания продуктов и услуг, для формирования их предложений на товарном рынке. Сфера потребления B_{2j} (социальная сфера) региона R_j , осуществляющая “производство” человека, накопление интегрального интеллекта общества, определяющего развитие интеллектуальной составляющей производительных сил региона, имеет структуру $|B_{2j}| = \{V_{2j}, G_2 \subset V_{2j} \times V_{2j}, V_{2j} \subset V\}$, предназначенную для удовлетворения минимально-достаточных потребностей населения, для предложения производственных факторов на ресурсном рынке. Экологическая сфера B_{3j} региона R_j , представляет собой часть природной среды S_j , с которой население R_j в данный момент контактирует и прямо или косвенно взаимодействует, осуществляя техногенное изъятие природных ресурсов, загрязнение природной среды. B_{3j} содержит атмосферу, гидросферу, поверхность, почву, недра, биоту территории S_j , характеризуется структурой $|B_{3j}| = \{V_{3j}, G_3 \subset V_{3j} \times V_{3j}, V_{3j} \subset V\}$. Сфера управления B_{4j} региона R_j , имеющая структуру $|B_{4j}| = \{V_{4j}, G_4 \subset V_{4j} \times V_{4j}, V_{4j} \subset V\}$, является управляющей системой R_j , осуществляющей стихийное (механизм рыночной регуляции) и осознанное (механизм государственной регуляции) регулирование функционирования и

развития сфер $B_j, i = \overline{1, 3}$, их взаимодействия, а также взаимодействия их с внешней средой. Государство выступает как организатор и координатор жизни населения ТС, как орган, осуществляющий макроэкономический контроль, регулирование процессов функционирования и развития региона $R_j, j = \overline{1, H}$. В осуществлении государственного регулирования развития региона R_j в той или иной степени участвуют все государственные институты, поскольку их деятельность так или иначе привязывается к территориям $S_j, j = \overline{1, H}$. Считается, что забота о пространственной организации хозяйства макрорегиона B , регионов $R_j, j = \overline{1, H}$, является неперменной функцией государства, безусловным рефлексом его самосохранения и устойчивого развития. При этом эффективными инструментами экономического регулирования являются: индикативное планирование и прогнозирование процессов направленного развития регионов $R_j, j = \overline{1, H}$; бюджетно-налоговая политика, макро и микро инструменты региональной политики. В дальнейшем под процессом развития макрорегиона B , регионов R_j понимается процесс изменений, преобразований, которые обуславливают переход их от менее совершенного состояния к состоянию с более высоким уровнем совершенства. При этом процесс развития B является интегрированным процессом, образуемым системной интеграцией локальных процессов развития регионов $R_j, j = \overline{1, H}$. Таким образом, уровень развития макрорегиона зависит от территориальной организации его общества, его производительных сил, определяемых разбиением $T(S)$, от территориальной организации власти, являющейся связывающим звеном между центральными органами исполнительной власти и местным самоуправлением, которое позволяет учесть местные особенности, различие, структурные диспропорции, характерные для $R_j, j = \overline{1, H}$, в силу их природно-ресурсных условий территориального положения. Таким образом, разбиение $T(S)$ определяет административно-территориальное устройство макрорегиона, эффективность государственного регулирования функционирования и направляемого развития $B, R_j, j = \overline{1, H}$. Изменение $T(S)$ требует адекватной адаптации системы управления развитием макрорегиона. Если \mathcal{M} – множество допустимых разбиений $T(S)$, то при осуществлении реформы макрорегиона возникает проблема выбора $\Pi(S) \in \mathcal{M}$, которое создает наилучшие условия для развития макрорегиона B . В связи с этим в работе ставится задача создания ИМ функционирования системы управления развитием макрорегиона B , которая позволяла бы

прогнозировать последствия практической реализации $T(S)$, организовывать среди $T \in \mathcal{M}$ поиск ТП(S), определяющего эффективную пространственную организацию хозяйства макрорегиона.

Морфология системы имитационных моделей функционирования системы управления развитием макрорегиона. Структура ОУ системы управления развитием макрорегиона B указывает на то, что создаваемая ИМ должна иметь блоки, имитирующие с разной степенью детализации одни и те же компоненты систем управления B и отдельных регионов $R_j, j = \overline{1, N}$. В связи с этим необходимо иметь ИМ отдельных изначальных структурных элементов системы управления $(B_{1j}, B_{2j}, B_{3j}, B_{4j})$ региона R_j . Поэтому для повышения эффективности применения метода имитационного моделирования целесообразно использовать банк модулей, каждый из которых реализует унифицированную ИМ, настраиваемую на конкретную реализацию структурного элемента системы управления развитием макрорегиона B , отдельных его регионов R_j , определяемых заданным разбиением $T(S)$. В качестве основы при формировании банка модулей предлагается использовать систему автоматизированного управления устойчивым развитием ТС, управляющая система которой имеет три уровня (рис. 1). Нижний уровень образует система мониторинга, содержащая комплекс информационных систем (ИС) сбора, обработки, хранения, передачи, представления информации о прошлых и настоящих состояниях территории, о процессах ее взаимодействия с субъектами микро, макро, метасреды. На верхнем уровне расположены органы государственной власти ТС, принимающие решения и образующие систему принятия решений (СПР) о стратегических целях, направлениях развития, о стратегии развития, а также принятия управленческих решений по ее реализации (система индикативных планов развития, проводимая государственная политика и т.п.) Индикативное планирование образует механизм координации деятельности субъектов рассматриваемой территории. На среднем уровне автоматизированной системы управления развитием (АСУР) территории располагаются элементы, образующие СППР, которая содержит комплекс человеко-машинных систем, позволяющих СПР использовать качественные и количественные характеристики зафиксированных стратегических целей и направлений развития, данные и знания ИС, объективные и субъективные модели для анализа и решения проблем устойчивого развития, для разработки и принятия эффективных управленческих решений [3].

Модульный принцип разработки ИМ позволяет в автономном режиме использовать готовые модули, проводить их замену модифицированными или конкурирующими версиями. В соответствии с рис.1 ИМ должна содержать:

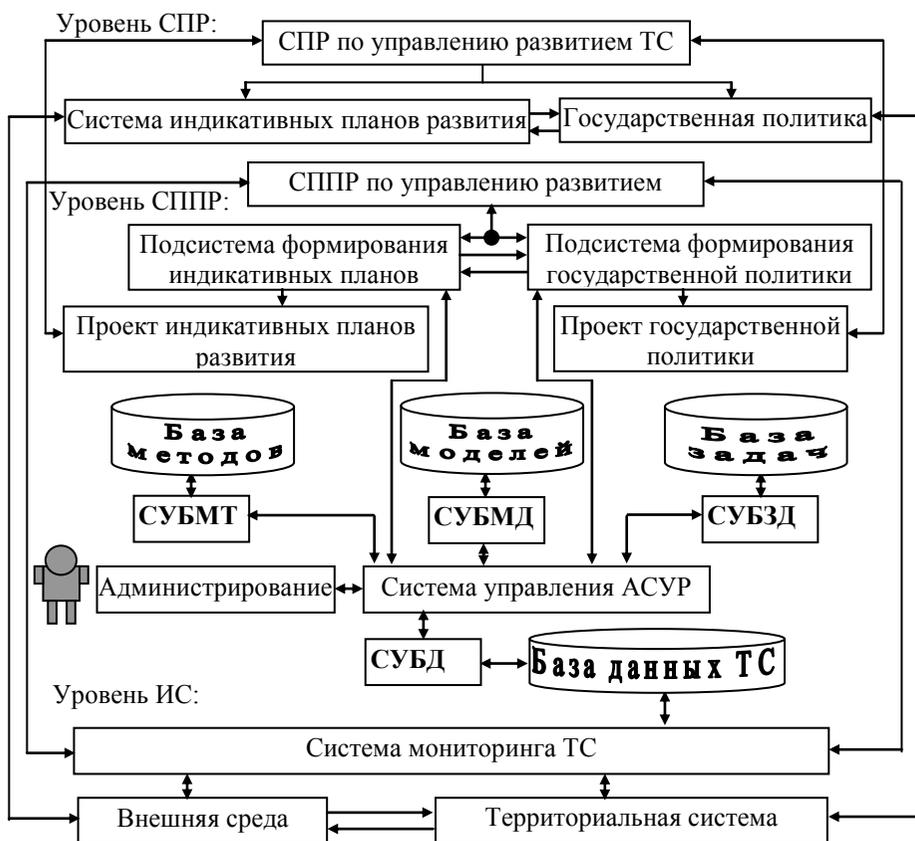


Рис. 1. Структурно-функциональная схема управляющей подсистемы развивающейся ТС

- ИМ управляющей сферы, содержащую взаимодействующие модули, моделирующие стихийные механизмы саморегуляции и механизмы государственного регулирования на основе индикативного планирования и формирования адекватной государственной политики;
- ИМ функционирования сферы производства и формирования ВВП, способную имитировать долгосрочные процессы развития благодаря периодической корректировке параметров модели с учетом вновь получаемой текущей информации;
- ИМ аграрного сектора макрорегиона;
- ИМ накопления и развития интегрального интеллекта общества, влияния его на процессы развития системы, на производство, потребление, распределение, обмен продуктов и услуг;

- ИМ экологической сферы, моделирующую процессы истощения и восстановления природных ресурсов с учетом влияния на них уровня развития материального и интеллектуального уровней жизни, уровней загрязнения окружающей среды производственными и бытовыми отходами;

- ИМ межрегиональных взаимодействий.

Организация функционирования интерактивной системы имитационного моделирования. Для создания ИМ функционирования системы управления развитием региона семейство разработанных модулей интегрируется в интерактивную систему имитационного моделирования, предназначенную для исследования влияния разбиения $T(S)$ на показатели функционирования системы управления развитием макрорегиона. При этом варианты разбиений, управляющие воздействия предлагает человек. Рассматривается ряд режимов работы ИМ:

- автоматизированный анализ влияния разбиения $T(S)$ на процессы развития макрорегиона;

- проведение численных экспериментов на модели при фиксированном разбиении;

- корректировка параметров ИМ с учетом результатов сравнения модельных результатов с имеющейся статистикой, с вновь получаемой текущей информацией о процессе развития;

- проведение численных экспериментов по исследованию эффективности функционирования механизмов стихийной и осознанной регуляции;

- проведение численных экспериментов по исследованию системного эффекта от межрегиональных взаимодействий и др.

Выводы. Предлагаемая концепция проектирования интерактивной системы имитационного моделирования процессов развития регионов позволяет создание ИМ, способной оценивать последствия реализации административно-территориальной реформы в макрорегионе, эффективность проводимой адаптации системы управления к имеющимся внутренним и внешним условиям.

Список литературы: 1. Лисицкий В.Л. Структурный анализ процессов развития территории // Вестник НТУ "ХПИ". – Харьков: НТУ "ХПИ", – 2005. – №18. – С. 121-124. 2. Бородин В.И., Лисицкий В.Л. Концептуальные основы исследования влияния административно-территориального устройства государства на его устойчивое развитие / Материалы 6 международной междисциплинарной научно-практической конференции "Современные проблемы гуманизации и гармонизации управления" – Харьков: ХНУ, – 2005. – С. 21-22. 3. Лисицкий В.Л., Гернет Н.Д. Концепция и принципы построения АСУ устойчивым развитием территории // Проблемы науки, образования, управления. – Харьков. УАЖНО, ХНУ. – 2003. – вып.. 4. – С. 74-79.

Поступила в редколлегию 16.11.05.

Н.В. ШАТОХИНА

**СЛУЧАЙНЫЙ СПРОС В ЗАДАЧАХ ФОРМИРОВАНИЯ
СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ С
АЛГОРИТМИЧЕСКИМИ И АНАЛИТИЧЕСКИМИ
ЦЕЛЕВЫМИ ФУНКЦИЯМИ И ОГРАНИЧЕНИЯМИ**

У даній статті запропоновано модель багатокритеріальної динамічної немарківської задачі вибору стратегії розвитку підприємства з урахуванням попиту, величина якого описана за допомогою апарату теорії ймовірності і метод її розв'язання. Модель задачі включає алгоритмічні та аналітичні цільові функції та обмеження. Розглянуто підхід до аналізу стійкості здобутого рішення.

Введение. Ключевой исходной информацией в задачах поиска оптимальных планов и стратегии развития производственных предприятий является объем прогнозируемого спроса на продукцию.

Существует значительное количество работ и различных направлений, изучающих спрос и потребности населения на макроэкономическом и на микроэкономическом уровнях. Эти проблемы имеют первостепенное значение для рыночной экономики, стремящейся к наиболее полному удовлетворению изменчивых потребностей общества, которое проходит в форме удовлетворения платежеспособного спроса.

Ранее авторами для формализации задач оптимизации планов развития производственных систем была предложена модель в однокритериальной постановке с алгоритмической целевой функцией, алгоритмическими и аналитическими ограничениями [1]. Следующим этапом развития данного направления стала формулировка модели задачи выбора стратегии развития предприятия в многокритериальной постановке с учётом возможности осуществления мероприятий по стимулированию спроса на продукцию и учёта рисков, сопутствующих их реализации. В работе [2] были предложены модель и метод решения многокритериальной динамической немарковской задачи выбора стратегии развития с булевыми переменными, содержащей аддитивную целевую функцию с нечетким слагаемым.

Следует отметить, что существует множество факторов, влияющих на спрос. Измерение спроса и его прогнозирование представляют довольно сложную задачу. Её решают на уровне определённого рынка сбыта для конкретной продукции. При этом выделяют ряд существенных особенностей, на базе которых можно строить математические модели, описывающие сложившуюся ситуацию. Самыми достоверными можно считать модели, в которых уровень спроса сопоставляется с такими факторами как уровень дохода потребителей, качество производимой продукции, характеристики конкурирующих товаров, погодные условия и многое другое. Однако между подобными

величинами не возможно установить строго функциональные зависимости, что является причиной некоторых упрощений при моделировании спроса. Для этого используют различные экспертные методы, методы прогнозирования и аппарат теории вероятности.

В данной статье предложена модель многокритериальной динамической немарковской задачи выбора стратегии развития предприятия с учётом спроса, величина которого описана при помощи аппарата теории вероятности и метод её решения.

1. Представление спроса. Перейдем к описанию величины прогнозируемого спроса для создания модели задачи формирования стратегии развития производственного предприятия.

Будем рассматривать спрос как случайную величину (СВ). В общем виде случайный спрос, как и любая другая СВ, зависит от ряда факторов, т.е. $V(\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_s)$. К таким факторам отнесём: уровень покупательной способности, степень информируемости населения, наличие конкурентов на данном рынке и т.п. Изменение одного или нескольких факторов влечет за собой и изменение рассматриваемого параметра. В общем случае влияние подобных факторов может быть различным. В данной работе будем полагать, что уровень воздействия различных факторов на спрос являются величинами одного порядка.

Тогда можно описывать величину спроса нормальным законом. Данное допущение можно обосновать центральной предельной теоремой [3]. Для случая нормального закона описания спроса можно говорить о зависимостях математического ожидания и дисперсии от данных факторов: $m_B(\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_s)$, $\sigma_B(\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_s)$. Для более общего случая, когда вид закона, описывающего плотность распределения СВ, заранее не известен, целесообразно использовать методику получения непрерывной аппроксимации статистических законов распределения различного характера, предложенную в работе [4]. В ней предложена модель для аппроксимации плотностей распределения следующего вида:

$$\varphi(y) = A \left[1 + \theta_4 \frac{(y - \theta_1)^2}{2\theta_2^2} \right] \exp \left[-\frac{(y - \theta_1)^2}{2\theta_2^2} (\rho + \theta_3 \operatorname{sgn}(y - \theta_1)) \right], \quad (1)$$

где $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ – параметры, которые определяют математическое ожидание, дисперсию, асимметрию и эксцесс случайной величины; ρ – параметр, задающий возможный диапазон значений θ_3 и обеспечивающий унимодальность функции $\varphi(y)$; A – нормирующий коэффициент, определяемый из условия

$$\int_{-\infty}^{\infty} \varphi(y) dy = 1.$$

Пятипараметрическое распределение (1) позволяет описывать кривые

распределения произвольных форм.

В работе [5] предложен частный случай трёхпараметрического распределения вероятностей, который обладает возможностями по варьированию математическим ожиданием θ_1 , дисперсией θ_2 и асимметрией θ_3 . При $\theta_3 = 0$ возвращаемся к нормальному закону распределения.

Аналитическое представление пяти- и трёх-параметрических распределений обеспечивает оценивание их параметров по статистическим данным с применением простых численных процедур.

Рассмотрим случай представления спроса нормальным законом для бикритериальной динамической задачи выбора оптимальной стратегии развития предприятия, с алгоритмическими и аналитическими ограничениями и целевыми функциями дохода и затрат:

$$F^1 = Pt = \sum_{t=1}^T \sum_{h=1}^H \Pi_t^{(h)} B_t^{(h)}(x_{jt}) + \sum_{t=1}^{t_n} \sum_{j=1}^M \sum_{r=1}^l \Pi_{jr} x_{jt} + \Pi_{nped} \rightarrow \max_{x_j}, \quad (2)$$

$$F^2 = Cs = \sum_{t=1}^{t_n} \sum_{j=1}^M \sum_{r=1}^l \omega_{jr} \alpha_{t+r-1} x_{jt} + \sum_{t=1}^T I_t \alpha_t + \left(\sum_{t=1}^T S_t^u + \sum_{t=1}^T S_t^a + \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^M \sum_{n=1}^{\Pi} q_n^j U_n(x_{jt}) \right) + \omega_{nped} + I_{nped} \rightarrow \min_{x_j}, \quad (3)$$

$$B_t^{(h)} = \begin{cases} A_t^{(h)}, & \text{если } A_t^{(h)} \leq B_t^{(h)}, \\ B_t^{(h)}, & \text{если } A_t^{(h)} > B_t^{(h)}, \end{cases} \quad (4)$$

$$A_t^{(h)} = \Phi \left(A_{t-1}^{(h)}, x_{jp} \right), j = \overline{1, M}, p = \overline{t+1-g, t}, \quad (5)$$

где $l = 1 - t + \min(t + g - 1, T)$; Pt, Cs (*profit, costs*) – критерии прибыли и затрат соответственно; $B_t^{(h)}$ – случайная величина спроса на продукцию h -го типа в году t ; T – плановый период; $A_t^{(h)}$ – производственная мощность по h -му типу продукции в году t ; $\Pi_t^{(h)}$ – цена на продукцию h -го типа в том же году; w_{jr} , Π_{jr} – единовременные затраты и остаточная стоимость основных фондов в r -м году с начала реализации j -го варианта развития; I_t – текущие затраты t -го года; x_{jt} – булева переменная, равная “1” в случае внедрения варианта развития в году t и равная “0” в противном случае, j – номер варианта развития; S_t^u – затраты на идентификацию рисков в году t ; S_t^a – затраты на анализ, расчёт рисков и выработку решений по предупреждению соответствующих рисков при j -м варианте развития; остальные ограничения задачи и содержащиеся в них параметры рассмотрены в работе [2].

Плотность распределения величины спроса $B_t^{(h)}$ запишем как $f(B_t^{(h)})$.
 Запишем вероятность для условия (4). Она составляет:

$$P(B_t^{(h)} > A_t^{(h)}) = \int_{A_t^{(h)}}^{\infty} f(B_t^{(h)}) dB_t^{(h)} = P, \text{ тогда } B_t^{(h)} = (A_t^{(h)} \cdot P + B_t^{(h)} \cdot (1-P)),$$

$$f(B_t^{(h)}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{B_t^{(h)}}} \exp\left\{-\frac{(B_t^{(h)} - m_{B_t^{(h)}})^2}{2\sigma_{B_t^{(h)}}^2}\right\},$$

$$f(B_t^{(h)}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{B_t^{(h)}} \cdot (1-P)} \exp\left\{-\frac{(B_t^{(h)} - (m_{B_t^{(h)}} \cdot (1-P) + A_t^{(h)} \cdot P))^2}{2\sigma_{B_t^{(h)}}^2}\right\},$$

$$f\left(\sum_{t=1}^T \sum_{h=1}^H U_t^{(h)} \cdot B_t^{(h)}\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\Sigma}} \exp\left\{-\frac{\left(\sum_{t=1}^T \sum_{h=1}^H U_t^{(h)} \cdot B_t^{(h)} - m_{\Sigma}\right)^2}{2\sigma_{\Sigma}^2}\right\}, \text{ где}$$

$$m_{\Sigma} = \sum_{t=1}^T \sum_{h=1}^H U_t^{(h)} \cdot (m_{B_t^{(h)}} \cdot (1-P) + A_t^{(h)} \cdot P), \quad \sigma_{\Sigma}^2 = \sum_{t=1}^T \sum_{h=1}^H U_t^{(h)2} \cdot \sigma_{B_t^{(h)}}^2 \cdot (1-P)^2.$$

Получив данные характеристики можно осуществлять оптимизацию критерия дохода и затрат, сравнивая средние значения возможных вариантов.

Поскольку в рассматриваемом случае СВ спроса характеризуется двумя величинами: математическим ожиданием и дисперсией, для выбора наилучшего варианта развития с точки зрения критерия дохода прежде всего отдадут предпочтение варианту, которому соответствует наибольшее значение математического ожидания - m_{Σ_j} оптимизируемой функции. При равных средних величинах спроса, выбирают тот вариант, у которого дисперсия меньше. Для примера предложенного на рис. 1 это вариант б).

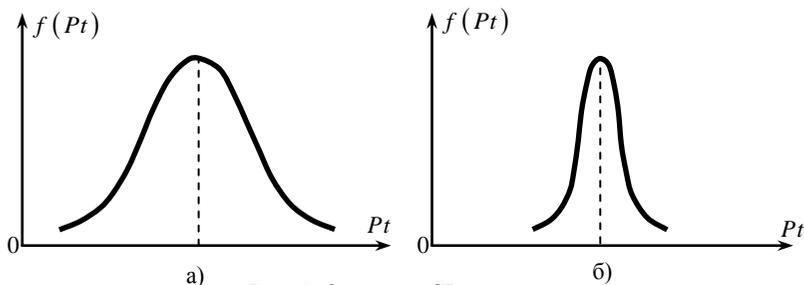


Рис. 1. Описание СВ спроса

Заметим, что для адекватного анализа случаев распределений общего вида средних величин часто недостаточно. Более эффективным будет использование подхода, реализующего расчет вероятности превышения заданного порога [4]. Использование пороговых значений обуславливает надежность процесса принятия решений. Величину “порогового” (критического) значения задают экспертным путём. Будем полагать, что она отклоняется от математического ожидания на 5-10%.

