

ВЕСТНИК

НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА «ХПИ»

Сборник научных трудов

Тематический выпуск «Системный анализ, управление и информационные технологии» 41'2007

Издание основано Национальным техническим университетом «ХПИ»
в 2001 году

Госиздание

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

КООРДИНАЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель

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

Зам. председателя

А.П. МАРЧЕНКО, д-р техн. наук, проф.

Е.И. СОКОЛ, д-р техн. наук, проф.

Секретарь координационного совета

К.А. ГОРБУНОВ, канд. техн. наук, доц.

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

Б.Т. БОЙКО, д-р техн. наук, проф.

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

А.И. ГРАБЧЕНКО, д-р техн. наук, проф.

В.Г. ДАНЫКО, 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.

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.

І.П. ГАМАЮН, д-р техн. наук, проф.

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

О.С. СФИМОВ, д-р техн. наук, проф.

И.В. КОНОНЕНКО, д-р техн. наук, проф.

Л.М. ЛЮБЧИК, д-р техн. наук, проф.

Л.Г. РАСКИН, д-р техн. наук, проф.

Н.В. ШАРОНОВА, д-р техн. наук, проф.

М.А. ЯСТРЕБЕНЕЦКИЙ, 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 681.5+519.7+519.8+004

Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Системный анализ, управление и информационные технологии». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2007. – № 41. – 204 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 «ХПІ»,
протокол № 12 від 07.12.2007 р.**

А. С. МАЗМАНИШВИЛИ, д-р физ.-мат. наук, профессор НТУ «ХПИ»,
О. Я. НИКОНОВ, канд. техн. наук, доцент НТУ «ХПИ»

СТОХАСТИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА В УСЛОВИЯХ ДРОБОВОГО И БЕЛОГО ШУМА

В статті розглянута часова еволюція транспортної ланки, що описується диференціальним рівнянням зі збурюючою дією в правій частині. В якості збурення використані завади двох видів: білий шум та дробовий шум, енергетичні параметри яких узгоджені. Приведено часові епюри обох завод та результати чисельного моделювання, що основані на методі Ейлера. Зроблено висновки про еквівалентність «в середньому» поведінки ланки, зіставлені відповідні стаціонарні області.

В статье рассматривается временная эволюция транспортного звена, описываемая дифференциальным уравнением с возмущающим воздействием в правой части. В качестве возмущения использованы помехи двух видов: белый шум и дробовой шум, энергетические параметры которых согласованы. Приведены временные эпюры обоих шумов и результаты численного моделирования, основанные на методе Эйлера. Сделаны выводы об эквивалентности «в среднем» поведения звена, сопоставлены соответствующие стационарные области.

In the article time evolution transport element, described by the differential equation with the outage influence in the right of part, is considered. As outraging are used hindrances of two types: white noise and shot noise, which energy parameters are coordinated. Brought time epures both noises and results numerical modeling, based on the Euler's method. Conclusions about statistical equivalence «in average» behaviours element are made, corresponding stationary areas are match.

Введение. Опыт эксплуатации автоматических устройств и систем показывает, что средства автоматизации, установленные на транспортных средствах и других машинах, эффективны, когда их элементы правильно настроены [1, 2]. Эффективным подходом проектирования транспортных средств является моделирование динамических процессов в режиме реального времени [3, 4]. Необходимо отметить, что само моделирование необходимо осуществлять с учетом реальных свойств среды, что особенно важно для специальных транспортных средств высокой проходимости. При численном моделировании, как правило, в качестве возмущающего фактора, ассоциируемого со свойствами профиля, применяется стохастическое моделирование, основанное на использовании процесса «белого» шума [5, 6, 7]. Профиль пересеченной местности, по которой движутся специальные транспортные средства, содержит такие препятствия, как ямы, рвы, бревна, элементы железобетонных конструкций и т.п. Для описания профилей такого рода в транспортных задачах численного моделирования необходимо применение стохастических процессов, свойства которых приближены к указанным возмущениям, а значит, отличными от свойств белого шума. Известный процесс «дробового» шума [8, 9, 10], как представляется, может быть использован в указанных задачах.

Цель работы. Целью настоящей работы является проведение численного моделирования транспортной задачи с применением стохастических шумов обоих указанных видов (дробового и белого) и последующим сравнением результатов.

Постановка задачи. Для упругих колебаний корпуса транспортного средства математическая модель возмущенного движения может быть записана в виде системы линейных дифференциальных уравнений. Пользуясь обозначениями, приведенными в [6, 7], запишем следствие из этой системы в форме дифференциального уравнения для формирующего динамического звена

$$T_1^2 \frac{d^2 u(t)}{dt^2} + T_2 \frac{du(t)}{dt} + u(t) = k \xi(t). \quad (1)$$

Дифференциальное уравнение (1) моделирует случайную функцию $u(t)$, порожденную возмущением $\xi(t)$ в правой части.

В настоящей работе проведено моделирование временной эволюции решения уравнения (1) и сопоставление его результатов для обоих видов шума. Параметры звена выбирались следующие: $T_1^2 = 0.20 \text{ c}^2$; $T_2 = 0.12 \text{ c}$; $k = 0.225$ [7].