При вероятностной постановке задачи целевая функция в задаче оптимизации дохода будет иметь вид $P(P_t > P_{t_{крит}})$ (см. рис. 2,а),

$$P(P_t > P_{t_{крит}}) = \int_{P_{t_{крит}}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\Sigma}} \exp\left\{-\frac{(P_t - m_{\Sigma})^2}{2\sigma_{\Sigma}^2}\right\} dP_t. \quad (6)$$

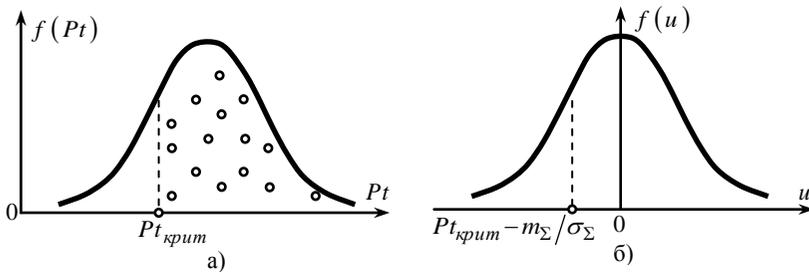


Рис. 2. Величина порогового значения

После введения новой переменной $u = \frac{(P_t - m_{\Sigma})}{\sigma_{\Sigma}}$, задача максимизации

(6) приобретает вид

$$P(P_t > P_{t_{крит}}) = \int_{\frac{P_{t_{крит}} - m_{\Sigma}}{2\sigma_{\Sigma}}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\Sigma}} \exp\left\{-\frac{u^2}{2}\right\} du \rightarrow \max \quad (6')$$

Максимизация вероятности (6') эквивалентна минимизации нижнего предела в (6') (см. рис. 2,б):

$$\frac{(P_t - m_{\Sigma}(x_{jt}))}{\sigma_{\Sigma}(x_{jt})} \rightarrow \min_{x_{jt}} \approx \frac{(m_{\Sigma}(x_{jt}) - P_t)}{\sigma_{\Sigma}(x_{jt})} \rightarrow \max_{x_{jt}}.$$

Максимум данная функция достигает при наибольшем математическом ожидании и наименьшей дисперсии, т.е. $m_{\Sigma}(x_{jt}) \rightarrow \max$ и $\sigma_{\Sigma}(x_{jt}) \rightarrow \min$.

Подобную задачу целесообразно решать модифицированным методом неявного перебора в зависимости от постановки задачи (т.е. в зависимости от количества рассматриваемых вариантов и длительности планового периода). В случае, если число вариантов обозримо, достаточно воспользоваться мето-

дом последовательного распределения, относящегося к группе методов, в которых осуществляется последовательный перебор всех вариантов [4]. Наилучший вариант является оптимальным вариантом для данной задачи, для него мы рассчитываем $P_{opt}(Pt)$. Аналогично осуществляется расчет $P_{opt}(Cs)$.

2. Анализ устойчивости. Для проведения анализа устойчивости полученного решения в задачах подобного типа нам понадобится и вариант следующий за оптимальным, т.е. наилучший из оставшихся. Будем читать, что

полученное решение устойчиво, когда
$$\left(P_{opt}(Pt) > \max_{j \neq j^*} Pt_j \right) \geq \gamma .$$

$$P_{opt}(Pt) - P_{max}(Pt) \geq \gamma .$$

При расчете такой вероятности γ выбирается в зависимости от требований предъявляемых к решению в конкретной ситуации (например, $\gamma = 0,25$).

Рассмотрим вычисление разности (z) на примере двух СВ ξ_1 и ξ_2 .

Поскольку $f_{\xi_1}(x) = e^{-\left(\frac{(\xi_1 - m_1)}{2\sigma_1^2}\right)^2}$, $f_{\xi_2}(x) = e^{-\left(\frac{(\xi_2 - m_2)}{2\sigma_2^2}\right)^2}$, то функция распределения

разности составит $f_{\Sigma}(z) = e^{-\left(\frac{z - (m_1 - m_2)}{2(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)}\right)^2}$. Тогда $P(z \geq 0) = \int_0^{\infty} f_{\Sigma}(z) dz$.

Выводы. Предложены модель многокритериальной динамической немарковской задачи выбора стратегии развития предприятия с учётом случайного спроса с алгоритмическими и аналитическими целевыми функциями и ограничениями и метод её решения. Рассмотрен подход к анализу устойчивости решения сформулированной задачи.

Результаты работы использованы при оптимизации производственно-экономических показателей технологических процессов на этапе получения диффузионного сока свеклосахарного производства в рамках совместных работ с фирмой “Диффузия”.

Список литературы: 1. Кононенко И.В. Оптимизация развития производственных систем, представленных имитационными моделями. – К., 1990. – 31с. – (Препр. / АН УССР. Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова; 90-36). 2. Кононенко И.В., Шатохина Н.В. Метод решения задачи формирования плана развития предприятия с использованием алгоритмических моделей и нечетких представлений // Вестник НТУ “ХПИ”. – 2003. №18. С.147-152. 3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. 576с. 4. Костенко Ю.Т., Раскин Л.Г. Прогнозирование технического состояния систем управления. – Х.: Основа, 1996. 303с. 5. Серая О.В. Аппроксимация гистограмм трехпараметрическим распределением случайных величин // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. 2001. №3. С.81-83.

Поступила в редколлегию 15.11.05

Д.Н. БОРОВСКОЙ

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСА В АКТИВНОЙ СИСТЕМЕ ИЗ ДВУХ ПРЕДПРИЯТИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ФУНКЦИИ ТИПА КОББА-ДУГЛАСА

В статті розглянуто задачу розподілу обмеженого об'єму трудового ресурса серед двох підприємств об'єднання з метою максимізації їх сумарного випуску. Підприємства описуються двофакторними виробничними функціями типу Кобба-Дугласа. Поведінка управляючого центру підпорядковується принципу відвертого управління. Ігровий аналіз стратегій поведінки підрозділів включає пошук всіх стандартних рішень відповідної безкаліційної гри. Для ілюстрації розрахунків наведено приклад виконання аналізу на реальних даних.

Формирование рыночных отношений в экономике Украины обусловило процесс реорганизации производственных систем и возникновение новых типов объединений, отличительной особенностью которых является финансовая подчиненность входящих в них предприятий единому управляющему органу. Такие социально-экономические системы обладают большим потенциалом, нежели сумма производственных возможностей отдельных предприятий, и, как следствие, благосостояние каждого члена объединения, при успешном управлении всей структурой, может быть улучшено.

Управление объединением из нескольких предприятий является сложным процессом и требует рассмотрения множества вопросов, таких, например, как стратегическое планирование, планирование производственной и финансовой деятельности, бюджетирование подразделений, инвестиционная и инновационная политика и многие другие. Данное исследование посвящается решению одной из производственно-экономических проблем, возникающих при планировании производственной деятельности, – проблеме распределения ограниченного ресурса внутри объединения. За счет рационального использования имеющихся средств, она является перспективным источником повышения эффективности работы, как всей организации, так и отдельных ее представителей.

Вместе с появлением новых перспектив от сотрудничества, возникают и дополнительные трудности, суть которых заключается в следующем. Руководство, в силу особенностей организационной структуры объединения, обладает неполной информацией о производственных возможностях своих подразделений, зная лишь границы изменения их реальных значений. Оно планирует деятельность всей организации на основании сообщаемых предприятиями данных и заботится о достижении собственной цели, которая, в общем случае, может не совпадать с критериями функционирования предприятий. Возникающие противоречия приводят к конфликту интересов

сторон, и предприятия, пользуясь частичной неосведомленностью центра, заинтересованы исказить предоставляемую информацию, стремясь обеспечить себе более выгодные условия работы. В результате такого поведения эффективность работы объединения в целом снизится. Кроме того, манипуляции повлекут изменения не только экономического характера, но и социального. Неверные данные о производственных возможностях отразятся на цене продукции, а значит, в конечном счете, пострадает потребитель.

Перечисленные особенности не могут не влиять на выбор метода решения исследуемой проблемы. Так, например, расчет задачи распределения ресурсов в рамках одного предприятия, может выполняться при помощи оптимизационных методов. В большинстве своем это однокритериальная оптимизация и критерий определяется целью поставленной задачи. В более простых случаях можно получить полное аналитическое решение и провести его исследование. Если же это сделать не удастся, применяются численные методы.

Распределение ресурса внутри объединения предприятий – это многокритериальная задача и стандартные оптимизационные методы уже не дают удовлетворительных результатов как в случае одного подразделения. Первые трудности встречаются уже на этапе формализации условий и построения математической модели. Необходимо знать «все обо всех», то есть обладать достоверной информацией о производственных возможностях предприятий. На практике этого добиться практически невозможно и приходится принимать решения в состоянии некоторой неопределенности. Найденный ответ не будет обладать устойчивостью и малейшие отклонения в поведении одного или нескольких подразделений могут приводить к противоположным результатам. Кроме того, цели участников допускают противоречивость, взаимоисключения и т.п., и тогда придется вводить дополнительные, искусственные, ограничения, упрощения или весовые коэффициенты, чтобы объединить их в один критерий, удовлетворяющий целям каждого. В действительности это означает навязывание предприятиям воли лица, занимающегося проблемой распределения, что не согласуется с практикой.

Для решения подобных многокритериальных задач на смену оптимизационным методам приходят игровые, оформившиеся в виде теории активных систем. Их отличительной особенностью является более высокая адекватность отражения интересов действующих лиц, возможность поиска уравновешенных устойчивых решений, но вместе с тем, сложность решения существенно выше, чем в оптимизационных методах, и зачастую полностью аналитически его получить не удастся. За счет большего соответствия реалиям экономических отношений, игровые методы пользуются доверием и спросом среди практических менеджеров.

В рамках теории активных систем принято деятельность экономической системы моделировать бескоалиционной игрой, в которой каждый участник

имеет свой критерий оптимальности, свои производственные возможности и ограничения (см. [1]). Достоверно сторонам не известна информация друг о друге, равно как и центральный орган не знает реальных характеристик подразделений. Однако постановка задачи, принятая в теории активных систем, позволяет учитывать цели каждого, вместе с ограниченностью и неполнотой доступной информации, а при помощи теоретико-игрового анализа находятся оптимальные управления, обеспечивающие удовлетворительные значения критериев.

С точки зрения теории управления, наиболее трудным является управление системой с двумя действующими элементами. В случае многих участников вступает в силу так называемая гипотеза слабого влияния (см. [2, с. 31]), в соответствии с которой, один игрок, если он не монополист, не может значительно повлиять на поведение остальных и на конечный результат. Поэтому, система вне зависимости от управляющих воздействий, самостоятельно придет в состояние равновесия. Качество законов управления наилучшим образом можно исследовать для случая именно двух элементов, так как индивидуальное поведение каждого в значительной степени отражается на результате деятельности.

Теория активных систем – развивающаяся наука, являющаяся разделом теории управления социально-экономическими системами и изучающая свойства механизмов их функционирования, обусловленные проявлением активности участников системы. На сегодняшний день перед научной дисциплиной стоит ряд теоретических и практических задач. К их числу относится адекватный учет в формальных моделях современных социальных и экономических отношений, анализ и синтез механизмов управления в условиях возможности образования коалиций, изучение механизмов управления при использовании различных концепций равновесия и теоретическое исследование устойчивости решений задач управления реальными организационными системами (см. [3, с. 77]).

Таким образом, учитывая все выше сказанное, необходимость применения научно обоснованных методов и механизмов управления хозяйственной деятельностью, актуальность повышения их эффективности, а также недостаточное количество разработок, ориентированных на объединения предприятий в условиях современных экономических отношений, явились основанием выбора темы настоящего исследования.

Постановка задачи исследования

Соблюдая принятые в рамках теории активных систем определения и термины, сформулируем задачу исследования.

Будем рассматривать двухуровневую активную систему, представляющую собой объединение из двух предприятий, выступающих в качестве активных элементов, и центрального управляющего органа, –

руководства объединения. Работа предприятий заключается в выпуске продукции Y и получения прибыли D от ее реализации. Количество произведенной продукции зависит от факторов производства – производственных фондов, объем которых K известен только самому предприятию, и трудовых ресурсов L , являющихся ограниченным ресурсом, получаемым от центра. Математической моделью, описывающей взаимосвязь факторов производства и выпуска продукции, выбрана производственная функция типа Кобба-Дугласа. Являясь одной из наиболее известных и распространенных форм производственных функций, она применяется для описания систем, характеризующихся стабильностью работы (см. [4]). Ее параметры определяются при помощи методов регрессии на основании статистических данных за прошедшие периоды, следовательно, можно считать, что они достоверно известны центру.

Функционирование системы исследуется в дискретные моменты времени, в каждом из которых задача центра заключается в распределении ограниченного объема трудовых ресурсов R , обеспечивая максимум суммарного выпуска продукции предприятий Φ . В тоже время, задачей предприятий является получение такого количества трудовых ресурсов, при котором их собственная прибыль D достигала бы максимума. Прибыль предприятий формируется как разность между доходом от продажи центру всей произведенной продукции Y по цене λ и затратами на производство этой продукции z .

Управление социально-экономической системой является сложной проблемой и в настоящее время теория однозначно не дает ответа, какой закон управления наилучший. Не смотря на это, наиболее эффективным и практически проверенным является принцип открытого управления (см. [3]). В соответствии с ним цена продукции λ , назначаемая центром, является внутрифирменной ценой и математически является условием согласования целей центра и предприятий. Именно этот принцип рассматривается в исследовании.

Работа системы осуществляется по следующей схеме. Предприятия сообщают центру оценки объемов своих производственных фондов s . На их основе центр решает собственную задачу оптимизации, распределяя между подразделениями трудовые ресурсы и назначая цену продукции. Предприятия действуют самостоятельно, предоставляют данные только центру, не ведут между собой переговоры, не создают коалицию и стремятся своим поведением обеспечить достижение собственных целей, не заботясь о целях центра. Такая модель поведения соответствует бескоалиционной игре.

Введем следующие обозначения. Критерий i -го предприятия будем записывать в виде:

$$D_i = \lambda \cdot Y_i - z_i \longrightarrow \max .$$

Производственная функция Кобба-Дугласа для i -го предприятия:

$$Y_i = A_i \cdot K_i^{\alpha_i} \cdot L_i^{\beta_i},$$

где: A_i – масштабный коэффициент, согласующий размерности единиц измерения факторов производства; α_i и β_i – коэффициенты эластичности выпуска продукции по объемам производственных фондов и трудовых ресурсов соответственно (см. [4]).

Затраты предприятия на выпуск продукции будем выражать линейной функцией факторов производства (см. [5]):

$$z_i = w_i \cdot K_i + r_i \cdot L_i,$$

где, r_i и w_i – удельные стоимости соответственно трудовых ресурсов и основных фондов в общих затратах.

Центр – решает задачу максимизации выпуска продукции:

$$\begin{aligned} \Phi = Y_1 + Y_2 &\longrightarrow \max \\ L_1 + L_2 &= R \end{aligned}$$

Предварительный анализ бескоалиционной игры активных элементов и центра показал, что предпочтительной стратегией предприятий является сообщение заниженных оценок s , вплоть до нуля. За счет этого, в соответствии с принципом открытого управления, происходит неограниченный рост цены и рост прибыли предприятий. Устойчивые решения наблюдаются в области малых s , при этом значения критериев значительно возрастают. Множество Парето, переговорное множество, точка Эджворта и точка максимальной суммы, находятся на бесконечности, чего в реальности быть не может.

Игра без ограничений, когда подразделения могут сообщать любые оценки, не отвечает действительности еще и по другой причине. На практике, размеры производственных фондов не могут изменяться в широких пределах, или даже снижаться до нуля, если на предприятии не происходит никаких серьезных трансформаций (если же это происходит, то производственная функция Кобба-Дугласа не применима и настоящая работа не распространяется на подобные ситуации). Центр в большинстве случаев имеет представления о границах изменения объемов производственных фондов и может определить, по меньшей мере, их нижний предел. Поэтому, в задаче будем учитывать ограничения снизу на сообщаемые предприятиями оценки:

$$s_1 \geq s_{1 \min}, \quad s_2 \geq s_{2 \min}.$$

Такие условия позволяют ограничить сверху пространство игры, а значит получить конкретные значения стандартных решений. Ограничивать сверху s нет необходимости, так как известно, что завышение собственных возможностей в задачах распределения ресурсов ведет к уменьшению выигрышей (см. [2]).

Следует заметить, что представления центра об s_{\min} могут быть несколько заниженным и предприятия, стремясь получить максимум прибыли, сообщат минимально возможные оценки, то есть ограничения. Это поведение объясняется ростом цены, устанавливаемой по закону ценообразования, и является манипуляцией действиями центра. Неоправданное завышение, в конечном счете, негативно отразится на потребителе. Во избежание такой ситуации, можно вводить дополнительно еще одно ограничение типа неравенства – верхний предел цены: $\lambda \leq \lambda_{\max}$, но в данной работе оно рассматриваться не будет.

Цель настоящего исследования заключается в определении возможных результатов взаимодействия центра и активных элементов, выявление качественно-рационального поведения участников в условиях ограничений на обмен информацией.

Решение задачи

Анализ проблем, связанных с управлением, был бы не полным, если бы давал возможность оценить только результат каких-либо воздействий. На практике важно знать не только «что» можно получить, но и каким образом необходимо действовать, чтобы обеспечить планируемый финал. Поэтому исследование поставленной задачи будем выполнять в двух пространствах – пространстве управлений и пространстве критериев. Их взаимосвязь, умение переходить из одной системы координат в другую позволят дать ответы на два упомянутых выше вопроса.

Рассматриваемая активная система является двухуровневой, поэтому задача распределения ресурса решается последовательно, в два этапа, на верхнем уровне, – уровне центра, и нижнем – уровне предприятий. Центру необходимо принять закон управления, обеспечивающий максимум его критерия Φ , в результате чего определяются стратегии L и λ . На нижнем уровне определяются управления (стратегии) s , при которых предприятия получают максимальные прибыли D .

Получим решение задачи центра – распределение трудовых ресурсов и закон ценообразования.

Как отмечалось выше, центр не знает реальных объемов производственных фондов подразделений и действует на основании сообщаемых оценок s_1, s_2 , решая задачу:

$$\Phi = A_1 \cdot s_1^{\alpha_1} \cdot L_1^{\beta_1} + A_2 \cdot s_2^{\alpha_2} \cdot L_2^{\beta_2} \xrightarrow{L_1, L_2} \max$$

$$L_1 + L_2 = R$$

Найдем оптимум функции Φ взяв ее частные производные по L_1, L_2 , приравняв их нулю; после преобразований получим уравнение:

$$\beta_1 \cdot A_1 \cdot s_1^{\alpha_1} \cdot L_1^{\beta_1-1} - \beta_2 \cdot A_2 \cdot s_2^{\alpha_2} \cdot (R - L_1)^{\beta_2-1} = 0,$$

решение которого относительно L_1 дает закон распределения ресурса.

На практике, нахождение L_1, L_2 не вызывает особых затруднений. Имея конкретные параметры производственных функций предприятий, искомые значения можно вычислить при помощи численных методов, но получить аналитическое выражение в общем виде не представляется возможным. Такое преобразование удастся выполнить в случае, когда $\beta_1 = \beta_2 = \beta$. Дополнительный анализ показал, что малые отклонения в значениях β дают незначительные отклонения в конечных решениях закона управления и критериев предприятий. Более того, зная соотношения β_i можно вычислить соотношения выигрышей предприятий и значение критерия центра. Таким образом, ограничение на равенство показателей эластичности не является принципиальным, не искажает методики решения и вида полученных закономерностей, и вместе с тем позволяет аналитически изучить природу игры в целом.

Учитывая условие $\beta_1 = \beta_2 = \beta$, получим решение задачи центра:

$$L_1 = R \cdot \frac{r'_2 \cdot A'_1 \cdot s_1^{\gamma_1}}{r'_2 \cdot A'_1 \cdot s_1^{\gamma_1} + r'_1 \cdot A'_2 \cdot s_2^{\gamma_2}},$$

$$L_2 = R \cdot \frac{r'_1 \cdot A'_2 \cdot s_2^{\gamma_2}}{r'_2 \cdot A'_1 \cdot s_1^{\gamma_1} + r'_1 \cdot A'_2 \cdot s_2^{\gamma_2}},$$

где: $A'_i = A_i^{1/\beta}$, $\gamma_i = \alpha_i / (1 - \beta)$.

В соответствии с принципом открытого управления цели центра и предприятий согласовываются при помощи цены. Для ее нахождения

запишем критерии предприятий по представлениям центра, который не знает реальных объемов производственных фондов K , поэтому в выражениях для объемов продукции Y используются сообщаемые оценки s :

$$\begin{cases} D_1 = \lambda \cdot A_1 \cdot s_1^{\alpha_1} \cdot L_1^\beta - (w_1 \cdot s_1 + r_1 \cdot L_1) \xrightarrow{L_1} \max \\ D_2 = \lambda \cdot A_2 \cdot s_2^{\alpha_2} \cdot L_2^\beta - (w_2 \cdot s_2 + r_2 \cdot L_2) \xrightarrow{L_2} \max \end{cases}$$

Совместное решение системы уравнений, дает закона ценообразования:

$$\lambda = \frac{r_1 \cdot r_2}{\beta} \cdot R^{1-\beta} \cdot \left[\frac{1}{r_2' \cdot A_1' \cdot s_1^{\gamma_1} + r_1' \cdot A_2' \cdot s_2^{\gamma_2}} \right]^{1-\beta},$$

где $r_i' = r_i^{1/\beta}$.

Если предприятия не будут искажать информацию, то при такой цене центр решит оптимально свою задачу и обеспечит максимум прибыли подразделениям.

Установив закон распределения ресурса и закон ценообразования, центр становится пассивной стороной и, по сути, в игре предприятий участия не принимает.

Далее, рассмотрим поведение активных элементов. Подставляя закон распределения и закон ценообразования в критерии предприятий, после преобразований получим:

$$D_1 = R \cdot \frac{r_2' \cdot A_1' \cdot s_1^{\gamma_1}}{r_2' \cdot A_1' \cdot s_1^{\gamma_1} + r_1' \cdot A_2' \cdot s_2^{\gamma_2}} \cdot \left(\frac{K_1^{\alpha_1}}{\beta} \cdot s_1^{-\alpha_1} - 1 \right) - w_1 \cdot K_1$$

$$D_2 = R \cdot \frac{r_1' \cdot A_2' \cdot s_2^{\gamma_2}}{r_2' \cdot A_1' \cdot s_1^{\gamma_1} + r_1' \cdot A_2' \cdot s_2^{\gamma_2}} \cdot \left(\frac{K_2^{\alpha_2}}{\beta} \cdot s_2^{-\alpha_2} - 1 \right) - w_2 \cdot K_2$$

Как было отмечено ранее, игровой анализ включает в себя нахождение стандартных решений, соответствующих различным качественным типам поведения участников. Так, точка Нэша соответствует индивидуально-рациональным стратегиям, а Парето, переговорное множество, точка максимальной суммы выигрышей и точка Эджворта – коллективно-рациональному поведению. Из теории известен ряд математических выражений, при помощи которых вычисляются перечисленные решения, однако они рассчитаны на игру без ограничений. Аналитически полученные

значения могут не попадать в пространство игры, обусловленное дополнительными границами. Поэтому в игре, рассматриваемой в настоящей работе, поиск решений осуществляется не только по общепринятым формулам, но и руководствуясь их свойствами, содержащимися в определениях (дефинициях). Кроме того, говоря о стандартных решениях, мы будем иметь в виду решения, обладающие свойствами стандартных. Например, точка Нэша – это точка, от которой не выгодно отклоняться в одностороннем порядке ни одному из игроков. Она отражает максимальный гарантированный выигрыш участников и находится как решение системы из частных производных критериев предприятий по собственным управлениям:

$$\frac{\partial D_1}{\partial s_1} = 0, \quad \frac{\partial D_2}{\partial s_2} = 0.$$

В результате, может оказаться, что точка будет расположена за пределами пространства игры, поэтому после ее получения необходимо пересмотреть координаты с учетом ограничений.

Точка Нэша является рациональным решением в условиях жесткой конкуренции, когда предприятия не «доверяют» друг другу и совместно не стремятся увеличить свою прибыль. В случае же, когда можно рассчитывать на определенную согласованность в действиях и некоторую степень доверия, становится важным определить, на что могут претендовать участники, действуя сообща, то есть, проявляя коллективно-рациональный тип поведения. Ответить на этот вопрос позволяет нахождение переговорного множества.

Из всех точек пространства игры для игроков будут интересны только те, в которых каждый из них может получить выигрыш, по крайней мере, больший, чем в точке Нэша и наилучшие варианты расположены на границе пространства игры. Качественно это означает, что согласованные действия для предприятий будут иметь смысл, если они принесут выигрыш не меньший, чем предприятие может обеспечить себе самостоятельно. В действительности, требование стоит ужесточить, сказав, что необходим «большой» выигрыш. Согласование интересов вероятнее всего повлечет дополнительные затраты, которые желательно так же учесть в будущем выигрыше. Все множество подобных решений, расположенное на северо-восточной границе пространства игры, отсекаемой точкой Нэша, является переговорным множеством.

Часть границы пространства игры, которую составляют не улучшаемые одновременно для обоих игроков решения, – называется множеством Парето. Именно оно является наиболее интересным игрокам, нацеленным на сотрудничество. Множество Парето описывается уравнением, получаемым из определителя матрицы первых производных критериев по управлениям. В

рассматриваемой задаче этот подход приводит к степенным уравнениям и их аналитическое решение не представляется возможным. Следовательно, и границу пространства игры найти не удастся. Чтобы обойти эту трудность, воспользуемся иным способом, для чего запишем выражения критериев в следующем виде:

$$D_1 = r_1 \cdot L_1 \cdot \left(\frac{K_1^{\alpha_1}}{\beta} \cdot s_1^{-\alpha_1} - 1 \right) - w_1 \cdot K_1$$

$$D_2 = r_2 \cdot L_2 \cdot \left(\frac{K_2^{\alpha_2}}{\beta} \cdot s_2^{-\alpha_2} - 1 \right) - w_2 \cdot K_2$$

Выражая $s_1^{\alpha_1}$, $s_2^{\alpha_2}$ через D_1 , D_2 и подставляя результаты в закон планирования, после преобразований получим:

$$D_1 - \left[b_0 \cdot \frac{L_1^\beta}{L_2^\beta} \right] \cdot D_2 + \left[w_1 \cdot K_1 + r_1 \cdot L_1 - b_0 \cdot \frac{L_1^\beta}{L_2^\beta} \cdot (w_2 \cdot K_2 + r_2 \cdot L_2) \right] = 0,$$

где, $b_0 = \frac{K_1^{\alpha_1}}{K_2^{\alpha_2}} \cdot \frac{A_1}{A_2}$

Обозначим отношение L_1 , L_2 через x , и выразим его в управлениях предприятий (пользуясь законом распределения ресурсов):

$$x = \frac{r'_2}{r'_1} \cdot \frac{A'_1}{A'_2} \cdot \frac{s_1^{\gamma_1}}{s_2^{\gamma_2}},$$

$$D_1 - [b_0 \cdot x^\beta] \cdot D_2 + \left[w_1 \cdot K_1 - b_0 \cdot w_2 \cdot K_2 \cdot x^\beta + R \cdot \frac{x}{1+x} \cdot (r_1 - b_0 \cdot x^{\beta-1} \cdot r_2) \right] = 0$$

Эти зависимости являются параметрическими уравнениями пространства игры в управлениях и критериях. Математически, они представляют семейства кривых, поэтому границу пространства игры можно искать как огибающие семейств, пользуясь методами из дифференциальной геометрии.

Данный способ позволит наглядно получить пространство игры, нанести на него принятые в системе ограничения и провести анализ стратегий поведения предприятий.

Множество Парето является множеством точек и естественно возникает вопрос, какую из них выбрать и в каком случае. Например, поиск наилучшего

возможного решения игры отвечает точке максимальной суммы выигрышей, которая находится путем решения оптимизационной задачи:

$$D_1 + D_2 \xrightarrow{s_1, s_2} \max .$$

Для того чтобы игроки попали в эту точку необходимо полное согласование их действий, что на практике означает доверие друг другу. Учитывая вероятность неравнозначности вкладов сторон в общий выигрыш, возникновение проблемы его дележа вполне закономерно, а достичь договоренности зачастую очень не легко. Поэтому в связи с трудностями по урегулированию интересов, ориентация предприятий на решение в точке Эджворта может быть более предпочтительной.

Точка Эджворта – точка пространства игры, в которой произведение выигрышей игроков максимально:

$$D_1 \cdot D_2 \xrightarrow{s_1, s_2} \max .$$

Она также расположена на границе пространства игры, однако в отличие от точки максимальной суммы, обладает устойчивостью и представляет особый интерес для практического использования. Находясь на множестве Парето, это решение не может быть улучшено одновременно для обоих игроков. Более того, в случае, когда игроки желают действовать согласовано, но, тем не менее, существуют трудности в договоре о распределении общего выигрыша, точка Эджворта выступает компромиссным вариантом – в ней каждый получает ровно столько, каков его вклад в общий выигрыш и проблемы дележа не возникает.

Пример анализа игры предприятий

Для иллюстрации полученных закономерностей, проведем анализ поведения подразделений с производственными функциями $Y_1 = 1.7 \cdot K_1^{0.54} \cdot L_1^{0.41}$ и $Y_2 = 0.94 \cdot K_2^{0.67} \cdot L_2^{0.41}$, а также функциями затрат $z_1 = 0.0048 \cdot K_1 + 0.137 \cdot L_1$ и $z_2 = 0.0021 \cdot K_2 + 0.143 \cdot L_2$. Будем полагать, что центр требует сообщать оценки производственных фондов не ниже чем $K_{1\min} = 700$ т. грн. для первого и $K_{2\min} = 5500$ т. грн. для второго предприятия. Реальные объемы неизвестного центру фактора $K_1 = 1300$, $K_2 = 8200$.

Исследование показало, что пространство игры имеет вид, приведенный на рис. 1 – не заштрихованная область. Кривая (1) (на графике справа) является дискриминантной линией семейства прямых в критериях

(см. [6, с. 50]), а ее часть, заключенная между точками K_1 , K_2 и M_1 , M_2 , вместе с участками прямых (2) – $D_2 = -w_2 \cdot K_2$ и (3) – $D_1 = -w_1 \cdot K_1$, соответствует огибающей этого семейства. На графике слева приведено пространство игры в управлениях. Как видно, оно не ограничено.

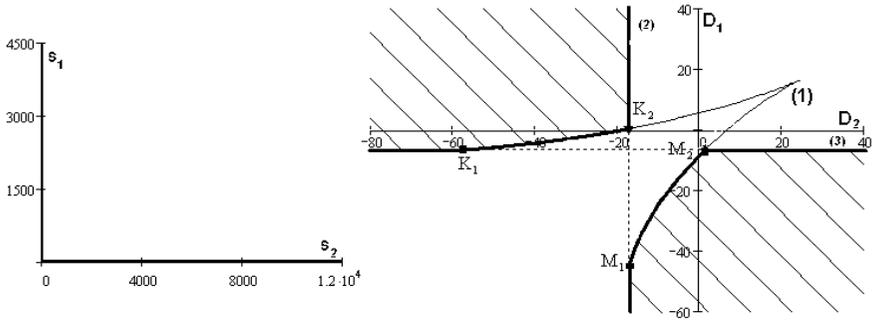


Рис. 1. – Пространство игры в управлениях и критериях (допустимая область не заштрихована)

Рис. 2 показывает, каким образом отразятся на пространстве игры введенные ограничения на сообщаемую предприятиями информацию. График слева соответствует случаю, когда существует только ограничение $s_1 \geq K_{1min}$, график справа – для ограничения $s_2 \geq K_{2min}$.

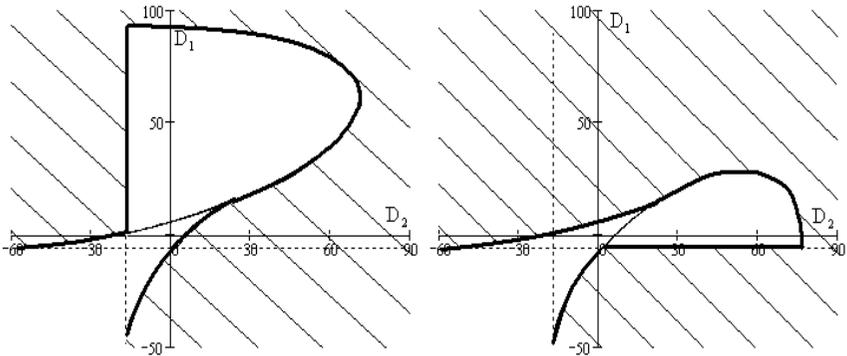


Рис. 2. – Ограничения на информацию в пространстве критериев (допустимая область не заштрихована)

Пересечение этих областей дает пространство игры (рис. 3) и позволяет найти стандартные решения. Для принятого соотношения ограничений получилось, что точка максимальной суммы, точка Эджворта, множество Парето и переговорное множество совпали в одной точке, обозначенной на рисунке точкой P.

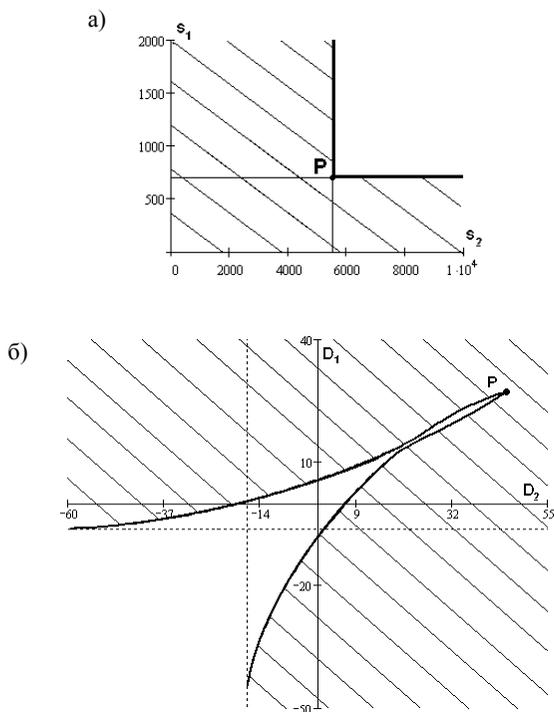


Рис. 3. – Пространство игры и стандартные решения с учетом ограничений:
 а) в управлениях; б) в критериях
 (допустимая область не заштрихована)

Проведенный анализ поведения активной системы, элементы которой описываются производственными функциями типа Кобба-Дугласа, позволяет сделать сравнение полученных результатов с предварительно выполненными аналогичными расчетами на основе традиционных моделей, принятых в теории активных систем и основанных на использовании обобщенных коэффициентов эффективности активных элементов. В обоих случаях наблюдаются качественно одинаковые ситуации, что свидетельствует об инвариантности игрового решения по отношению к математическому

описанию производственных возможностей предприятий, а результаты могут являться ориентиром при принятии практических управленческих решений.

Заключение

Подводя итоги выполненной работы, сделаем следующее заключение:

- использование производственной функции типа Кобба-Дугласа как основной характеристики подразделений активной системы, повышает адекватность описания моделей производства предприятий по отношению к реальной экономике, однако вызывает дополнительные трудности математического анализа игровой ситуации, и только при условии равенства коэффициентов эластичности труда удастся получить аналитическое решение;
- построен алгоритм анализа рационального поведения активной системы на основе принципа открытого управления и применения производственных функций типа Кобба-Дугласа в качестве моделей, описывающих активные элементы;
- исследование рационального поведения активной системы во всем пространстве игры на реальных данных крупного промышленного объединения, с учетом информационных ограничений, показало, что стандартные решения бескоалиционной игры находятся в точке пересечения этих ограничений, являются устойчивыми и эффективными. Таким образом, и индивидуально-рациональное поведение, и коллективно-рациональные стратегии, дают одинаковый максимально возможный результат.

Стоит также отметить, что модели производственных функций, используемые как в теории активных систем, так и в настоящей работе, не учитывают какой-либо технический прогресс в работе подразделений. Этим не всегда можно пренебрегать, особенно в условиях современного развития технологий, поэтому, одним из направлений продолжения исследования может являться изучение применения производственных функций, предусматривающих развитие самих элементов активной системы. Подобный фактор с одной стороны дополнительно повысит соответствие теории и практики, а с другой, возможно, внесет новизну в качество игровых решений.

Список литературы: 1. *Новиков Д.А., Петраков С.Н.* Курс теории активных систем. М.: СИНТЕГ, 1999. – 104 с. 2. *Бурков В.Н.* Основы математической теории активных систем. М.: Наука, 1977. – 255 с. 3. *Бурков В.Н., Новиков Д.А.* Теория активных систем: состояние и перспективы. М.: Синтег, 1999. – 128 с. 4. *Терехов Л.Л.* Производственные функции. М.: Статистика, 1974. – 128 с. 5. *Габиш Г., Гребенников П.И. и др.* Микроэкономика (эл. учебник). 6. *Раивский П.К.* Курс дифференциальной геометрии. М.: Гос. Издат., 1956. – 424 с.

Поступила в редколлегию 16.11. 05

М.Д.ГОДЛЕВСКИЙ, д-р техн. наук, *О.Ю.ЧЕРЕДНИЧЕНКО*, канд. техн. наук, *И.В.ЛЮТЕНКО*

ИНВЕСТИЦИИ В СФЕРЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

В статті розглянуто основні проблеми, стосовно інвестування вищих навчальних закладів. Зазначено, що освіта є важливою сферою державного регулювання, оскільки саме освіта є фундаментом ефективного розвитку суспільства. В статті запропоновано класифікацію інвестицій щодо системи вищої освіти. Зазначено, що для оцінки ефективності інвестицій щодо системи вищої освіти використання економічних критеріїв неможливо, необхідно використання критеріїв на основі якості освіти.

Постановка проблеми. Современные экономические условия Украины диктуют необходимость повышения эффективности управления развитием социально-экономических систем. Методология, процедуры и практика планирования и управления на различных уровнях экономики не полностью соответствуют современным требованиям. Это приводит к необходимости разработки новых подходов к управлению, что особенно актуально для сферы высшего образования.

В современном обществе знания - одна из высших ценностей и источник конкурентных преимуществ. Образование является гармоничным единением и результатом трех процессов – обучения, воспитания и профессионального становления. Мировая практика свидетельствует, что развитие высших учебных заведений определяется и тем, как в сложившихся условиях решается проблема обеспечения качества подготовки специалистов.

В образовательных системах ведущих индустриально развитых стран продолжают происходить важные перемены. Эти перемены коснулись всех сторон образовательной политики: роли государства, принципов финансирования, сферы ответственности администраций ВУЗов. В финансовой сфере больше внимания стало уделяться эффективности использования выделяемых университетам бюджетных ассигнований, что сопровождалось повышением самостоятельности ВУЗов и ответственности их руководства.

В списке стран, наиболее динамично развивавшихся в последние десятилетия, представлены государства, сделавшие ставку на развитие национальных систем образования и наукоёмкие технологии. В этих странах именно человеческий капитал стал основным фактором прогресса, обеспечивая до 75% производства и прироста национального дохода [1]. Не в последнюю очередь это связано с расходами на сферу образования.

Правительство любого индустриального государства, желающее быть функциональным, должно взять на себя финансовую ответственность перед обществом в трех важнейших областях: оборона, социальное обеспечение и

образование. Сегодня проблема финансирования и инвестирования высшего образования актуальна во всем мире. ВУЗы вынуждены полагаться на бюджетное финансирование и частных благотворителей с тем, чтобы обеспечить свои основные функции – подготовку специалистов и исследовательскую работу.

Необходимость инвестирования в высшее образование обусловлена объективными тенденциями в современном обществе: растущий спрос на высшее образование, внедрение информационных технологий в работу ВУЗов, научные достижения и коммерциализация новых знаний. Состояние системы образования в значительной степени определяет будущее страны, поскольку именно образование закладывает фундамент для развития производительных сил общества. Человеческий капитал – важнейший элемент национального богатства, и инвестиции в него дают высокую отдачу, прежде всего, через рост технических инноваций и увеличение производительности труда.

Анализ публикаций. Социально-экономическое развитие Украины и ее положение в мировом сообществе будут во многом зависеть от уровня ее научно-технического развития, способности создавать новые знания, технологии и эффективно их использовать. Одно из наиболее важных направлений государственного регулирования экономики – система высшего образования, основной целью которой является подготовка необходимого количества специалистов на заданном качественном уровне при ограниченных ресурсах [2].

Особое внимание к проблемам финансирования и инвестирования высшего образования обусловлено рядом факторов [3]:

- рост конкуренции на рынке образовательных услуг;
- увеличение потребности в выпускниках ВУЗов предприятий и организаций, появление у них заинтересованности в финансировании подготовки специалистов «под заказ»;
- превращение последиplomного образования в перспективный сектор деятельности ВУЗов;
- государственный заказ на подготовку специалистов и его размещение на рыночной основе.

Это приводит к актуальной проблеме поиска и внедрения методов повышения эффективности систем управления инвестициями в сфере высшего образования. Многие авторы акцентируют внимание на необходимости реформирования системы финансирования высшего образования. Можно выделить три базовых типа финансирования высшего образования [4]:

- 1) создание ВУЗов и их деятельность финансируются исключительно за счет государственных средств;
- 2) финансирование ВУЗов осуществляется исключительно за счет частных средств;

3) смешанная форма финансирования – использование наряду с частными средств государственного бюджета.

Очевидно, что для экономики Украины наиболее приемлемой является смешанная форма финансирования. Однако при этом возникают проблемы определения уровня государственного финансирования, степени влияния государства на деятельность ВУЗов, привлечения инвестиций из внебюджетных источников. Особенно актуальной является проблема оценки эффективности вложений в систему высшего образования.

Цели исследования. Современные тенденции развития системы высшего образования в Украине вызывают необходимость разработки подходов к созданию эффективной системы инвестиционного менеджмента как на уровне отдельных ВУЗов, так и на уровне системы высшего образования в целом. Привлечение инвестиций в сферу высшего образования и их рациональное использование является основной для обеспечения высокого качества подготовки специалистов и конкурентоспособности ВУЗов и выпускников на мировом рынке. Целью настоящего исследования является анализ особенностей инвестиций в сфере высшего образования.

Особенности инвестиций в сфере высшего образования. Одним из подходов к изучению сложных социально-экономических систем является представление их как взаимодействие двухуровневых систем. Будем рассматривать двухуровневую иерархическую систему, на верхнем уровне которой находится координирующий центр, отвечающий за планирование, координацию, распределение объемов работ и ресурсов и выражающий интересы системы в целом. Нижний уровень иерархии составляют субъекты хозяйственной деятельности, производящие некоторую продукцию или выполняющие некоторый объем работ.

Функционирование в условиях изменяющейся рыночной среды, вообще говоря, диктует необходимость совершенствования технологических процессов, обновления технической базы, повышения качества, т.е. требует инвестиций. По виду источника инвестиций можно выделить:

1) внутрифирменные инвестиции – вложение собственных средств субъектов хозяйственной деятельности нижнего уровня в развитие;

2) внутрисистемные инвестиции – вложение средств, аккумулированных на уровне координирующего центра, в развитие отдельных предприятий нижнего уровня или системы в целом;

3) внешние инвестиции – вложение средств субъектов хозяйствования, внешних по отношению к рассматриваемой системе.

Примером такой иерархической системы является система высшего образования. В качестве координирующего центра выступает министерство образования и науки, субъектами нижнего уровня являются высшие учебные заведения. Задачами министерства являются управление

и координация деятельности ВУЗов для достижения целей государственного регулирования в области науки и образования. Основная задача ВУЗов – подготовка специалистов с высшим образованием для экономики страны.

Система высшего образования функционирует на основе принципов государственного регулирования [5]. Существование страны, развитие ее экономики и культуры, социальная защита населения фактически обеспечивается за счет средств государственного бюджета. Для задач управления в государственных социально-экономических системах характерны жесткие ограничения на бюджетные ресурсы. Следовательно, актуальной является проблема использования инвестиционных ресурсов при государственном управлении, особенно при управлении развитием системы высшего образования.

Ограниченность средств на техническое, информационное, методическое и кадровое обеспечение приводит к снижению конкурентоспособности выпускаемых специалистов на рынке труда. Уровень качества подготовки специалистов существенно влияет на развитие экономики страны, уровень жизни и социальную защиту населения. Качество выпускаемых специалистов обеспечивается субъектами нижнего уровня системы образования – ВУЗами [2]. Поэтому основным объектом инвестирования являются компоненты ресурсного обеспечения определенного учебного заведения.

Примером внутрифирменных инвестиций в двухуровневой системе высшего образования являются все внебюджетные средства ВУЗа (доходы от контрактного обучения, средства от хозяйственных договоров и т.п.), которые направляются на развитие. Основная деятельность ВУЗов – предоставление услуг в области высшего образования. В сложившихся экономических условиях эффективность функционирования ВУЗа определяется его конкурентоспособностью на рынке образовательных услуг. Следовательно, инвестиции на уровне ВУЗа должны быть направлены, в первую очередь, на повышение качества образования как основного конкурентного преимущества конкретного учебного заведения.

Министерство, являясь координирующим центром, распределяет бюджетные средства между государственными ВУЗами. При этом под внутрисистемными инвестициями можно понимать средства государственного бюджета, предназначенные на цели развития (капитальные затраты), а также средства внебюджетных фондов на уровне министерства. Эти средства направляются на развитие отдельных направлений подготовки специалистов в различных регионах и ВУЗах с точки зрения государственных интересов. Такие инвестиции должны носить целевой характер и обеспечивать приоритеты государственной политики в области высшего образования. Качественное образование – основа социального развития, устойчивого экономического роста для любой страны. Поэтому качество национальной системы высшего

образования должно быть главной целью капитальных вложений, распределяемых на уровне министерства.

Внешними инвесторами могут выступать любые субъекты хозяйственной деятельности, которые не входят в систему образования. Объектом внешних инвестиций в высшее образование является конкретный ВУЗ. Для внешнего инвестора особенно остро стоит вопрос мотивации капиталовложений. Инвестиционная привлекательность ВУЗа во многом определяется качеством предоставляемых образовательных услуг и, как следствие, высокой конкурентоспособностью. Тесное сотрудничество ВУЗов с предприятиями – наилучший способ практического применения результатов научных исследований и их вовлечение в экономические процессы, позволяющий заложить основу для новых технологий, продуктов и услуг.

Сегодня необходимость инвестиций в сферу высшего образования не вызывает сомнений, однако такие инвестиции не связаны с получением инвестиционной прибыли. В этом аспекте актуальной представляется проблема разработки методов оценки инвестиционных вложений с точки зрения внеэкономического эффекта.

Выводы. Основным мотивом существования инвестиций является их эффективность. Поскольку система высшего образования, вообще говоря, является неприбыльной, то использовать экономические критерии невозможно. Для оценки эффективности инвестиционных вложений в сфере образования необходимо разработать критерий на основе качества образования. Дальнейшие исследования будут посвящены разработке моделей, методов и информационных технологий оценки эффективности инвестиций в системе высшего образования.

Список литературы: 1. Арутюнов В.С., Стрекова Л.Н., Цыганов С.А. Роль высшей школы в развитии инновационных процессов в России. Становление отечественной системы корпоративного образования // Менеджмент в России и за рубежом. – 2004. - №4. – С. 60-69. 2. Годлевский М.Д., Чердиченко О.Ю., Яссер Надим Гамдуш. Модель управления развитием высших учебных заведений на основе качества образования // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2005. - №2/2 (14). – С. 123-127. 3. Пузанков Д.В., Курузов В.М. Рябов В.Ф., Мамонтов А.Н. Стратегический менеджмент – ключ к динамическому развитию современного ВУЗа // Высшее образование сегодня. – 2004. - №4. – С. 20-26. 4. Масатеру Баба. Кто должен оплачивать высшее образование? Японский взгляд на проблему // Высшее образование сегодня. – 2004. - №1. –С. 42-47. 5. Годлевский М.Д., Пленис О.Ю. Модели управления развитием высшего образования на основе государственного регулирования // Радиоэлектроника и информатика.- 2002.- № 3.-С. 115-120. 6. Ян Садлак Что дают инвестиции в высшее образование? // Высшее образование сегодня. – 2004. - №1. – С. 48-51. 7. Сумарокова Е.В. Инвестиции в человеческий капитал // Высшее образование сегодня. – 2004. - №4. – С. 28-34. 8. Бланк И.А. Инвестиционный менеджмент: учебный курс. – К.: Эльга-Н, Ника-Центр, 2002. – 448 с.

Поступила в редколлегию 10.11.05

Д.Л. ОРЛОВСКИЙ, канд. техн. наук, *Г.А. ЧЕРЕДНИЧЕНКО*

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ СЕРВИСНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ОФИСНОЙ ТЕХНИКИ

В статті розглянуто основні проблеми, стосовно управління процесом сервісного обслуговування офісної техніки. Досягнення конкурентних переваг сервісної фірми повністю обумовлено якістю послуг. Важливим показником якості сервісної послуги є час виконання замовлення. Тому планування часу обслуговування є важливою складовою ефективного управління сервісною фірмою.

Постановка проблеми. Можно выделить достаточно большую группу товаров, жизненный цикл которых начинается с момента продажи. Это так называемые товары длительного пользования [1]. К ним относятся: производственное оборудование, бытовая техника, офисное оборудование. Для таких товаров характерно: необходимость регулярного технического обслуживания, проведение плановых ремонтов, замена запасных частей, узлов и агрегатов, наличие расходных материалов. Для обслуживания таких товаров необходимо наличие высококвалифицированного персонала и, как правило, авторизованного сервисного центра.

По причине естественного износа, неправильного использования или случайных поломок большинство товаров длительного пользования нуждаются в обслуживании после начала их эксплуатации, с целью сохранения потребительских качеств. Послепродажный сервис можно определить как интегрированный процесс, включающий множество сервисных подсистем, взаимодействующих в целях достижения определенного уровня операционной пригодности товаров, а также для их относительной адаптации к требованиям времени [2]. Эффективность деятельности сервисных центров зависит от организации управления, уровня и динамики экономических показателей, использования современных информационных технологий, качества и конкурентоспособности оказываемых услуг, взаимоотношений с фирмами-производителями техники.

Одной из проблем является непостоянство качества услуг, поскольку услуга, как правило, оказывается живыми людьми [3]. Качество услуги можно определить как степень соответствия ее характеристик и свойств ожиданиям потребителя с учетом цены, которую он готов заплатить [4]. Анализ и оценка качества работы сервисных предприятий по ремонту сложной офисной техники производится на основе относительных показателей качества [4]. К основным показателям качества сервиса офисной техники можно отнести: коэффициент повторных ремонтов и срок выполнения заказа.

Уровень удовлетворения потребителей зависит от двух факторов: наиболее полного объема предоставляемой услуги и манеры, в которой

это осуществляется [5]. Качество отношений с клиентом является существенным элементом удовлетворения его потребностей.

Несмотря на бурное развитие сферы обслуживания в Украине, мало кто задумывается о необходимости разработки стратегии предоставления услуги. Общая стратегия сервисного обслуживания включает расчет времени выполнения рабочих заданий и определение общего времени обслуживания клиентов [3]. При формировании оптимальной стратегии развития сервисных фирм, необходим системный подход, позволяющий занять устойчивое положение и удерживать лидирующие позиции в сфере сервиса офисной техники. Достижение высокого качества предоставляемых услуг – одна из основных целей и задач развития сервисного производства.

Цели исследования. Ремонт и обслуживание офисной техники относится к сервису производственного характера, основной задачей которого являются услуги по ремонту и поддержанию в исправном состоянии всей номенклатуры изделий. Качество услуг послепродажного сервиса определяется такими основными показателями, как:

- 1) своевременность реакции на нужды клиента;
- 2) доступность товаров внутри логистической системы;
- 3) прочность отношений между клиентом и поставщиком услуг.

Для управления качеством услуг необходимо использовать комплекс экономических, организационных, технологических, социально-психологических, экспертных методов управления качеством. Поэтому авторами ставится задача изучения особенностей управления процессом сервисного обслуживания с точки зрения получения конкурентных преимуществ на рынке услуг.

Задачи планирования процесса сервисного обслуживания. Для повышения устойчивости предприятия в условиях рыночной экономики и его способности противостоять неблагоприятным ситуациям необходим учет большого числа факторов. Сервисное предприятие работает в условиях, когда наряду с появлением рисков общего характера (экологических, политических, инвестиционных, коммерческих, финансовых и др.), сильно влияние специфических рисков [4]. Для отрасли сервисного обслуживания офисной техники характерно влияние «вынужденного» характера услуги. Поскольку продукцией сервисного предприятия является услуга, оно не имеет возможности создавать запасов готовой продукции для сглаживания сезонных колебаний спроса и предложения. И, наконец, в сфере оказания услуг, в отличие от производства, значительно сильнее проявляются риски неопределенности, вызванные действием стохастических факторов при формировании финансовых потоков. На сервисном предприятии эти вероятностные факторы влияют на динамику и структуру выручки от ремонтов по видам техники и по маркам, а также по количеству ремонтов, их сложности и стоимости.

Как каждый хозяйствующий субъект, сервисное предприятие обязано учитывать воздействие различных факторов, оказывающих влияние на показатели экономической эффективности, для достижения своих стратегических и тактических целей. Эти факторы можно разделить на внешние, характеризующие среду, в которой работает предприятие, и внутренние, обусловленные применяемыми на предприятиях методами планирования и управления.

На конкурентном рынке главной заботой руководителя предприятия становится не налаживание производства, а повышение его эффективности. Для сохранения и увеличения конкурентоспособности нужно научиться планировать свою деятельность. Концепция планирования в рыночной экономике основана на регулярном сборе оперативной информации и анализе данных, накопленных за предыдущие периоды, и ориентирована на маркетинг, прогнозирование состояния рынка и соответствующие финансовые оценки.

Для сокращения времени реагирования на запрос клиента, решения задачи прогнозирования состояния склада расходных материалов и запасных частей, оценки квалификации сервисных инженеров, оценки качества предоставляемых услуг и формирования долгосрочных взаимоотношений с клиентами, необходимо создание единого информационного пространства сервисного центра и внедрение информационно-аналитической системы.

Важной функцией бизнес процессов сервисной компании с точки зрения информационного обеспечения является обработка данных [1]. Эта функция призвана решить задачу консолидации данных для аналитической обработки. Авторы считают, что выделение такой функции необходимо для усиления роли аналитической обработки информации в управлении процессом сервисного обслуживания. Под обработкой данных сервиса в работе [1] понимается решение следующих задач: обработка информации о клиентах, регистрация заявок клиентов, учет выполненных работ, планирование графика выполнения работ, организация доставки запасных частей и расходных материалов, прогнозирование потребностей клиентов, анализ финансовой деятельности и т.д.

Важной задачей аналитической обработки данных сервиса является прогнозирование потребностей клиентов. На основе прогноза будущих потребностей, компания, предоставляющая сервисные услуги, сможет планировать свою деятельность таким образом, чтобы ассортимент и качество предоставляемых услуг всегда был конкурентоспособным. Это обеспечит решение стратегических задач: завоевание новых рынков, расширение доли имеющихся рынков и, как следствие, увеличение общей прибыли фирмы.

На определенном этапе развития предприятия появляется необходимость использования в управлении бизнес процессами нефинансовых показателей. Оценка результатов деятельности компании

должна строиться на основе системы как традиционных финансовых, так и нефинансовых показателей эффективности [4]. Это объясняется тем, что система финансовых показателей не дает ответа на вопросы о степени лояльности потребителей, качестве оказываемых услуг, адекватности внутренних бизнес процессов предприятия, инновациях, обучении персонала.

Предприятия вкладывают средства в офисную технику и рассчитывают на ее бесперебойную работу. В таких условиях добиться конкурентных преимуществ может только та сервисная фирма, которая сможет обеспечить качественное устойчивое функционирование техники клиента. Поэтому основная деятельность сервисной компании должна быть направлена на поддержание офисной техники клиента в исправном состоянии. При правильной эксплуатации техники сервисное обслуживание сводится к профилактическим мероприятиям и плановым заменам ресурсных элементов. В условиях установленных долгосрочных отношений с клиентом такие работы могут быть достаточно легко запланированы.

Однако большая доля работ по сервисному обслуживанию приходится на устранение неисправностей в работе оборудования. Такие работы характеризуются высокой степенью неопределенности, их прогнозирование и планирование плохо формализуемо. С точки зрения потребителя сервисных услуг критерием качества работы офисной техники является отсутствие простоев, вызванных наличием неисправностей и работой по их устранению. Поэтому важной задачей управления процессом сервисного обслуживания является планирование работ по ремонту и сервисному обслуживанию офисной техники с целью минимизации времени простоя оборудования.

Процесс устранения неисправностей в работе офисной техники клиента можно разбить на следующие основные этапы.

1. Получение и обработка заявки клиента. На этом этапе уточняется информация о возникшей проблеме, и заявка передается сервисному инженеру. Время дальнейшего обслуживания во многом зависит от полноты и точности первичной информации о возникшей проблеме. Уменьшение потерь времени на этом этапе достигается за счет организационных мероприятий и квалификации персонала контактной зоны. Использование современного технического и программного обеспечения может существенно повысить эффективность обработки заявки и дальнейшего контроля ее выполнения.

2. Прибытие сервисного инженера к месту расположения неисправного оборудования. Одним из путей минимизации времени на этом этапе может быть доставка клиентом техники в сервисный центр, что, как правило, сопряжено с определенными трудностями и редко отвечает ожиданиям клиента. Кроме этого, транспортировка техники в сервисный центр также требует времени, а значит, с точки зрения клиента

качество обслуживания не улучшается. Время прибытия инженера в общем случае зависит от трех факторов: наличие «свободного» инженера, расстояния и транспорта. Наличие эффективной системы планирования работ сервисных инженеров позволит рационально использовать ресурсы сервисного персонала для удовлетворения потребностей клиентов.

3. Проведение диагностики. Длительность этого этапа во многом определяется квалификацией сервисного инженера и наличием информационно-технической поддержки.

4. Доставка необходимых материалов – непосредственно зависит от эффективности управления запасами ресурсных элементов и расходных материалов на складе сервисного центра.

5. Проведение ремонтно-восстановительных работ. Время обслуживания на этом этапе зависит от вида и сложности выполняемых работ, от квалификации сервисного инженера и наличия технической документации.

Анализ процесса сервисного обслуживания показывает, что общее время обслуживания во многом определяется эффективностью использования рабочего времени высококвалифицированных сервисных инженеров. Поэтому одной из важных задач управления сервисной компанией является организация эффективной процедуры планирования рабочего времени сотрудников сервисного центра.

Выводы. В рыночном хозяйстве сервис и сервисные компании выдвигаются на первое место. Чтобы стать жизнеспособным и прибыльным, сервисный бизнес нуждается в планировании. Точное планирование является одной из наиболее важных составных частей успешного бизнеса.

Главной задачей стратегии сбыта сервиса является обеспечение легкого доступа потребителей к услуге. Основные решения в рамках стратегии сбыта должны приниматься на основе системного подхода. Контроль стандартов времени обслуживания должен являться частью концепции качества обслуживания. При таком комплексном и систематическом подходе фирма по оказанию услуг может существенно повысить свой шанс на успех в конкурентной борьбе.

Список литературы: 1. *Чердиченко О.Ю., Чердиченко Г.А.* Проблемы повышения эффективности процесса сервисного обслуживания офисной техники // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2005. - №19. – С. 133-138. 2. *Мате Э., Тиксье Д.* Логистика. – СПб.: Издательский дом «Нева», 2003. – 128с. 3. *Новаторов Э.В.* Особенности стратегии сбыта и дистрибьюции услуг // Маркетинг в России и за рубежом. - 2004. - №4(42). – С. 50-60. 4. Менеджмент сервиса бытовой и офисной техники. – М.: Дело и сервис, 2005. – 240с. 5. *Сергеева О.* Стратегия предоставления услуги // Маркетинг и реклама. – 2004. - №10(98). – С.22-27. 6. Как составить бизнес-план сервисной компании. – М.: Дело, 1997. – 64с.

Поступила в редколлегию 10.11.05

З.П.КОНОХОВА, канд. экон. наук, доцент, НТУ «ХПИ»,
В.К.МИЩЕНКО, магистрант кафедры ЭКММ, НТУ «ХПИ»

ЦЕНОВОЕ ПОВЕДЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ

Статтю присвячено проблемам управління функціонуванням підприємства. Досліджується сутність цінової поведінки підприємства та її місце в системі управління функціонуванням підприємства.

The article is devoted to the problems of management by functioning of enterprise. Essence of price conduct is explored enterprises and its place in the control system by functioning of enterprise.

Общая постановка проблемы основывается на взаимосвязи субъективных и объективных аспектов принятия и реализации ценовых решений в условиях экономики рыночного типа. Особую актуальность данная проблема приобретает в условиях трансформации экономической системы Украины, поскольку формирование рынка и системы рыночных индикаторов создает одновременно механизм тестирования ценовых параметров товаров и услуг на соответствие требованиям рынка.

Связь проблемы с важнейшими научными и практическими задачами определяется тем, что в современных условиях недостаточное внимание уделяется исследованию объективной составляющей ценовой политики производителей, в частности, моделированию реакции рынка на ценовые параметры продукции в условиях неопределенности многих детерминант спроса, нестабильности структуры рынка, преобладания негативных ожиданий потребителей.

Проблемы ценовой политики исследуются в большинстве трудов, посвященных вопросам маркетинга и рыночных стратегий фирмы, т.к. именно ценовые решения при заданном характере производимого продукта составляют основу доходности бизнеса и определяют специфику всех остальных элементов комплекса маркетинга.

Данные исследования посвящены обычно определению принципов и методов разработки и реализации ценовой политики (стратегии и тактики), но в их рамках практически не анализируется механизм реакции рынка на те или иные ценовые параметры фирмы, процесс признания рынком заявленного уровня цены как элемента комплекса характеристик товара и его производителя, т.е. проблемы ценового поведения фирмы. Указанные проблемы относят обычно к сфере микроэкономических исследований, однако микроэкономические модели поведения предприятия имеют достаточно формальный характер и практически не используются в процессе разработки и реализации политики предприятия относительно элементов комплекса маркетинга.

Некоторые вопросы ценового поведения предприятия как элемента его маркетинговой деятельности рассматриваются в трудах Ж.Тироля, Майкла Р.Байса, С.Б. Авдашевой и Н.М. Розановой, однако и здесь **остается недостаточно исследованным** ценовое поведение как специфический аспект функционирования предприятия.

Целью настоящей работы является выявление сущности ценового поведения предприятия и исследование его в качестве объективной составляющей ценовой политики и процесса управления предприятием в целом.

Таким образом, **основное содержание работы** определяется необходимостью теоретического исследования ценового поведения как важнейшей составляющей процесса управления предприятием. При этом мы исходим из следующих положений.

Предприятие представляет собой производственную систему, осуществляющую комбинирование экономических ресурсов и преобразование их в готовый продукт, обеспечивающий удовлетворение потребностей общества, поступая в потребление посредством рыночного механизма. Функционирующая в условиях товарного хозяйства производственная система испытывает воздействие рыночных сил, государства и экономической системы в целом (внешней среды), а также является объектом регулирования, осуществляемого менеджментом предприятия.

Воздействие внешней среды характеризуется сложностью (разнообразием и взаимным влиянием факторов, воздействующих на предприятие), некоторой силой воздействия, динамичностью, неопределенностью. Особенности внешней среды предприятия оказывают влияние на стратегические и тактические решения, принимаемые высшим менеджментом в процессе определения, разработки и достижения коммерческих целей.

Стратегические и тактические решения, составляющие коммерческую политику предприятия, представляют собой содержание управляющего воздействия менеджмента на производственную систему в целях изменения ее состояния в соответствии с меняющимися условиями внешней среды, направленное на достижение определенных целей. Последовательность состояний производственной системы представляет собой ее поведение.

Поведение производственной системы может рассматриваться как в широком, так и в узком смысле. В широком смысле поведением предприятия можно считать любую последовательность изменений параметров его функционирования вне зависимости от источника, генерирующего данные изменения. В узком смысле поведением, с нашей точки зрения, необходимо считать лишь изменения, вызванные действием объективных факторов, и, прежде всего, факторов «реакции рынка».

Схема процесса управления производственной системой представлена на рисунке. Очевидно, что поведение производственной системы представляет собой объективную составляющую процесса управления, в то время как формулирование целей и задач, разработка управляющего воздействия и его реализация, а также анализ изменения состояния системы относятся к субъективной составляющей. В терминах Р.Акоффа разработка и осуществление управляющего воздействия менеджментом предприятия является *откликом* предприятия как экономической системы на изменение параметров внешней среды, а изменение состояния самой производственной системы можно рассматривать как ее *реакцию*. При этом реакция, в свою очередь, включает два этапа (и две составляющих):

1) изменение параметров системы как непосредственный результат управляющего воздействия и,

2) вторичное изменение ее параметров как результат реакции рынка на первичное изменение параметров функционирования предприятия.

В условиях товарного хозяйства изменение состояния любой хозяйственной системы оценивается системой рыночных индикаторов, важнейшим из которых является цена.

Выставление некоторой цены покупателем представляет собой комплексный рыночный сигнал:

- о существовании потребности в данном товаре;
- о соответствии характеристик данного товара предпочтениям покупателя;
- об объеме доходов потребителя;
- о существующей пропорции деления дохода покупателя на потребляемую и сберегаемую части (указанная доля дохода определяется размером дохода потребителя; ожиданиями потребителя относительно будущих цен и доходов, уровнем процентов по депозитам, степени доверия потребителя банкам и правительству и др. факторами);
- о доле дохода, используемой для потребления, которой потребитель готов пожертвовать за возможность владения данным товаром и потребления его (эта доля определяется ценностью товара для данного потребителя);
- о наличии, приемлемости и доступности заменителей данного товара;
- о количестве потребителей данного товара;
- о возможных «дельтах» потребителя относительно объема покупок и цены данного товара.

Выставление некоторой цены производителем товара, в свою очередь, свидетельствует:

- о готовности продавать товар по данной цене;

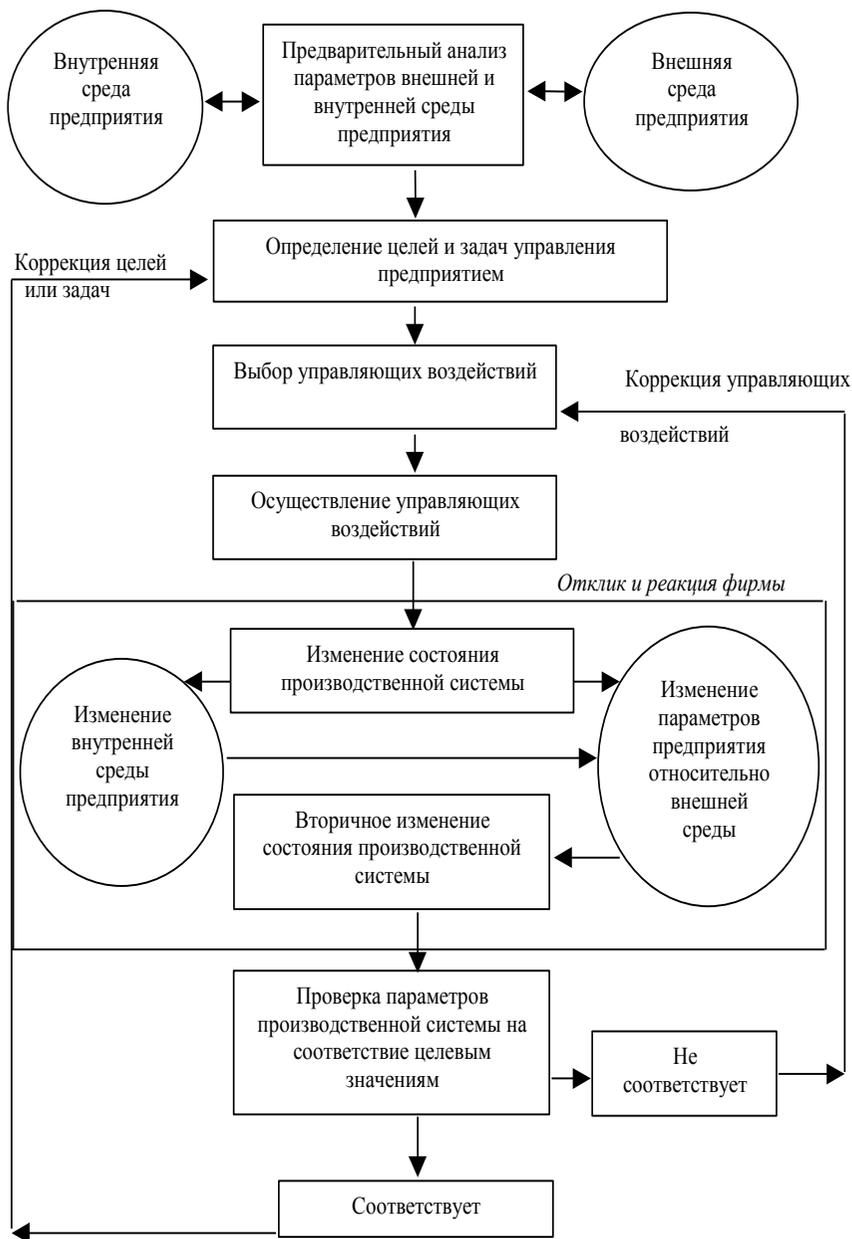


Схема процесса управления производственной системой

- об уровне затрат производства данного товара (последние, в свою очередь, являются отражением цен используемых экономических ресурсов, индикатором эффективности ресурсов в производстве данного товара, структуры рынка ресурсов и проч.);

- о представлениях данного производителя относительно количества и характера других производителей данного товара;

- о степени концентрации рынка, наличии лидеров, барьеров для входа в рынок и выхода из него;

- о желаемом уровне рентабельности производства данного товара;

- об особенностях «портрета» покупателя, составленного производителем, в частности, о его предпочтениях, доходах, ценности для него данного товара, др.;

- об ожиданиях производителя относительно будущих цен ресурсов и комплектующих, используемых в производстве данного товара, относительно уровня налоговой нагрузки, уровня банковского процента;

- об имеющейся у производителя информации о субститутах и комплементах данного товара, о товарной и ценовой политике, реализуемой их производителями;

- о возможных «дельтах» производителя, определяемых его рыночной стратегией, величиной и структурой затрат, структурой рынка, типом производимого товара.

Из приведенного перечня видно, что размер цены продавца и покупателя отражает как характеристики самих контрагентов, их место и роль в структуре рынка, в экономической системе, так и характеристики самой экономической системы.

В процессе «уторговывания» уровень цены, допускаемый параметрами внутренней среды производителя, приводится в соответствие с параметрами его внешней среды, т.е. рынка и экономики в целом. Таким образом производственная система принимает или не принимает ограничений, налагаемых на нее внешней средой.

Цена является единственным доходобразующим элементом комплекса маркетинга, вследствие чего ценовое поведение предприятия представляет собой один из важнейших аспектов его функционирования, достижения коммерческих целей, а потому должно с особой тщательностью анализироваться. Исследование рынка, выбор методов ценообразования, определение уровня цены и принципов ее изменения осуществляются субъектом управления и направлены на достижение *коммерческих целей* предприятия. В процессе апробации рынком цены производителя определяется степень реализации *назначения* предприятия как производственной системы, создающей материальные блага, необходимые для удовлетворения материальных потребностей общества.

Установленная производителем цена продукта тестируется рынком на приемлемость с точки зрения перечисленных выше характеристик,

определяя одновременно допустимый при такой цене объем продаж, и, соответственно, формируя валовый доход предприятия как основу его текущей прибыли. Объем прибыли, определяемый с учетом издержек производства и реализации продукта, представляет собой количественное выражение комплексной реакции рынка на ценовой параметр деятельности предприятия, исследуя которую (реакцию), можно корректировать управляющее воздействие и, в частности, ценовые решения. Более того, коррекции могут подвергаться параметры выпускаемого продукта, сам продукт, параметры ресурсов, используемых для его производства, производственная система, другие элементы внутренней среды предприятия, а также элементы комплекса маркетинга, реализующие неценовые конкурентные возможности предприятия.

В случае совпадения планируемых и реальных объемов реализации продукции по ценам, установленным производителем и, как следствие, - получения предполагаемого объема прибыли, можно считать, что действия, обеспечивающие реализацию целей предприятия, обеспечивают и реализацию его назначения, т.е. объективная и субъективная составляющие функционирования предприятия гармонизированы.

Из всего вышеизложенного можно сделать следующие **выводы**:

1.Ценовое поведение представляет собой объективную составляющую ценовой политики предприятия и заключается в рыночной апробации связки «цена – объем продаж», по результатам которой корректируется как внутренняя среда предприятия, так и его положение во внешней среде.

2.Реализация заданного объема продукции по цене производителя свидетельствует о гармонизации коммерческих целей менеджмента предприятия и назначения предприятия как производственной системы.

3.Ценовая политика и ценовое поведение составляют единое целое, причем в процессе разработки ценовой политики тот или иной сценарий ценового поведения прогнозируется, а в процессе ее реализации ценовое поведение служит критерием эффективности ценовой политики.

4.Особенно важным исследование ценового поведения предприятия является в тех случаях, когда производитель не обладает абсолютной рыночной властью или не является признанным лидером данного рынка.

Список литературы: 1. *Ж.Тироль*. Рынки и рыночная власть: теория организации промышленности. - СПб, 2000. 2. *М.Р.Байс*. Управленческая экономика и стратегия бизнеса. - М.: «Юнити», 1999. 3. *С.Б.Авдашева, Н.М.Розанова*. Теория организации отраслевых рынков. - М.: Магистр, 1998. 4. *В.М. Тарасевич*. Ценовая политика предприятия. - СПб.: Питер, 2003. 5. *В.М.Тарасевич*. Ценовая политика в системе маркетинга.-СПб.: СПбГУЭФ, 1997. 6. *Simon H.* Preismanagement kompakt: Probleme und Methoden des modern pricing/ Hermann Simon.- Wiesbaden: Gabler, 1995. 7. *Simon H.* Profit durch power pricing: strategien aktiver Preispolitik/ Robert J.Dolan; Hermann Simon.- Frankfurt/ Main; New York: Campus Verlag, 1997.

Поступила в редколлегию 30.10.05

З.П.КОНОХОВА, к.э.н., доцент, **Н.В.СУХОПУКОВА**, ст. преп.,
кафедра ЭКММ, НТУ «ХПИ», **Ю.В.КОНОХОВА**, НТУ «ХПИ»

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ ОБЪЕКТОВ ИНВЕСТИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭКОНОМИКИ

Розглянуті сучасні підходи до оцінки об'єктів інвестування. Підкреслена особлива роль реальних інвестицій в розвитку діяльності українських підприємств. Запропоновані способи деталізації активів підприємства залежно від їх інвестопридатності, а також способи виявлення власних інвестоздатних ресурсів підприємства.

Modern approaches are considered to the estimation of objects of investing. The special role of the real investments is underlined in development of activity of the Ukrainian enterprises. The methods of working out in detail of assets of enterprise are offered depending on their investability, and also methods of exposure of own investaptitude resources of enterprise.

Общая постановка проблемы. Мировой опыт свидетельствует, что страны с переходной экономикой не в состоянии развивать хозяйство без привлечения и эффективного использования инвестиций. Аккумулируя предпринимательский, государственный и смешанный капитал, обеспечивая доступ к современным технологиям и менеджменту, инвестиции не только оказывают содействие формированию национальных инвестиционных рынков, но и оживляют рынки товаров и услуг [1]. Одной из важнейших проблем Украины на современном этапе является проблема поиска источников финансирования отечественных предприятий. Для того, чтобы привлечь отечественных и иностранных инвесторов, украинское предприятие должно доказать им свою привлекательность в плане инвестирования. Кроме того, и руководство и собственники предприятия также заинтересованы в проведении анализа всего капитала предприятия и отдельных его частей для выявления собственных резервов инвестиционных ресурсов и формирования предложений по привлечению внешних инвестиций.

В последние годы появилось достаточно много работ по вопросам оценки объектов инвестирования таких зарубежных авторов, как Ван Хорн, В.Беренс, Г.Бирман, С.Шмидт, У.Шарп, Д.Норкотт, П. Хавранек. Однако условия и специфика развития украинского инвестиционного рынка не позволяют пока с достаточной эффективностью использовать зарубежный опыт управления инвестициями. Следует отметить также большое количество работ украинских и российских авторов по вопросам и проблемам инвестиционного менеджмента, к их числу относятся работы И.Бланка, Д. Газибекова, Л. Голуба, Н. Ермошенко, В. Федоренко, М. Крейниной, А. Переседы,

В.Савчука, А. Шеремета и других. Но в большинстве случаев в этих работах используются зарубежные подходы и методы без должной их адаптации к условиям отечественного инвестиционного рынка, недостаточное внимание уделяется в публикациях вопросам и проблемам реального инвестирования, которое, как мы уже отмечали, в современных условиях составляет основу инвестиционной деятельности большинства отечественных инвесторов [2]. Поиск путей совершенствования способов и методов оценки объектов инвестирования в условиях рыночной трансформации экономики является **актуальной задачей практического значения** для любого отечественного предприятия.

Современная инвестиционная деятельность предприятий характеризуется значительным сокращением объемов накоплений, уменьшением части прибыли, которая направляется на расширение производства.

Анализ методов оценки объектов инвестирования, применяемых на сегодняшний день в зарубежных странах, позволяет выделить два подхода к выбору объекта инвестирования. При анализе показателей, характеризующих состояние отдельного предприятия, можно использовать либо данные развития отрасли, в которой функционирует фирма, ее финансовые показатели, эффективность менеджмента и другие, либо оценивать положение предприятия на фондовом рынке, биржевой курс его ценных бумаг.

Первое направление представляют сторонники школы фундаментального анализа, которые основной задачей ставят доскональное изучение балансов и других финансовых документов, публикуемых компаниями. Кроме того, изучаются данные о положении дел в отрасли, состоянии рынков, на которые данное предприятие выходит со своей продукцией, состояние активов, объемы продаж, тактика управления компанией, состав совета директоров. Оценивая таким образом состояние дел в фирме, аналитики дают оценку корпорации как объекта инвестирования.

Второе направление - технический анализ, который основывается на рыночных показателях ценных бумаг, в том числе показателях спроса и предложения ценных бумаг, изучении динамики курсовой стоимости, общерыночных тенденций движения курсов ценных бумаг. В центре внимания технического анализа является анализ спроса и предложения ценных бумаг на основе объема операций по купле-продаже и динамике курсов [3].

Очевидно, что эти методы ориентированы в основном на финансовые инвестиции и рассматривают инвестиционную привлекательность предприятия-эмитента. В то же время в современных условиях развития экономики Украины такие вложения инвесторами в качестве основных не рассматриваются, а, следовательно, необходимо более подробно исследовать методы, применяемые при оценке привлекательности объектов для

осуществления реальных инвестиций. Методики оценки инвестиционных объектов развитой рыночной экономики не учитывают особенностей хозяйствования в переходном периоде и адекватно не могут применяться в неизменном виде.

Основные средства предприятий являются ключевым производственным ресурсом, от которого в значительной степени зависит качество выпускаемой продукции и уровень ее себестоимости. Тем самым состояние основных фондов оказывает решающее влияние на управление инвестиционным процессом на предприятии. Большинство украинских предприятий имеют устаревшее, как в физическом, так и в моральном плане, оборудование. Проблемой становятся как приобретение и разработка новых технологий, так и их внедрение на старом оборудовании. Поэтому принципиально важным представляется более детальное деление инвестиций по объектам вложений, что даст возможность идентифицировать инвестиционное содержание материальных, нематериальных и финансовых активов предприятия. Именно для применения таких методов авторы предлагают ввести в рассмотрение понятия инвестопригодности и инвестоспособности. Инвестопригодностью может обладать как предприятие в целом, так и отдельные его активы. Инвестоспособность же является характеристикой капитала предприятия и отдельных его частей. Например, если предприятие покупает акции другого предприятия или принимает долевое участие в его капитале, то может возникнуть вопрос, почему эти средства не инвестируются в собственную деятельность. Совместное рассмотрение этих показателей поможет руководству и собственникам в принятии решений относительно использования прибыли от собственной деятельности или даст основания для привлечения инвестиций от внешних инвесторов.

Предлагаемый подход к оценке инвестиционной деятельности должен основываться на таких трех требованиях:

- ◆ учет приоритетности прямых инвестиций (что обусловлено высоким уровнем износа основных производственных фондов и превышением предприятиями предельно допустимых норм загрязнения окружающей среды);
- ◆ эффективное использование ресурсов в процессе инвестирования;
- ◆ учет и снижение степени риска в принимаемом решении о привлечении и направлениях финансирования.

В начале любого анализа экономической целесообразности инвестиций оценивают условия инвестирования в стране, для чего необходимо проанализировать ряд факторов и, в первую очередь, — общую экономическую ситуацию в стране, степень развития и совершенства соответствующей законодательной базы и инфраструктуры, которая должна способствовать обеспечению инвестиционного процесса [4]. Естественно, что такой анализ необходим в том случае, когда предприятие хочет привлечь

иностранные инвестиции, а для внутренних инвесторов он не представляет особого интереса. При этом характеристика инвестиционного климата в стране обязательно является одной из составляющих комплексного показателя инвестопригодности.

Следующим этапом является анализ деятельности предприятия, в которое предполагаются инвестиционные вложения. Такой анализ необходим и для внешнего инвестора и в случае предполагаемого реинвестирования. Здесь рассматриваются:

- ✓ условия сбыта готовой продукции, причем рассмотрение можно провести по отдельным номенклатурным группам;
- ✓ наличие и качество требуемых ресурсов, включая квалификацию рабочей силы и руководящих кадров;
- ✓ цены на продукцию;
- ✓ уровень сервиса и степень развитости инфраструктуры, которую использует предприятие;
- ✓ процедуры заключения контрактов и механизм приобретения материалов, оборудования, услуг и т.д.;
- ✓ поправки на финансовые, ценовые факторы, курсы валют;
- ✓ финансовая ситуация на предприятии.

Производственная деятельность предприятия непосредственным образом зависит от эффективности использования его производственно-финансовых ресурсов, поэтому направления инвестирования и реинвестирования будут зависеть от эффективности использования отдельных видов ресурсов.

Факторы финансово-инвестиционного потенциала предприятий их влияние на управление инвестициями в современных условиях хозяйствования во многом определяют направление анализа деятельности предприятий, среди которых, на наш взгляд, можно выделить следующие:

- оценка финансового состояния предприятия;
- анализ инвестиционных ресурсов предприятия.

По нашему мнению, анализа финансового состояния предприятия в разрезе традиционных показателей финансовой независимости, устойчивости и ликвидности, а также анализа динамики формирования его инвестиционных ресурсов, явно недостаточно для объективного определения приоритетных сфер инвестирования хозяйствующего субъекта. При определении приоритетных сфер инвестирования на предприятии необходим анализ эффективности использования его производительно-финансовых ресурсов с целью дальнейшего определения инвестиционных потребностей хозяйствующего субъекта.

Практическая реализация такой концепции требует формирования системы показателей финансового состояния предприятия и методов их оценки, создания информационной базы данных, необходимых для расчета показателей финансового состояния предприятия на всех стадиях

осуществления инвестиций и анализа результатов расчета показателей финансового состояния предприятия, с оптимизацией сроков осуществления инвестиций.

Финансовое состояние предприятия характеризуется системой иерархически связанных показателей, на нижнем уровне которой находятся единичные показатели, характеризующие ликвидность, платежеспособность, прибыльность, эффективность использования активов [5]. Оценивая единичные показатели путем сравнения их фактических значений с нормативными или желаемыми и последовательно синтезируя данные, можно получить обобщающую и комплексную оценки финансового состояния предприятия. Формирование информационной базы данных для расчета показателей финансового состояния предприятия заключается в расчете проектных бухгалтерских балансов и отчетов о финансовых результатах и использовании этих разработок в соответствии с периодами реализации инвестиций. Здесь проводится:

- ✓ расчет общего объема инвестиций;
- ✓ определение структуры вложений, источников финансирования и сроков инвестирования;
- ✓ прогноз объемов реализации продукции, расчет доходов и затрат.

На базе полученных результатов составляется профиль инвестиционного проекта по установленной международной форме UNIDO.

При принятии решения об осуществлении инвестирования представленные данные оцениваются более детально. Предлагаемая методика оценки финансового состояния предприятия ориентирована на формы бухгалтерской отчетности по международным бухгалтерским стандартам GAAP, основными из которых являются баланс, отчет о прибыли и убытках, отчет о движении денежных средств и финансовые коэффициенты. Здесь финансовая отчетность включает как технические выкладки, так и истолкование финансовой информации для оценки прошлой деятельности предприятия, его нынешнего состояния и жизнеспособности в будущем, чтобы определить уровень риска, связанного с осуществлением инвестиции.

Масштабы анализа зависят от размера, цели и условий предоставления инвестиций. Анализ финансовой отчетности включает следующие последовательные стадии:

- ◆ получение необходимых финансовых отчетов;
- ◆ оценка фактических данных в динамике, причем особое внимание уделяется операциям предприятия, отраженным в отчете о доходах, и финансовой структуре его активов и пассивов, отраженной в балансе;
- ◆ рассмотрение отчета предприятия о движении наличности для оценки источников и использования наличных денег;
- ◆ использование коэффициентов для анализа тенденций (сопоставления результатов деятельности предприятия за ряд лет) и сравнительного анализа

(сопоставление результатов деятельности предприятия с показателями других предприятий той же отрасли). Цифры, используемые при расчете коэффициентов, берут из отчета о доходах, баланса и отчета о движении денежных средств;

- ♦ прогнозирование результатов деятельности предприятия и, следовательно, его способности вернуть вложенные инвестором средства. Это предполагает рассмотрение и анализ прогнозных финансовых отчетов, ценность которых во многом зависит от реалистического планирования объема продаж [6].

По завершении всех перечисленных выше аналитических стадий необходимо истолковать информацию в свете нефинансовых сильных и слабых позиций предприятия и окружения, в котором оно функционирует. "Количественная" интерпретация отчетов предприятия основана главным образом на анализе финансовых коэффициентов. При этом важным является не столько значение этих показателей, сколько динамика их изменения.

Вторым важнейшим условием привлечения внешних инвестиций и осуществления реинвестирования является достижение определенного уровня эффективности использования инвестированных средств. Международная практика оценки эффективности инвестиций преимущественно базируется на концепции временной стоимости денег и основана на следующих принципах:

- ♦ оценка эффективности использования инвестируемого капитала производится путем сопоставления денежного потока, который формируется в процессе реализации инвестиции и исходного вложения. Использование инвестиций признается эффективным, если обеспечивается возврат исходной суммы инвестиций и требуемая доходность для инвесторов, предоставивших капитал;

- ♦ инвестируемый капитал, равно как и денежный поток, приводится к настоящему времени или к определенному расчетному году (который, как правило, предшествует началу реализации инвестиций);

- ♦ процесс дисконтирования капитальных вложений и денежных потоков производится по различным ставкам дисконта, которые определяются в зависимости от особенностей условий инвестирования. При определении ставки дисконта учитываются структура инвестиций и стоимость отдельных составляющих капитала.

- ♦ Следующая ступень оценки эффективности инвестиций - это анализ чувствительности проекта, целью которого является сравнение влияния различных факторов на результаты инвестирования, который осуществляется в следующей последовательности :

- ♦ выбор ключевого показателя эффективности инвестиций, в качестве которого может служить внутренняя норма прибыли и чистая текущая стоимость;

♦ выбор факторов, относительно которых нет однозначного суждения (т. е. присутствует неопределенность). Здесь типичными являются следующие факторы:

- ✓ капитальные затраты и вложения в оборотные средства;
- ✓ рыночные факторы – цена товара и объем продаж;
- ✓ компоненты себестоимости продукции;
- ✓ время строительства и ввода в действие основных средств и др.

♦ установление номинальных и предельных (нижних и верхних) значений неопределенных факторов, выбранных на втором шаге процедуры.

♦ расчет ключевого показателя для всех выбранных предельных значений неопределенных факторов.

♦ построение графика чувствительности для всех неопределенных факторов. В западном инвестиционном менеджменте этот график носит название «Spider Graph». Данный график позволяет сделать вывод о наиболее критических факторах процесса инвестирования, с тем, чтобы в ходе его реализации обратить на эти факторы особое внимание с целью сократить риск. Инвестиционное решение является рискованным или неопределенным, если оно имеет несколько возможных исходов. Для того чтобы преодолеть влияние рисков, возможных при любых значительных инвестициях, можно либо попытаться найти страхование от различных рисков, либо определить возможность активного контроля риска или управления в условиях риска.

Характеризуя современное состояние инвестиционной деятельности предприятий, еще раз отметим, что основу этой деятельности формирует реальное инвестирование в разных направлениях, а именно:

- приобретение имущественных комплексов;
- новое строительство;
- реконструкция и модернизация;
- обновление отдельных видов оснащения;
- инновационное инвестирование;
- инвестирование в прирост запасов и оборотных средств.

Реализация именно этих направлений инвестиционной деятельности позволяет предприятиям в настоящее время развиваться наиболее высокими темпами, осваивать новые виды продукции, повышать качество, проникать на новые рынки и быть конкурентоспособными в условиях острой конкуренции. В то же время нельзя забывать, что любое предприятие находится во взаимодействии с внешней средой, которая генерирует угрозы для его существования в краткосрочном и долгосрочном периодах. Учет этих угроз, реакция на них, их парирование находят отражение в стратегиях, характеризующих различные стороны деятельности предприятия.

Непременным условием успеха любого предприятия в условиях формирования рыночной среды является выработка собственной инвестиционной стратегии. Инвестиционная стратегия зависит от миссии

организации и определяет не только пути достижения долгосрочных целей, но и тактику вложения средств. Помимо общей стратегии инвестирования иногда формируются частные субстратегии. В зависимости от целей инвестирования, типа управления, характера экономической ситуации и множества других факторов можно выявить большое число разнообразных стратегий. Например, в зависимости от последствий, которые могут иметь место при альтернативных подходах к инвестированию, можно выделить такие, противоположные по своим результатам группы инвестиционных стратегий:

- инвестиции в основные средства и ликвидные активы;
- инвестирование одного направления бизнеса и инвестирование по широкому кругу связанных направлений;
- инвестирование в инновации-продукты и инновации-процессы;
- инвестирование в собственные НИОКР и привлечение их со стороны;
- инвестирование в традиционные и новые рынки;
- инвестиции в создание новых активов (новое строительство, реконструкция, модернизация и т.д.) и инвестиции в приобретение активов через слияния и поглощения.

В разные периоды своей деятельности компания может применять ту или иную стратегию или их портфель.

Таким образом, благодаря предложенной последовательности оценки и обоснования инвестиционных решений, можно достаточно полно оценить развитие деятельности предприятия в результате реализации внешних или внутренних инвестиций, предусмотреть возникновение отрицательных явлений и предотвратить их путем оптимизации отдельных характеристик этой деятельности. Детализация активов предприятия в зависимости от их инвестопригодности и анализ отдельных частей капитала в соответствии с их инвестоспособностью даст возможность руководителям предприятия и его собственникам более обоснованно принимать решения в области управления инвестиционной деятельностью предприятия, в выборе той или иной инвестиционной стратегии, в обосновании решения, выступать ли на инвестиционном рынке инвестором или потребителем инвестиционных ресурсов.

Список литературы: 1. *Л.Гитман., М.Джонк.* Основы инвестирования. Пер. с англ. – М.: Дело, 1997; 2. *А.В.Мертенс* Инвестиции. – К.: Киевское инвестиционное агентство, 1997.; 3. *Н.Н. Ушакова., Т.Е. Унковская.и др.* Инвестирование, финансирование, кредитование: стратегия и тактика предприятия. – К.: КГТЭУ, 1997. 4. *У.Шарп, Г.Александр и др.* Инвестиции. Пер. с англ. – М.: ИНФРА-М, 1997. 5. *И.А. Бланк* Основы финансового менеджмента. Т. 2. – К.: Ника-Центр, 1999. 6. *И.А. Бланк* Инвестиционный менеджмент.– К.: МП "ИТЕМ Лтд", 1995 7. *А.М. Ковалева,, М.Г.Лапуста и др.* Финансы фирмы: Учебник. – М.: ИНФРА-М, 2000.

Поступила в редколлегию 29.04.05

В. М. ДЕМИНА, канд. техн. наук

ВИДЫ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ И ДИСТАНЦИОННОМ ОБУЧЕНИИ

В статті розглянуто деякі елементи теорії виміру знань. Наведено фактори, що можуть вплинути на вимір знань: методика представлення відповідей при автоматизованому контролі та спосіб організації системи контролю знань.

Введение. Дальнейшее развитие высшей школы Украины предусматривает внедрение в процесс обучения новых концепций и технологий. Наряду с развитием и совершенствованием традиционных – очных форм обучения, всё большее развитие получают методы дистанционного обучения, которые обеспечиваются применением новейших информационных технологий, прогрессом средств телекоммуникации и компьютерных средств обучения [1].

Несмотря на то, что очное обучение признается лучшим по качеству, оно – наиболее затратное. Кроме этого при очном образовании преподавателям приходится вести занятия с большими группами обучаемых. В этих условиях возможность учета индивидуальных особенностей и дифференцированный подход к каждому из них снижаются. Поэтому наиболее доступным способом получения высшего образования становится дистанционное. Традиционный контроль либо расточителен по времени, либо он не полон. Практика показала, что при всех формах обучения текущий контроль, осуществляемый параллельно для всех обучаемых – наиболее эффективен [2]. Для этой цели хорошо подходят разнообразные автоматизированные системы тестирования знаний.

Постановка задачи. Во многих автоматизированных системах контроля знаний [3] отсутствует обоснованная система параметров, по которым следует оценивать уровень усвоения знаний. Возникает проблема, каким образом измерить знания, чтобы уменьшить расхождение результатов оценивания при автоматизированном и традиционном контроле с личным участием преподавателя.

Основной материал. Итоговая оценка зависит от многих параметров автоматизированной контролирующей системы. Существуют факторы, которые могут повлиять на измерение знаний. Одним из них является методика представления ответов при автоматизированном контроле. Задания теста должны быть сформулированы таким образом, чтобы ответ, полученный в результате, был бы однозначным. Чтобы выдержать данное требование в задании теста вносится подсказка, что приводит к угадыванию ответа, а это, в свою очередь, к завышению оценки. И наоборот, неверное толкование обучаемым поставленного вопроса приводит к нежелательной ошибке и занижению итоговой оценки. В автоматизированных системах тестирования знаний можно выделить три основных аспекта [4] представления ответов.

Первый из них связан с методикой представления ответов. Можно выделить четыре независимых способа представления, различающихся по этому признаку [5, 6, 7]: 1) альтернативный метод, 2) выборочно-конструированный метод, 3) метод открытого вопроса, 4) метод конструированных ответов.

Второй аспект связан со способом представления обучаемому вопросов и ответов, а также со способом формирования контролирующих программ. Возможны следующие варианты предъявления испытуемому вопросов и ответов:

1. Одновременное проецирование всех вопросов и ответов. При этом обучаемому предъявляется одновременно весь тест в одном кадре. В этом случае имеется возможность самостоятельно выбрать порядок ответа на поставленные вопросы, что облегчает ответ на нужное количество вопросов за ограниченный промежуток времени. К недостаткам такого подхода относится перегруженность кадра информацией, а также стимуляция операции сравнения у респондентов.

2. Поочередное предъявление вопросов одновременно с ответами [8]. Этот способ технически более приемлем, но не устраняет описанных выше недостатков.

3. Поочередное представление вопросов отдельно с ответами [8, 9]. Этот способ психологически более обоснован, так как тестируемый вынужден самостоятельно формулировать ответ на поставленный вопрос.

4. Поочередное предъявление вопросов отдельно с поочередным предъявлением ответов [10]. Метод развивает преимущества предыдущих, но является избыточным по количеству кадров и не пригоден для организации контроля по выборочно-конструируемому методу.

В настоящее время получили распространение следующие способы [5, 6] формирования контрольных заданий: 1) постоянный, при котором заданное число вопросов и их последовательность не меняется [11]; 2) изменяемый, при котором изменяется последовательность вопросов [11]; 3) динамический с определенной последовательностью предъявляемых вопросов в зависимости от ответов на предыдущие вопросы, в данном подходе задания контролирующей программы разбиваются на части, каждая из которых является самостоятельной программой; 4) динамический со случайным выбором заданного числа вопросов, задания тестирующей программы разбиваются на зоны, в процессе работы компьютер по закону случайного выбора выдает испытуемому по одному вопросу из каждой зоны [10, 12].

Третий аспект измерения знаний при использовании автоматизированной системы тестирования связан со способом его организации, под которым понимается последовательность предъявления отдельных вопросов или серии вопросов одинакового или разного уровня, которая может быть поставлена в зависимости от ответов, полученных на предыдущие вопросы. Можно выделить следующие способы организации контроля:

1. По способам задания весовых коэффициентов вопросов [12, 13]: а) тесты, содержащие вопросы одного уровня сложности [10]; б) тесты, содержащие вопросы разного уровня сложности [13]; в) многоуровневые тесты, каждый из уровней содержит вопросы одного уровня сложности [12, 14].

2. По алгоритму проведения опроса [15]: а) метод с линейной программой, по которой порядок предъявления вопросов задан жестко и не зависит от получаемых ответов [16]; б) метод с разветвленной программой [14], в котором в свою очередь можно выделить следующие группы:

– метод экспериментальной адаптации, при котором программа контроля определяется по результатам каждого ответа испытуемого;

– метод сложной адаптации, при котором программа контроля определяется на основе анализа серии ответов, т. е. с учетом предыстории опроса [17];

– комбинированные методы.

Методы с разветвленной программой и с вопросами разного уровня сложности полнее других отвечают основной специальной функции контроля – закреплению обучаемыми полученных знаний.

Рассмотрим методы, составляющие первый аспект построения автоматизированной системы тестирования – методику представления ответов.

Альтернативный (выборочный) метод [18, 19], при котором на каждую контрольную порцию теста дается несколько альтернатив, из которых он должен выбрать одну или несколько. Этот метод имеет несколько разновидностей.

1. Метод вопросов [4, 10, 20, 21]. В этом случае тест содержит k вопросов, на каждый из которых имеется n вариантов ответов, причем l из них верные и $(n-l)$ неверные. Данный метод может быть прямым [4, 18] и обратным [6, 22]. При прямом методе обучаемому необходимо определить номера верных ответов. Количество верных ответов в тесте может быть в пределах от

0 до n . Целесообразно брать $l < \frac{n}{2}$, в частности, наиболее распространен вариант с $l = 1$ [11].

При обратном методе испытуемому необходимо определить номера неверных ответов. В обоих случаях количество верных или неверных ответов в тесте может меняться от вопроса к вопросу.

Разновидностью данного подхода является метод вопросов с особыми ответами, содержащий среди правильных или неправильных ответов особый ответ, неверный для данного ответа, но правильный для других вопросов теста [18], и метод вопросов с незакрепленными ответами, который имеет следующие разновидности [11]: а) метод сопоставления [10, 18, 20], при котором предлагают тест, состоящий из k вопросов и n ответов ($n \geq k$), между которыми необходимо установить однозначное соответствие; б) метод ранжирования, при котором респонденту необходимо расставить ответы в определенной последовательности; в) метод классификации [21], при котором предлагается классифицировать варианты ответов. Преподавателем задается два или более класса, студент должен отнести каждый из предложенных вариантов ответов к одному классу, к двум и более классам, к одному классу из нескольких.

Разновидностью метода вопросов является метод суждений [19, 21], который отличается тем, что испытуемому необходимо указать является ли каждый из n вариантов ответов на вопрос истинным или ложным.

2. Разновидностью альтернативного метода также является метод утверждений [8, 10]. Тесты, основанные на нём, могут содержать либо k утверждений, среди которых l верных и $(k-l)$ неверных (простые тесты), либо k групп, где в каждой группе n утверждений, среди которых l верных и $(n-l)$ неверных (сложные тесты). Этот метод также может быть прямым и обратным. При прямом методе респондент определяет номера верных утверждений, а при обратном – ложных.

3. Метод дополнительных вопросов [9], который состоит в том, что помимо основных k_1 вопросов тестируемому предлагается еще одна (k_2) или две (k_2 и k_3) группы дополнительных вопросов, на каждый из которых имеется n_1 , n_2 и n_3 ответов. (Предлагать большее количество групп вопросов считается нецелесообразным.) Количество верных ответов на основные и дополнительные вопросы – l_1 , l_2 и l_3 . При оценке знаний учитывается правильность ответов по основным и дополнительным вопросам.

4. Метод логически обоснованных ответов [23], в котором помимо k вопросов и n ответов на каждый из них обучаемому предлагают дополнительно набор из m объяснений, логически обосновывающих выбор именно данного ответа на данный вопрос. Число верных ответов и верных объяснений может изменяться от вопроса к вопросу. Ответ испытуемого оценивается положительно только в случае правильного выбора, как ответа, так и объяснения. Исключая косвенную подсказку, набор объяснений предъявляется после того, как тестируемый выбрал номер правильного ответа.

5. Метод с поэтапным составлением ответов [9]. Ответ составляется в два и более этапа. Вопросы при этом формулируются в виде: «Что и каким образом изменится...?» (двухэтапный вопрос); «Что, где и каким образом изменится...?» (трехэтапный вопрос) и т. д.

6. Комбинированный метод [5]. Объединяет несколько вариантов и отличается видом общего задания, количеством готовых элементов ответов, способом их поиска и фиксации.

Выборочно-конструируемый метод. Данный метод рассмотрен и применен в работах [6, 9, 24, 25]. В отличие от альтернативного метода здесь тестируемому предъявляется не законченная конструкция ответа, а n элементов, из которых этот ответ может быть составлен. Респондент фиксирует комбинацию кодов выбранных им l элементов ($l \geq 2$). Добавление в конструируемый ответ лишних пунктов или пропуск необходимых для полного ответа оценивается неудовлетворительно.

Метод открытого вопроса [10, 11, 12, 19]. Тестируемый вводит ответ в виде числа или словосочетания, однозначно определенного в задании. Ответ испытуемого сравнивается с эталоном, который задан преподавателем. При совпадении ответ засчитывается как правильный. Недостатком данного метода является случай опечатки в ответе. Такой ответ будет воспринят как неверный.

Метод конструируемых ответов [26, 27] предполагает свободную формулировку ответа на заданный вопрос. Тестируемый вводит ответ в произвольной форме с клавиатуры. Это наиболее сложный для автоматизации вид теста. Поскольку тестируемый может ввести информацию не в том регистре, изменить количество пробелов, использовать синонимы, поменять порядок слов и т. д. Автоматическая проверка такого теста требует учета многих вариантов, и даже в этом случае остается возможность, что правильный по сути вариант будет воспринят системой как неверный.

По результатам опроса [25] можно сделать следующие выводы. По степени умственной активности респондента в процессе контроля (определяемой также отсутствием подсказки) видны преимущества конструируемого метода, а также метода открытого вопроса. Но метод открытого вопроса проигрывает, поскольку существует высокая вероятность ввода испытуемым опечатки. Окончательный выбор метода представления заданий при составлении теста осуществляется с учетом сложности технической реализации. Она максимальна для конструируемого метода, вследствие чего он не получил широкого распространения. Наибольшей популярностью пользуется альтернативный метод, как более просто реализуемый на практике.

Однако альтернативные методы имеют высокую вероятность угадывания респондентом правильных ответов. Например, для метода вопросов вероятность угадывания равна $\rho = 1/n$, что при $n = 8$ составляет 12,5%. Модифицированные альтернативные методы опроса имеют меньшую вероятность угадывания, которая составляет $\rho = 1/n_1 n_2 n_3 \dots$ и зависит от количества этапов. Например, в методе поэтапного сравнения ответов при трех этапах и $n_1 = n_2 = n_3 = 8$, $\rho \approx 0,2\%$. Для данного метода необходимо предусмотреть предотвращение угадывания.

Качественное отличие выборочно-конструируемого метода от представленных выше заключается в том, что уменьшение вероятности угадывания достигается без увеличения количества материала, предлагаемого для построения ответа. При выборочно-конструируемом методе $\rho = 1/n^l$, что при $n = 8$, $l = 3$ составляет 0,2%. К недостаткам выборочно-конструируемого метода относится сложность технической реализации устройства контроля, которая возрастает по мере увеличения количества элементов конструкции.

Для предотвращения угадывания при автоматизированном контроле знаний в работах [10, 11, 24] предложено ввести ответ «не знаю» и оценивать его «мягче», чем ошибку. Например, присвоить ему нулевой балл [10, 11] или в формулу оценивания ввести дополнительный коэффициент [24], при котором оценка R будет иметь следующий вид:

$$R = \frac{N - A - b}{N} * \frac{N - A}{N}$$
, где A – количество ошибок, b – количество ответов «не знаю», а N – количество заданий в тесте.

В работе [21] предложен вариант, когда при измерении знаний испытуемого в формуле оценивания не учитываются задания, от ответов которых обучаемый уклонился: $P = T - \frac{L}{r}$, где T – количество заданий, на которые испытуемый ответил правильно, $T = \sum_{i=1}^n \varphi_i$, где $\varphi_i \in \{0, 1\}$ – правильные ответы обучаемого ($\varphi_i = 1$); L – количество заданий, на которые испытуемый ответил ложно, $L = \sum_{j=1}^n \upsilon_j$, где $\upsilon_i \in \{0, 1\}$ – ложные ответы обучаемого ($\upsilon_i = 1$); n – количество заданий теста; r – количество предложенных вариантов ответов в альтернативном (выборочном) методе представления ответов, то есть число возможностей выбора.

Положительной стороной данных подходов является то, что испытуемый, не зная ответа на вопрос, не будет угадывать его среди предложенных вариантов в выборочном методе, и проблема “quessing”, ответа наугад, решена. Но даже для того испытуемого, кто не обладает достаточной информацией, возможности выбора не являются равновероятными, что вносит ограничения во множества, которые предлагаются для выбора, и способствует возникновению ошибок.

Более рациональным решением проблемы угадывания правильного ответа является подход предотвращения попытки угадывания правильного ответа, который учитывает логические связи между заданиями теста, а также структуру излагаемого преподавателем материала. Под логической структурой полученных знаний понимается совокупность элементов изложенного учебного материала и связей между ними. Наиболее подходящим объектом для описания моделей структуры учебного материала и полученных знаний является граф [28]. В этих моделях вершины графа представляют собой элементы учебного материала, а ребра – связи между ними.

На основании исследований в этой области можно выделить несколько направлений моделирования логической структуры курса. В работе [29] решена проблема построения последовательности учебного материала при автоматизированном тестировании. Для представления модели данной структуры в [30] анализируются её элементы с точки зрения их логической связанности в структуре, в [17] вводится весовой коэффициент связи между элементами, характеризующий значимость этой связи. Предложено автоматизировать создание структуры связей на основе множества вопросов для обучения. Данная структура информационной базы напрямую зависит от целей обучения, следовательно, система тестирования должна быть составной частью ОС.

В работе [31] рассматривается модель структуры учебного материала, в которой все элементы считаются однородными, а связи между ними однотипными. Данная модель используется для изучения доступности учебного

материала. Элементами модели, описанной в работе [32] выступают учебные задачи, которые делятся на три класса. Между элементами различных классов могут существовать связи различных типов. В модель вводятся различные временные характеристики элементов структуры учебного материала, с учетом которых решается задача построения обучающей последовательности элементов на основе такой структуры учебного материала, время введения которой минимально.

В работах [31-35] предложена методика описания проверки знаний обучаемых, основанная на установлении связей между элементами. В отличие от временных либо логических связей, описанных в работе [31], а также связей, отражающих содержание усваиваемого материала, предложенных в работе [33], рассматриваются связи функционирования, проявляющиеся при выполнении задания и обеспечивающие системность знаний обучаемых. Последние используются в основном для минимизации числа заданий и отбора наиболее информативных заданий, то есть таких, по выполнению которых можно судить о знаниях на другие задания. Также данная методика применяется для удаления эквивалентных вопросов.

Выводы. При выборе методики представления вопросов, а также способа организации и использования автоматизированной системы тестирования следует разработать метод предотвращения угадывания респондентом правильных ответов. В основу этого метода следует положить проверку логической структуры знаний, отражающей структуру изложения учебной программы преподавателем. В качестве математического аппарата рационально использовать теорию графов. Следует отметить, что геометрический аспект логических связей между знаниями на задания теста («знает», «не знает» – 1 или 0) в приложении бинарных отношений и есть теория графов [28, 31, 34, 35]. Отслеживая связи между заданиями теста, возможно создание модели структуры знаний испытуемого, что позволит более точно измерить знания испытуемого в автоматизированной системе тестирования.

Список литературы:

1. *Башмаков М. И.* Информационная среда обучения / М. И. Башмаков, С. Н. Поздняков, Н. А. Рездник. – СПб.: Свет, 1997. – 400 с.
2. *Тесля Ю. М.* Інформаційна технологія автоматизованого навчання та контролю знань як елемент системи управління навчальним процесом / Ю. М. Тесля, Л. Д. Мисник, Є. Ю. Тесля // Вісн. Вінниць. політехн. ін-ту. – Вінниця, 2000. – № 3. – С. 96-99.
3. *Гальперин П. Я.* Психолого-педагогические проблемы программированного обучения на современном этапе / П. Я. Гальперин, З. А. Решетова, Н. Ф. Талызина. – М.: Изд-во МГУ, 1966. – 40 с.
4. *Беспалько В. П.* Программированное обучение: Дидакт. основы / В. П. Беспалько. – М.: Высш. шк., 1970. – 300 с.
5. *Королев М. Ф.* Основы программированного контроля знаний: Материалы лекций, прочит. в Политехн. музее на фак. программир. обучения / М. Ф. Королев. – М.: Знание, 1976. – 60 с.
6. *Малиночка Э. Г.* Организация автоматизированного контроля знаний студентов / Э. Г. Малиночка, Е. К. Марченко, В. П. Медведев // Обзор НИИВППШ. – М., 1979. – Вып. 2. – 52 с.
7. *Аванесов В. С.* Композиция тестовых заданий / В. С. Аванесов. – М., 1996. – 191 с.
8. Технические средства и новые методы обучения в НЭТИ. – Новосибирск: НЭТИ, 1970. – 39 с.
9. *Михнутев А. Г.* О способах стимулирования активного составления ответов в программированном контроле успеваемости по общетехническим дисциплинам / А. Г. Михнутев // Техн. сред-

ства в программир. обучении. – К., 1970. – С. 89-94. **10.** *Ожогин В. Я.* Исследование методических особенностей машины КИСИ-10 в режиме контроля знаний / В. Я. Ожогин, Л. И. Лошакова, Н. М. Черносвитов // Программир. обучение: Респ. межвуз. науч. сб. – К.: Либидь, 1978. – Вып. 15. – С. 23-24. **11.** *Зайцев С. Г.* Контроль знаний учащихся с помощью компьютера / С. Г. Зайцев, мед. колледж № 1, г. Москва/<http://www.bitpro.aha.ru/ИТО/ИТО98/2/zaytsev1.html>. **12.** *Хиргий Н. И.* Автоматизация проведения письменных вступительных экзаменов по математике / Н. И. Хиргий // Программные средства для применения в науч. исслед. и учеб. процессе: Сб. науч. тр. – Х.: ХГУ, 1992. – С. 114-122. **13.** *Коркишко В. В.* Алгоритмическое обеспечение автоматизированного обучающего курса «English» / В. В. Коркишко // Программир. обучение: Респ. межвуз. науч. сб. – К.: Либидь, 1988. – Вып. 25. – С. 55-61. **14.** *Архангельская Л. С.* Разработка и применение обучающих программ в учебном процессе на базе автоматизированных обучающих систем: Учеб. пособие / Л. С. Архангельская, В. В. Моргослепов, В. В. Савостьянов. – М.: Изд-во МАИ, 1990. – 60 с. **15.** *Свиридов А. П.* Основы статистической теории обучения и контроля знаний: Метод. пособие / А. П. Свиридов. – М.: Высш. шк., 1981. – 262 с. **16.** *Abrahams J. R.* Experience with a computer-assisted training system / J. R. Abrahams, G. de Wolf // Information processing 77: Proc. V-th Conf. IFIP. – Amsterdam, 1977. – P. 601-605. **17.** *Тесля Ю. Н.* Самоорганизация структурных связей в системах контроля знаний и обучения / Ю. Н. Тесля // Программир. обучение: Респ. межвуз. науч. сб. – К.: Либидь, 1984. – Вып. 21. – С. 92-94. **18.** *Иловайский Л. В.* Теория и практика программированного опроса / Л. В. Иловайский, Н. У. Койда, В. А. Гутковский и др. – Минск: Вышэйшая шк., 1967. – 107 с. **19.** *Ришар Ж. Ф.* Оценка приближенных знаний и спонтанная процедура решения задач студентами / Ж. Ф. Ришар, А. Бейл-Барс, Э. Козиналь // Психолог. основы программир. обучения: Сб. ст. – М.: Изд-во МГУ, 1984. – С. 52-64. **20.** *Беспалько В. П.* Теория учебника: Дидакт. аспект / В. П. Беспалько. – М.: Педагогика, 1988. – 160 с. **21.** *Фабр Ж. М.* Процедура автоматизированной оценки знаний / Ж. М. Фабр, Ж. Нуазе // Психолог. основы программир. обучения: Сб. ст. – М.: Изд-во МГУ, 1984. – С. 66-90. **22.** *Забара Е. В.* Программированное обучение студентов языкам общения с ЭВМ / Е. В. Забара, Е. Д. Моргулис // Программир. обучение: Респ. межвуз. науч. сб. – К.: Либидь, 1984. – Вып. 21. – С. 103-109. **23.** *Константинов В. И.* Вопросы теории и практики стандартизованного контроля знаний / В. И. Константинов. – Воронеж: ВПИ, 1973. – 128 с. **24.** *Корнейчук В. И.* О программированном контроле знаний с помощью ЦВМ / В. И. Корнейчук, Г. С. Тодоров, В. Н. Сороко // Программир. обучение: Респ. межвуз. науч. сб. – К.: Либидь, 1978. – Вып. 15. – С. 92-97. **25.** *Деньгин Г. Д.* Повышение качества контрольно-обучающих программ методом линеаризации графических программ / Г. Д. Деньгин, А. И. Кузин // Практика и анализ программир. контроля знаний студентов. – М.: НИИПВШ, 1976. – С. 3-18. **26.** *Панфилов С. А.* Контроль знаний на ЭВМ: Учеб. пособие / С. А. Панфилов. – Саранск: Мордов. ун-т, 1987. – 76 с. **27.** *Абрамов В. Г.* ДИЛОС – диалоговая система для взаимодействия с ЭВМ на естественном языке / В. Г. Абрамов, В. М. Брябрин, М. Г. Пхovelишвили. – М.: ВЦ АН СССР, 1979. – 170 с. **28.** *Фрайнт И. К.* Применение теории графов для анализа логической структуры учебного материала / И. К. Фрайнт // Проблемы пед. измерений: Сб. науч. тр. – М.: МГПИ, 1984. – С. 4-11. **29.** *Моргунов И. Б.* Аналитические методы исслед. учебных программ / И. Б. Моргунов // Изв. вузов. Электромеханика. – 1965. – № 12. – С. 1317-1323. **30.** *Нетушил А. В.* Об оптимальной структуре изложения учебного материала / А. В. Нетушил, А. В. Никитин // Изв. вузов. Электромеханика. – 1969. – № 2. – С. 137-144. **31.** *Сохор А. М.* Логическая структура учебного материала / А. М. Сохор. – М.: Педагогика, 1974. – 192 с. **32.** *Логвинов И. И.* Имитационное моделирование учебных программ / И. И. Логвинов. – М.: Педагогика, 1980. – 127 с. **33.** *Львовский В. А.* Развитие контрольно-оценочных действий студентов в условиях использования новых информационных технологий обучения / В. А. Львовский // Программир. обучение: Респ. межвуз. науч. сб. – К.: Либидь, 1990. – Вып. 27. – С. 62-69. **34.** *Томас К.* Перспективы программированного обучения (Руководство по составлению программ) / К. Томас, Дж. Дэвис, Д. Опеншоу и др. – М.: Мир, 1966. – 247 с. **35.** *Сорокин Н. А.* Дидактика: Учеб. пособие / Н. А. Сорокин. – М.: Просвещение, 1974. – 224 с.

Поступила в редколлегию 02.12.05

В.А. ГУЖВА, канд. техн. наук, **Б.В. САМСОНОВ**

ОЦЕНКА ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ОСНОВНЫМИ ПЕРЕМЕННЫМИ В ЗАДАЧЕ СОСТАВЛЕНИЯ УЧЕБНОГО РАСПИСАНИЯ

Задача складання розкладу у вищому учбовому закладі має велику розмірність, що ускладнює її розв'язання. Щоб розв'язати цю проблему можливо використати методи декомпозиції. Для цього необхідно установити взаємозв'язок між змінними. В статті пропонується підхід отримання кількісної оцінки цих взаємозв'язків.

Постановка проблеми.

Задача автоматизації складання розписання занять являється актуальною в силу своєї трудоемкості, значимості і востребованості. Основні труднощі пов'язані со складнощами формалізації об'єкта, більшим числом змінних. Застосування відомих алгоритмів обробки і оптимізації масивів даних стає практично непосильним для сучасних вичислювальних машин в силу надмірно високої розмірності задачі. Вихід слід шукати в можливостях застосування методів декомпозиції і агрегування.

Процес синтезу розписання відображається функцією багатьох змінних, найбільш важливими з яких можна вважати наступні чотири: T – час; X – множина навчальних груп студентів; Y – множина викладачів; Z – множина аудиторій. Крім них існує ряд допоміжних змінних: навчальні дисципліни (предмети), види занять (лекції, практичні заняття, семінари, лабораторні роботи, консультації, зачети, іспити, коллоквиуми і т.д.).

Процес складання розписання може бути представлений як просторово-часовий. Крім того, X, Y, Z – деякі неупорядковані множини, T – упорядкована множина, що відповідає моментам часу, наприклад, номерам «пар занять» в двотижневому періодичному циклі (такий цикл умовно пов'язаний з заняттями, що проводяться раз в два тижні). При введенні певної системи ранжування можливо упорядкування множин змінних X, Y, Z , які можна трактувати як систему просторових координат. Таким чином, розписання можна представити з допомогою тривимірної булевої матриці (з координатами x, y, z), яку ми будемо будувати для кожного моменту часу t . Єдиничні елементи матриці відображають реалізацію проведення аудиторного заняття в певний момент часу. Число єдиничних елементів матриці становить лише незначительну частину від загальної кількості елементів, тобто матриця розріджена.

Для установления различных свойств задачи можно рассмотреть различные сечения матрицы. Например, расписание одной группы студентов ($x=const$), или одного преподавателя ($y=const$), или полное расписание одной пары занятий ($t=const$). В каждом сечении модели есть свои, заранее не установленные закономерности, отображающие специфику объекта.

При составлении расписания важным является вопрос декомпозиции по координатным направлениям, а также вопрос очередности выбора элементов по каждой из координат. Основанием могут служить оценки значимости элементов, в том числе, оценки интенсивности взаимодействия элементов матрицы между собой.

Часть функциональных связей между переменными, таких как предмет-группа-преподаватель, задается документами: ведомость учебных поручений преподавательскому составу и индивидуальные планы. К неопределенной информации относятся связи между блоками предмет-группа-преподаватель и временем проведения занятия, а также между этими блоками и аудиторным фондом. Неопределенную информацию необходимо доопределить.

Большая размерность задачи затрудняет процесс построения учебного расписания. Для понижения размерности предлагается использовать декомпозицию исходной задачи на основании использования межкоординатных связей. Предлагаемый подход в силу наглядности физического смысла различных проекций и сечений в выбранной системе координат позволяет производить сравнительный анализ вариантов, уточнить критерии оценки качества. С его помощью может быть реализована последовательная процедура составления расписания с локальной оптимизацией по отдельным координатным направлениям.

Цели исследования.

Одним из коренных вопросов синтеза модели учебного расписания является установление численных функциональных зависимостей между основными переменными. Такая подготовка данных при наличии системы приоритетов позволит установить очередность выбора элементов массивов в процессе составления и оптимизации учебного расписания.

Оценка взаимосвязей между переменными пространственно-временной модели составления учебного расписания.

Для облегчения задачи оптимизации необходимо упорядочить массив исходных данных. Для нас наибольший интерес представляет массив в следующей форме: двумерный массив $[x_i, y_j]$, являющийся проекцией булевой матрицы на плоскость XOY . Такая проекция может служить основой для получения количественных оценок взаимосвязи между переменными x_i и y_j .

В сечениях параллельных плоскости XOY объемной модели, например, с параметром z_q единичные элементы с координатами x_i и y_j изображают занятия, проводимые преподавателем y_j с группой x_i в момент t_n . Сумма всех таких сечений по переменным t_n , $n=1..N$ и z_q , $q=1..Q$ представляет собой прямоугольную матрицу, элементами которой являются целые числа a_{ij} , соответствующие числу занятий, проведенных преподавателем y_j в группе x_i за весь рассматриваемый двухнедельный цикл. Где N – общее количество пар в течение двухнедельного цикла, K – общее количество аудиторий.

Сумма элементов столбца y_j равная $\sum_{i=1}^I a_{ij} = A_j$ отображает интегральную нагрузку преподавателя y_j во всех группах, где он проводит занятия. Здесь I – общее число учебных групп. Сумма элементов строки x_i равная $\sum_{j=1}^J a_{ij} = A_i$ отображает интегральную нагрузку группы x_i , выполняемую всеми преподавателями, работающими с этой группой. Здесь J – общее число преподавателей.

Поскольку нами принято допущение, что все группы студентов x_i занимаются без временных «окон», то $A_j=M=const$ (то есть, все группы имеют одинаковую нагрузку за цикл из M занятий). Интегральная нагрузка преподавателя A_j , работающего на полную ставку, также является практически постоянной величиной (отклонение не должно превышать 25% от установленного норматива A_0 для данного вуза и обосновывается решением соответствующей кафедры). Поэтому интегральные оценки не содержат информации для упорядочения массивов (за исключением учета работы преподавателей на часть ставки).

Введем величину $\frac{a_{ij}}{A_j}$, характеризующую относительную частоту проведения занятий в некоторой группе x_i конкретным преподавателем y_j , и величину $\frac{a_{ij}}{A_i}$, как относительную частоту проведения занятий в некоторой группе x_i конкретным преподавателем y_j .

Относительные частоты распределения нагрузки могут служить обоснованием упорядочения как множества преподавателей Y при условии их работы в конкретной группе x_i , так и при упорядочении множества учебных групп X при условии работы в них конкретного преподавателя y_j . В обоих случаях наименьшие номера очередности присваиваются параметрам с наибольшим значением относительной частоты.

Причем, суммарная матрица $[a_{ij}]$ может быть получена на основании нормативных документов, регламентирующих учебный процесс в данном

вузе. Эта матрица устанавливает количественные отношения по взаимной учебной нагрузке между преподавателями учебными групп студентов.

Рассмотрим методику построения матриц коэффициентов связи между группами и преподавателями.

Условимся считать связанными между собой такие группы студентов, где работают одни и те же преподаватели, степени свободы выбора занятий для которых ограничены общей (взаимной) нагрузкой. То есть, будем оценивать общность групп студентов через степень использования общих преподавателей.

Степень связи между двумя академическими группами студентов x_i и x_s из множества X , которая обусловлена тем, что преподаватель y_j ведет учебный процесс в этих группах, оценим коэффициентом:

$$K_{i,s}^j = \frac{a_{i,j} a_{s,j}}{A_i A_s}, i = \overline{1, I}; s = \overline{1, I}; j = \overline{1, J};$$

где $a_{i,j}$ и $a_{s,j}$ – нагрузки каждой из двух групп, выполняемые j -тым преподавателем, а A_i и A_s – полные нагрузки каждой из двух групп x_i и x_s соответственно.

Абсолютные оценки связи между двумя группами можно получить суммированием соответствующих коэффициентов по всем преподавателям:

$$K_{i,s} = \sum_{j=1}^J K_{i,s}^j, i = \overline{1, I}; s = \overline{1, I}.$$

В дальнейшем $K_{i,s}$ будем называть интегральным коэффициентом связи между двумя группами студентов.

Введем квадратную матрицу K с элементами $K_{i,s}$. Каждая i -я строка матрицы K представляет собой интенсивность связи между i -той группой и каждой из остальных $I-1$ групп студентов.

По аналогии можно ввести коэффициент связи между двумя преподавателями y_j и y_p из множества Y , работающими в одной и той же группе x_i при помощи соотношения

$$G_{j,p}^i = \frac{a_{i,j} \cdot a_{i,p}}{A_j \cdot A_p}, i = \overline{1, I}; j = \overline{1, J}; p = \overline{1, J};$$

где $a_{i,j}$ и $a_{i,p}$ – нагрузки двух преподавателей y_j и y_p соответственно, выполняемые в группе x_i .

Интегральные коэффициенты связи можно получить суммированием соответствующих относительных коэффициентов по всем группам студентов, где работают данные преподаватели.

$$G_{j,p} = \sum_{i=1}^I G_{j,p}^i, j = \overline{1, J}; p = \overline{1, J}.$$

По аналогии с матрицей K введем квадратную матрицу G с элементами $G_{j,p}$, которую будем использовать для ранжирования массива преподавателей.

Произведем анализ интегральной матрицы K . Можно отметить следующее.

1. Матрица симметрична относительно главной диагонали.
2. Элементами главной диагонали являются суммы квадратов интенсивности занятий в i -той группе. Поэтому диагональный элемент характеризует «энергию» занятий, проводимых в данной i -той группе всеми преподавателями. Это собственная «энергия» группы, характеризующая внутренние связи группы.
3. Сумма элементов главной диагонали результирующей матрицы связей K имеет смысл «энергии» всех занятий, проводимых во всех группах всеми преподавателями и кратна сумме квадратов всех элементов исходной матрицы $[a_{ij}]$ и не зависит от порядка переменных i и j .
4. Оценку «энергии» взаимных связей между данным выбранным элементом (например, i -той группой студентов) и остальными элементами массива однородных переменных можно осуществить на основании анализа суммы элементов i -той строки (или столбца) матрицы интегральных коэффициентов связей.

Аналогичные рассуждения можно провести для матрицы интегральных коэффициентов связей G между преподавателями. Напомним, что в силу симметрии квадратных матриц связей сумма элементов строки равна сумме элементов соответствующего столбца.

Кроме того, заметим, что внедиагональные элементы характеризуют перекрестные взаимные «энергии» связи. А диагональные элементы характеризуют собственную «энергию» элемента. Поэтому возможно нормирование величин и разделение вкладов от собственных и взаимных связей.

Мы принимали допущение, что все студенческие группы имеют одинаковую нагрузку в течение рассматриваемого двухнедельного периода ($A_i = const$) и преподаватели работают на целую ставку с одинаковой нагрузкой ($A_j = const$). В таком случае, описанную выше процедуру получения матриц интегральных коэффициентов связей K и G на основании исходной матрицы взаимных нагрузок $[a_{ij}]$, можно

формализовать и автоматизировать при помощи известной операции перемножения матриц и операции транспонирования.

Получим произведение двух прямоугольных матриц:

$$[a_{i,j}] \cdot [a_{i,j}]^T = [B_{i,i}] = HK, \text{ где } H = \text{const.}$$

Поменяв местами матрицы-сомножители, получаем:

$$[a_{i,j}]^T \cdot [a_{i,j}] = [C_{j,j}] = RG, \text{ где } R = \text{const.}$$

С учетом таких допущений для упрощения расчетов можно использовать матрицы $[B_{i,i}]$ и $[C_{j,j}]$ вместо K и G соответственно.

На основании полученных суммарных матриц интегральных коэффициентов связей K и G можно произвести ранжирование переменных i и j по критерию интенсивности связей выбранного элемента со всеми остальными элементами однородного массива. Как было установлено ранее, критерием для ранжирования может служить сумма элементов строки (или столбца) соответствующей матрицы коэффициентов связей.

Выводы.

Итак, нами предложена и исследована количественная оценка взаимосвязей между основными переменными, характеризующими учебное расписание в виде матриц коэффициентов связей, которые наряду с тривиальными оценками учебных нагрузок могут служить основой для упорядочения и классификации массивов данных с целью применения методов декомпозиции.

Список литературы: 1. Гужва В.А., Самсонов Б.В. Анализ подходов к автоматизации составления учебного расписания //Вестник Национального технического университета "ХПИ". – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2002. – № 9, т.6. – с 3-6. 2. Гужва В.А., Самсонов Б.В. Пилипенко Д.В. Составление учебного расписания на основе метода штрафных функций //Вестник Национального технического университета "ХПИ". – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2002. – № 13. – с 129 – 136.

Поступила в редколлегию 30.11.05

*И.Е. РОССОХА***ИНДУКТИВНЫЙ ПРИНЦИП БРАКЗ-МЕТОДА ПОСТРОЕНИЯ
БАЗЫ ЗНАНИЙ ДИСПЕТЧЕРА ВУЗа**

В статті пропонується індуктивний принцип методу різнорівневих квантів знань для побудови бази знань диспетчера ВЗ. Зроблені висновки щодо переваг запропонованого принципу та можливостей використання.

Системы искусственного интеллекта часто называют системами, основанными на знаниях (СОЗ), поскольку их функционирование связано с оперированием знаниями, полученными от человека-эксперта и представленными в некотором машинном виде. Именно знания представляют ту самую ценность, которая помогает вести конкурентную борьбу на достойном уровне. Основная проблема создания СОЗ – получение знаний от человека-эксперта. Для решения этой задачи существует множество методов, но она остается чрезвычайно трудоемкой, препятствуя широкому распространению таких систем. Сведения о глубинных взаимосвязях существуют только в нематериальном виде: в навыках и знаниях, полученных опытным сотрудником. Такую информацию сложно представить в компьютерной системе, именно поэтому во многих областях деятельности опытные специалисты ценятся намного больше, чем хорошие базы данных. Сбор ценных сведений из опыта специалистов-экспертов и создание на этой основе компьютерных систем принятия решений – проблема, решение которой ожидаемо в любой сфере, в том числе и при составлении учебных расписаний в ВУЗе[1].

Другой важной задачей, решаемой в рамках машинного обучения, является классификация, в ходе которых множество объектов разбивается на некоторые характерные классы. В случае составления расписания имеет смысл разбивать учебные аудитории на классы по типу занятий (лекционная, практическая и т.д.) с учетом вместимости и расположения, а затем предлагать каждому типу занятия соответствующий тип аудитории.

Переход от данных к знаниям происходит тогда, когда глубинные зависимости, известные только человеку-эксперту, становятся представленными в явном электронном виде. Технологии машинного обучения или беседа инженера по знаниям со специалистом-экспертом может помочь в решении этой сложной проблемы. Знания, представленные в явном виде, с некоторой точностью описывают представления человека о какой-либо части реального мира, при этом позволяют делать на основе такого описания выводы, решать конкретные задачи. Вернемся к нашей задаче: после получения знаний от диспетчера о составлении расписаний за прошедшие периоды возможно получение правила, согласно которому определенному преподавателю ставят

пары только в определенную аудиторию, в некоторые аудитории одновременно можно ставить несколько различных занятий и т.д.

Знания имеют существенно более сложную природу, чем данные. Поэтому для хранения и обработки знаний служат базы знаний (БЗ). Основное достоинство базы знаний - возможность использовать в течение неограниченного отрезка времени накопленный опыт, что маловероятно при "человеческой" передаче опыта и знаний.

Если для какой-то задачи рассматривается возможность построения базы знаний, то необходимо: **1.** Убедиться, что база знаний - действительно подходящее решение. В решении этой проблемы должен участвовать человек-эксперт, справляющийся с решением задачи, но не способный легко выписать алгоритм решения в виде последовательности простых шагов. Также не следует забывать об экономической эффективности: процесс создания базы знаний обычно дорогостоящий и трудоемкий. **2.** Выбрать программное средство для создания баз знаний. **3.** В результате бесед с экспертом сформировать собственно базу знаний (обычно в виде множества правил). И добиться, чтобы она действительно решала задачи. **4.** Включить полученную компьютерную систему в состав интерактивного программного комплекса.

Вопросы эффективного представления знаний в машинном виде являются весьма нетривиальными и во многом зависят от поставленных задач. Весьма широко распространено представление знаний в виде правил "если - то" (продукционное представление), в виде сети связанных определенными отношениями объектов (семантические сети), в виде иерархического множества объектов с определенными свойствами (фреймовое представление) и на языке логики предикатов (логическое представление). Благодаря множеству представлений, существует множество различных программных средств для создания БЗ, называемых также оболочками экспертных систем (ЭС). Среди них можно отметить CLIPS и JESS, а также среду моделирования G2. Во многих случаях бывает удобнее реализовывать базу знаний на языках программирования искусственного интеллекта (LISP, Prolog) или на традиционных языках программирования[2].

Для построения БЗ диспетчера ВУЗа выбрано квантовое представление знаний, которое обеспечивает строгую формализацию порций знаний как содержательных алгоритмических структур данных, машинное манипулирование ими средствами алгебр конечных предикатов и векторно-матричных операторов, а также индуктивный синтез базы квантов знаний (БкЗ) в процессе обучения компьютера по сценарным примерам ситуаций конкретной предметной области.

В основе любого научного метода принятия решений лежит какой-нибудь индуктивный принцип получения общих закономерностей из частных. Например, подавляющее большинство методов математической статистики и распознавания образов строится на индуктивном принципе равномерной сходимости эмпирического риска к среднему риску.

Индуктивное моделирование осуществляется на основе корректно построенного обобщенного класса моделей разноуровневых алгоритмических δk -знаний ($\delta \in \{t, \pi, v\}$). По сравнению с известными, ориентированными на знания методами принятия решений, метод разноуровневых алгоритмических квантов знаний (δ РАКЗ-метод) отличается несколькими главными особенностями, повышающими его эффективность по качеству и быстродействию. Во-первых, реализована строгая формализация используемых знаний в классе M содержательных алгоритмических структур различных уровней сложности (0-й уровень: число, символ; 1-й уровень: вектор, функция; 2-й уровень: матрица, композиция функций). Во-вторых, предложенный индуктивный δ РАКЗ-метод обеспечивает построение обучаемых квантовых сетей вывода решений (δ КСВР) как моделей логических рассуждений человека от посылок через промежуточные следствия к целевым следствиям, т.е. принимаемым решениям.

Индуктивный принцип δ РАКЗ-метода состоит в следующем. Пусть в результате выполненного эксперимента обнаружена и точно охарактеризована лишь некоторая часть Σ_D множества Σ_Ω , представляющего в целом все объекты изучаемого класса Ω . Назовем эту часть множеством обучающих объектов (обучающей выборкой). Множества Σ_O , Σ_D и Σ_Ω назовем соответственно множествами обучающих, допустимых и возможных моделей объекта принятия решений (ОПР). Зная множество Ω в целом, что не реально, мы смогли бы решать задачу принятия решений. Но можно также решить ту же задачу, зная только множество Σ_O , обладая информацией об относительно малой части множества Ω . При таких условиях об общих имплицативных закономерностях исследуемых объектов обычно судят по весьма малочисленным выборочным знаниям Σ_O . Эти суждения основаны на знаниях о некоторых связях между признаками, хотя эти знания неизбежно будут иметь характер гипотез. Эти связи между признаками эквивалентны утверждениям о несуществовании объектов с некоторыми комбинациями свойств.

Если некоторые из признаков имплицативно связаны между собой, то существует, по крайней мере, одна запретная комбинация их значений, а это означает, что соответствующий данной комбинации интервал оказывается пустым для объектов из Σ_D . Однако если некоторый запретный интервал оказался пустым, то это еще не значит, что задаваемая им имплицативная связь действительно существует. Поэтому выдвигается гипотеза о существовании имплицативной закономерности. Требуется оценить степень её достоверности, или того, что гипотеза ошибочна. Достоверными принято называть гипотезы, вероятность ошибочности которых настолько мала, что ею можно пренебречь.

Индуктивный вывод квантов знаний (k -знаний) используется для построения общей «модели мира» в форме БкЗ как совокупности имплицативных и функциональных закономерностей, которые находятся по экспери-

ментальным данным, справочно-литературным сведениям и сообщениям экспертов. При этом имплицитивной закономерностью или запретом g -го ранга называется устойчивая связь между g характеристиками ОПР из общего числа n ($g \leq n$), представленная недопустимостью хотя бы одной комбинации их значений на множествах квантов знаний (k -знаний), в соответствующих пространствах δ РАКЗ-моделей. Функциональной закономерностью g -го ранга на множествах k -знаний называется устойчивая связь между g ($g \leq n$) признаками ОПР, позволяющая по значениям одних признаков – аргументов, однозначно определить значения других – функций. В общем случае такая модель недоступна для непосредственного исследования при решении многих практически важных задач ввиду невозможности её полного построения. Обычно удается составить лишь некоторый фрагмент этой модели. Проводя исследования, мы чаще всего наблюдаем лишь ограниченное число реальных объектов. Нередко и этого нельзя сделать в силу каких-либо причин, и тогда объекты наблюдаются частично, а некоторые компоненты представляющих их векторов получают неопределенные значения (остается неизвестным, обладает ли объект соответствующим признаком)[3].

Индуктивным выводом k -знаний называется алгоритмический процесс построения БкЗ на основе использования объективных примеров обучающих знаний, представленных матричным квантом 2-го уровня $k_2\Sigma_0$ из заданной предметной области, отвечающий принципу «от частного к общему»[3]. Формальная модель индуктивного вывода k -знаний посредством

специального алгоритма $A1$ имеет вид $IND(k_2\Sigma_0; A1; \acute{A}k\zeta) = k_2\Sigma_0 \xrightarrow[A1]{IND} \acute{A}k\zeta$,

где в качестве БкЗ может быть система имплицитивных либо функциональных закономерностей. Алгоритм $A1$ обрабатывает обучающий квант $k_2\Sigma_0$ на предмет поиска пустых (запретных) интервалов g -го ранга с заданной достоверностью гипотезы о существовании искомой имплицитивной закономерности.

Рассмотренные задачи машинного обучения, накопления и эффективного использования знаний специалистов сейчас достаточно эффективно развиваются, поскольку они востребованы в любой сфере. Несложно представить себе, что в ближайшем будущем методы обучения будут настолько развиты, что можно будет представить опыт, привычки и знания человека в некотором электронном виде настолько полно, что компьютерная система, руководствуясь этими знаниями, сможет выполнять многие задачи вместо человека, помогая ему в повседневной деятельности.

Описан класс δ РАКЗ-моделей представления знаний, оригинальность которого заключается в выборе имплицитивных закономерностей в форме элементарного запрета, позволяющих привлечь для решения задач принятия решений хорошо развитый аппарат алгебры логики конечных предикатов, а

также без помощи эксперта выявлять закономерности о данной предметной области (автоматическое извлечение знаний в режиме обучения).

Предложен индуктивный принцип δ РАКЗ-метода, на основе использования которого синтезирована структура оператора индуктивного вывода, который служит процедурой логического вывода δ к-знаний.

На базе использования предложенного принципа инженерии квантов знаний создан интерактивный программный комплекс (ИПК) для поддержки принятия решений диспетчером ВУЗа.

Список литературы: 1. *Россоха С.В., Соханюк И.Е.* Проблема поддержки принятия диспетчерских решений при планировании расписания учебных занятий в техническом университете// Искусственный интеллект. – 2003. – №4. – С.349 – 356. 2. *Soshnikov D.* An Approach for Creating Distributed Intelligent Systems. // Proceedings of the 1st International Workshop on Computer Science and Information Technologies. Moscow: Mephi Publishing, 1998. - pp. 129-134. 3. *Сироджа И.Б.* Квантовые модели и методы искусственного интеллекта для принятия решений и управления. – Киев: Наукова думка, 2002. – 420 с.

Поступила в редколлегию 20.10.05

УДК 519.816:004.89

С.В. РОССОХА

ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ СИНТЕЗЕ РАСПИСАНИЙ ЗАНЯТИЙ

У статті пропонується схема роботи алгоритму синтезу учебного розкладу. Запропонована математична модель учебного розкладу. Приведена схема підтримки прийняття рішення при синтезі учебных розкладів, та її місце в системі синтезу розкладів. Дано опис процесу прийняття рішень диспетчером учебного закладу.

Расписание занятий в образовательном учреждении является одним из важнейших действенных видов планирования учебно–воспитательной работы, основным организационным документом, определяющим работу студенческого и профессорско-преподавательского коллектива, администрации и всего университета.

Процесс составления расписания представляет собой последовательное включение занятий в расписание занятий в определённой последовательности. В большинстве учебных заведениях эта последовательность формируется исходя из внутренних требований, ограничений и сложившейся практики в учебных заведениях. При этом при включении занятия в расписание и его положение в расписании определяются на основе характеристик занятия и выбранных критериев синтеза расписания. По своей сущности, задача

включения занятия в расписание занятий является многокритериальной, так как при её решении приходится учитывать множество различных, а порой и противоречивых критериев (К). Среди критериев можно выделить такие как отсутствие накладок, у преподавателей проводящих занятия и студентов, равномерное распределение нагрузки студентов и преподавателей на учебной неделе и многие другие, отсутствие окон у студентов, критерии которые вытекают из санитарно-гигиенических требований и многие другие.

Следует отметить, что оптимальность расписания также зависит от степени учёта пожеланий (Pr) профессорско-преподавательского состава по составлению расписаний, а также от качества распределения существующего аудиторного фонда между занятиями в расписании.

Из вышеописанного следует, что задача составления расписаний учебных занятий состоит из множества последовательных этапов, на каждом этапе которого решается задача размещения типичных занятий. В зависимости от учебного заведения и особенностей учебного процесса в нем, для каждого учебного заведения последовательность этапов и их число будет различным. Такими этапами могут быть: размещение больших лекционных занятий, размещение специфических лабораторных работ, размещение занятий иностранного языка и другие. На каждом этапе составления расписания занятий приходится решать типичную задачу выбора варианта размещения занятия в расписании занятий и учитывать определённый, а иногда и специфичный для данного этапа, набор критериев $K^i \in K$, где i – номер этапа составления расписания занятий.

Следовательно, каждый этап составления расписаний занятий состоит из набора однотипных задач, для которых характерно, как было замечено, набор локальных критериев. При этом задача выбора варианта размещения занятия в расписании осложняется ещё тем, что трудно спрогнозировать последствия от выбора того, или иного варианта размещения из-за условий неопределённости присутствующих задачам синтеза учебных заведений.

На основании анализа значительного числа существующих математических моделей задачи синтеза расписания [1, 2, 3] синтезирована модель задачи синтеза расписания учебных занятий, которая представляется девяткой объектов $\langle G, \langle \langle \rangle, M, F, R=W \times D \times P, \langle \langle \rangle, K, O, Pr \rangle$, где G – множество этапов синтеза расписаний занятий; $\langle \langle \rangle$ – отношение частичного порядка, заданное на множестве G ; $\langle M \rangle$ – матрица расписания учебных занятий; $\langle F \rangle$ – множество аудиторий; $\langle R \rangle$ – множество временных интервалов, представленное тройкой $\{w_i, d_j, p_k\}$, где w_i – неделя (например, числитель или знаменатель), d_j – день недели, p_k – номер занятия; $\langle \langle \rangle$ – отношение частичного порядка, заданное на множестве R ; $\langle K \rangle$ – множество критериев оптимальности расписания занятий; $\langle O \rangle$ – множество ограничений, которое в общем случае состоит из ограничений, наложенных на любые элементы системы; $\langle Pr \rangle$ – множество пожеланий профессорско-преподавательского

состава. Следует отметить, что отношения частичного порядка «<», «<′» могут быть заданы в виде экспертных знаний хранимых в базе знаний.

Очевидными ограничениями синтеза учебных расписаний являются следующие:

1. Одновременно один и тот же преподаватель не может проводить более одного занятия;
2. Одновременно одна и та же студенческая группа не может участвовать более чем в одном занятии;
3. Число занятий у каждой группы в течение учебного дня не должно отличаться более чем на единицу от заданной нормы (обычно 4). и др.[1, 2, 3]

Задача размещения занятия в расписании представляется, как задача выбора в условиях неопределённости и может быть записана как $\langle A, OP \rangle$, где «А» – множество альтернатив; «ОР» – принцип оптимальности, который характеризует представление о «качестве» альтернативы при её оценке и выборе. Решением задачи является множество $A_{OP} \subseteq A$ полученное с помощью принципа оптимальности ОР.

Существует множество различных алгоритмов принятия многокритериальных решений. При реализации многокритериального выбора в условиях неопределённости ЛПР обязан осуществить выбор из конечного числа сгенерированных альтернатив, при этом последствия выбора в силу неопределённости не очевидны. Несмотря на широкие исследования в области поддержки принятия решений, до сих пор не найден оптимальный подход к задачам многокритериального выбора в частности и задачам выбора вообще.

Анализ существующих алгоритмов и методов показывает, что все они имеют свои достоинства и недостатки. Для использования существующих алгоритмов и методов в системе поддержки принятия диспетчерских решений необходимо учесть противоречивые требования, предъявляемые к системе составления расписаний, а также характер самой задачи синтеза расписаний.

На практике, для снятия неопределённости используют оценки и знания экспертов предметной области, в случае задач синтеза учебных расписаний такими экспертами могут быть диспетчера работающие над составлением расписаний занятий в учебном заведении и представители профессорско-преподавательского состава участвующие в составлении расписаний занятий[4].

Таким образом, задача размещения занятия в расписании занятий может быть представлена как $\langle A, Kb \rangle$, где А – множество альтернатив; Kb – база знаний о предметной области, которая характеризует представление о «качестве» альтернатив, как субъективной оценке эксперта, в нашем случае диспетчера. Таким образом, на основании знаний заложенных в базу знаний

формируется подмножество оптимальных, с точки зрения эксперта, альтернатив $A_{\text{Кв}} \subseteq A$, которое принимается как решение задачи.

Процесс принятия решений можно представить как последовательность шагов[4]: анализ ситуации; генерация возможных вариантов; оценка сгенерированных вариантов; выбор варианта решения.

Для анализа сложившейся ситуации широко применяют методы интеллектуального анализа данных. Эти методы позволяют выявлять скрытые тенденции, взаимосвязи, что позволяет повысить качество принимаемых решений.

Генерация вариантов возможных альтернатив (решений) осуществляется посредством программной реализации аналитических или имитационных моделей средствами экспертных систем. Таким образом, уже на стадии генерации альтернатив, возможно отсеивание неприемлемых, тупиковых вариантов. Генерируемые альтернативы разделяют на неожиданные, т.е. принципиально новые решения и альтернативы, основанные на типовых сценариях, построенные по аналогии, на основе комбинации известных частных решений.

В процессе принятия решения, человек способен рассматривать несколько возможных вариантов и во многих случаях просто не замечает лучший вариант. Для представления сгенерированных альтернатив необходимо их оценить и проранжировать в соответствии с предпочтениями экспертов. Выбор критериев оказывает решающее влияние на результаты оценок и ранг альтернатив. Однако следует заметить, что не всегда удаётся учесть все критерии, при этом оценка альтернатив оказывается не точной, что может привести к принятию неверных (ошибочных решений). Предложено много методов ранжирования, одним из таких методов является метод предполагающий использование отношений предпочтения. Следовательно, оценка возможных альтернатив может быть произведена с использованием оценки экспертов заложенных в базе знаний, которая сформирована на основе индуктивного принципа построения баз знаний.

Таким образом, основополагающим механизмом, который позволяет получать решение задачи размещения занятий в расписание является механизм вывода, позволяющий на основе заложенных в базу знаний суждений, оценок и предпочтений экспертов принимать то или иное решение.

Механизм вывода во многом зависит от модели представления знаний в базе знаний. На сегодняшний день разработано множество различных моделей представления знаний[6, 7, 8], среди которых следует выделить квантовые модели представления знаний. К достоинствам этой модели представления знаний относится строгий математический аппарат, основанный на логике предикатов, теории алгоритмов и векторно-матричных структур. Простота манипулирования знаниями как векторно-матричными структурами. Наличие строгого формализованного механизма вывода и

возможность представления знаний в виде логических сетей вывода решений[7].

В терминах квантовой модели представления знаний, база знаний состоит из квантов (порций знаний), которые в свою очередь состоят из доменов. Домен представляет собой признак объекта принятия решений и состоит из набора его значений. Наличие признака характеризуется единичным значением, а его отсутствие нулевым. Между доменами присутствует логическая связка «И», а между элементами домена логическая связка «ИЛИ»[7]. Таким образом, база знаний представляет собой набор имплицативных и функциональных закономерностей предметной области.

Квантовая модель представления знаний обладает двумя равноценными механизмами вывода – операторным и сетевым. Операторный метод вывода решений основан на последовательном применении характеристической функции, выбирающего оператора и операторов склеивания строк и столбцов[7]. Сетевой механизм вывода предполагает построение графа «И/ИЛИ» обладающего порядковой функцией, такой, что посылочные вершины находятся на первом уровне, а целевые вершины на последнем, между ними находятся промежуточные вершины, которые формируются автоматически при построении сети вывода решений.

Таким образом, можно сделать вывод, что сетевой механизм вывода решений наиболее прозрачен и понятен с точки зрения конечного пользователя (диспетчера), а также механизм вывода на графе легко поддается программной реализации, что делает данный метод вывода наиболее приемлемым для решения задач синтеза расписания.

Становится очевидным, что для решения задач определённого этапа, процесса составления расписания занятий, необходимо: использовать свою, специфическую для каждого этапа базу знаний в связке с общей базой знаний хранящей требования, предъявляемые к расписанию занятий в целом. Это мотивируется наличием специфических критериев и признаков, характерных только для данного этапа. Также использование различных баз знаний позволит максимально сосредоточиться на улучшении частных этапов составления расписания занятий, и даёт возможность, применять, в случае необходимости, отличные от квантовых модели представления знаний.

В рамках исследований был разработан жадный алгоритм[5] построения расписаний учебных занятий. Общая схема работы алгоритма такая:

1. Выбрать очередной этап синтеза расписания.
2. Выбрать очередное занятие из выбранного этапа.
3. Сгенерировать и оценить варианты размещения занятия в расписании с использованием базы знаний;
4. Выбрать оптимальный вариант размещения занятия в расписание.
5. Если не все занятия распределены в расписание, то вернуться к шагу 2.
6. Если не все этапы синтеза расписания пройдены, то вернуться к шагу 1.

Для реализации этой схемы требуется определиться с алгоритмами упорядочивания этапов и занятий в них, хотя возможно и задание порядка следования этапов диспетчером при настройке программного комплекса в зависимости от его симпатий и предпочтений.

Список литературы: 1. *Пайкерс В.Г.* Методика составления расписания в образовательном учреждении.- Изд. 3-е испр. и доп. – М.: АРКТИ, 2001. – 112 с. 2. *Гусаков В.П., Шнак А.В.* Автоматизированная система поддержки принятия решений распределения аудиторного фонда вуза //Материалы конф. "Информационные технологии в образовании" ("ИТО-2004").-М.:ИТО, 2004 3. *Рубина Т.Б.* Применение метода замещений для решения задачи составления расписания учебных занятий. Сборник трудов IX Международной конференции-выставке "Информационные технологии в образовании" ("ИТО-99").-М.:ИТО, 1999. 4. *Трахтенгерц Э.А.* Компьютерные системы поддержки принятия управленческих решений// Проблемы управления №1, 2003 С.13 – 27. 5. *Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р.* Алгоритмы: построение и анализ/ Пер. с англ. под ред. А.Шеня.-М.:МЦНМО, 2002.- 960 с. 6. *Джонс М.Т.* Программирование искусственного интеллекта в приложениях; - М.: ДМК Пресс, 2004. - 312 с. 7. *Сироджа И.Б.* Квантовые модели и методы искусственного интеллекта для принятия решений и управления. К.: Изд-во Наукова думка, 2002.- 328 с. 8. *Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф.* Базы знаний интеллектуальных систем. СПб.:Питер, 2001.- 384 с.

Поступила в редколлегию 20.10.05

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Любчик Л. М., Мирошниченко А. А.</i> Мониторинг динамических процессов на основе сингулярно-спектрального анализа.....	3
<i>Вартанян В. М., Романенков Ю. А., Кононенко А. В.</i> Параметрический синтез прогнозной модели экспоненциального сглаживания.....	9
<i>Куценко А. С., Никитина Т. Б.</i> Уточнение параметров нелинейных оптимальных регуляторов каналов многоканальных систем при последовательном синтезе.....	17
<i>Раскин Л. Г., Пустовойтов П. Е., Эль Саед Абделаал Эль Саед Мохамед.</i> Оценка эффективности компьютерной сети с потоком групповых заявок и неограниченной очередью.....	26
<i>Раскин Л. Г., Серая О. В.</i> Марковские модели СМО с немарковским входящим потоком.....	31
<i>Голоскоков А. Е., Рудницкий А. В.</i> Разработка математического и программного обеспечения интеллектуальной системы управления технологическим процессом горячей прокатки пакетов металлических пластин.....	37
<i>Куценко А. С., Конохов С.В.</i> Параметрический синтез системы управления малым производственным предприятием.....	43
<i>Куценко А. С., Лю Чан Занг.</i> Некоторые подходы к проблеме управления квазистатическими технологическими процессами.....	49

Слисаренко Н. Н. Об алгебраическом подходе к описанию обобщенных сущностей	54
Гецович Е. М., Селевич С. Г., Мартынец Т. В. К вопросу о выборе коэффициента пробных воздействий в дуальных адаптивных системах управления объектами с заранее неизвестным неустойчивым оптимумом.....	63
Безменов Н. И. Петрова Я. В. Системный подход к построению геoinформационных систем	70
Колбасин В. А. Оценка отклонения от номинала частот двухтонального сигнала набора номера.....	75
Сидоренко А. Ю., Чернышев А. А. Влияние исходных свойств оптического полимерного материала на качество поверхностного слоя.....	79
Улеев А. П., Малютина И. Ю., Кильдишев В. И., Шевцов Ю. С. Принцип каскадного кодопреобразования при использовании таймерных кодов	86
Шекета В. І. Побудова моделі модифікаційних предикатних запитів на основі премоноїдних категорійних структур.....	93
Лисицкий В. Л., Гринченко М. А. Структура системы прогнозирования развития макроэкономических систем	105
Бородин В. И., Лисицкий В. Л. Имитационное моделирование функционирования адаптивной системы управления развитием макрорегиона	109
Шатохина Н. В. Случайный спрос в задачах формирования стратегии развития предприятия с алгоритмическими и аналитическими целевыми функциями и ограничениями	115
Боровской Б. Н. Решение задачи распределения ресурса в активной системе из двух предприятий с применением производственной функции типа Кобба-Дугласа	121
Годлевский М. Д., Чередниченко О. Ю., Лютенко И. В. Инвестиции в сфере высшего образования.....	135
Орловский Д. Л., Чередниченко Г. А. Управление процессом сервисного обслуживания офисной техники	140
Конохова З. П., Мищенко В. К. Ценовое поведение предприятия	145
Конохова З. П., Сухорукова Н. В., Конохова Ю. В. Совершенствование подходов к оценке объектов инвестирования в условиях трансформации экономики	151
Демина В. М. Виды контроля знаний в автоматизированном и дистанционном обучении	159
Гужва В. А., Самсонов Б. В. Оценка взаимосвязи между основными переменными в задаче составления учебного расписания.....	167
Россоха И. Е. Индуктивный принцип δРАКЗ-метода построения базы знаний диспетчера ВУЗа	173
Россоха С. В. Поддержка принятия решений при синтезе расписаний занятий	177

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ «ХПІ»**

Збірник наукових праць

Тематичний випуск
«Системний аналіз, управління
та інформаційні технології»

Випуск 59

Наукові редактори М. Д. Годлевський, О.С.Куценко
Технічний редактор М. І. Безменов

Відповідальний за випуск В. М. Луньова

Обл.-вид № 169-05

Підп. до друку 22.12.05 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. № . Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХПІ».

Свідоцтво державну реєстрацію № 116 від 10.07.2000 р.

61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Друкарня “Технологічний центр”. 61145, Харків, вул. Новгородська, 3а,
тел. 758-78-55