В уравнении (1) в качестве возмущающей функции $\xi(t)$ может быть использована помеха рассматриваемого типа. Обычно [3, 4] в качестве помехи применяется случайная функция типа «белого» шума. Именно шум такого рода наиболее часто используется в задачах стохастического моделирования. В настоящей работе на известном примере [4] в качестве шума использована помеха типа «дробового» шума [8, 9, 10].

Система дифференциальных уравнений (1) может быть записана в стандартном виде Коши:

$$\frac{d}{dt} X = AX + b \xi(t). \quad (2)$$

В этом уравнении введены следующие обозначения, которые вытекают из (1):

$X = (\dot{u}(t), u(t))^T$ – вектор состояния системы (решение уравнения (2));

$\xi(t)$ – возмущающее воздействие вида дробового шума или белого шума в правой части системы;

A – матрица системы;

b – вектор коэффициентов правой части системы уравнений.

Для выбранных параметров звена имеем

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -25 & -3 \end{pmatrix}, \quad b = \begin{pmatrix} 0 \\ 5.625 \end{pmatrix}.$$

Дробовой и белый шумы. Рассмотрим теперь систему (2) с правой частью – дробовым $\xi_S(t)$ шумом или белым $\xi_W(t)$ шумом. Приведем значения используемых при моделировании параметров:

σ_S – среднеквадратичные амплитуды импульсов дробового шума;

τ – средний временной интервал между импульсами;

K – количество импульсов дробового шума, используемое при моделировании (удобно значение параметра K выбирать так, чтобы изучить эволюцию системы за временной интервал, равный 100 с);

σ_W – среднеквадратичные амплитуды импульсов белого шума;

N – количество импульсов белого шума.

При получении численного решения уравнения (2) был выбран одношаговый метод Эйлера решения дифференциального уравнения. Известные другие методы (например, метод Рунге-Кутты) оказались неприменимыми в рассматриваемой стохастической модели, поскольку их алгоритмы содержат многократный вызов правой части уравнения, что приводит к нарушению энергетического баланса между шумами рассматриваемых видов и потому противоречит самому уравнению (2).

При численной реализации необходимо выбрать шаг h численного интегрирования рассматриваемых дифференциальных уравнений или, что эквивалентно, общее количество шагов N на временном интервале решения. Для всего интервала в 100 с оказалось достаточным выбрать $h=0.002$ с, т.е. всего количество N шагов интегрирующего алгоритма составило $N=50000$. Таким образом, фактически в качестве белого шума был применен высокочастотный «решетчатый» шум.

Дробовой шум $\xi_S(t)$ задается [9, 10] как последовательность дельтаобразных импульсов ($k = 1, 2, 3, \dots$)

$$\xi_S(t) = \sum_k a_k \delta(t - t_k), \quad (3)$$

обладающими следующими свойствами:

а) каждая амплитуда a_k независимо от остальных амплитуд из набора $\{a_k\}$ подчиняется нормальному закону Гаусса с нулевым математическим ожиданием и дисперсией, равной σ_S^2 ;

б) каждый из временных интервалов $\tau_k = t_k - t_{k-1}$ между последовательными ударами ($k = 1, 2, 3, \dots$) является независимой случайной величиной и подчиняется экспоненциальному закону с параметром (средним

интервалом) τ , который согласован с общим количеством ударов на всем временном промежутке.

Белый шум $\xi_w(t)$ рассматривается как предел последовательности дробовых шумов $\{\xi_s(t)\}$, у которых количество ударов K растет, а интенсивность этих ударов σ_s^2 уменьшается таким образом, что средняя энергия за выбранный промежуток времени остается неизменной.

Для обеспечения энергетической эквивалентности примем, что энергии возмущающих воздействий на всем временной интервале поиска решения совпадают. Таким образом, имеем

$$K\sigma_s^2 = N\sigma_w^2, \quad (4)$$

поэтому если заданы три величины, то из (4) можно найти значение четвертой.

Результаты численного моделирования. Ниже приведены результаты численного моделирования системы (2) с воздействием в виде дробового или белого шума. На всех приводимых рисунках результаты изложены парами, при этом везде левый рисунок относится к случаю дробового шума, а правый – к случаю белого шума. Для удобства расчетов везде было принято значение $\sigma_s=1$. Количество ударов дробового шума было выбрано $K=50$, т.е. в среднем 1 удар за две секунды. Это дает для среднеквадратичной амплитуды белого шума значение $\sigma_w=0,032$.

На рис. 1 приведены временные эпюры используемых шумов $\xi_s(t)$ и $\xi_w(t)$. На левом из них хорошо видна «ударная» структура дробового шума. Количество импульсов в среднем составляет 50, хотя при практической реализации их число на интервале расчета может отличаться от среднего в допустимых статистических пределах. Число импульсов N белого (решетчатого) шума велико, поэтому справа на рис. 1 практически видна сплошная полоса с относительно небольшими выбросами.

На рис. 2 приведены зависимости колебаний звена под воздействием дробового шума (слева) и белого шума (справа). Обращает на себя внимание резкое различие типов движения.

На рис. 3 приведены аналогичные зависимости, но для скорости колебаний звена.

На рис. 4 приведены фазовые карты амплитуд колебаний звена под воздействием дробового шума (слева) и белого шума (справа). Видна реакция системы на удары, как дробового шума, так и белого. На фазовой карте слева видно, что удары дробового шума, в основном, следуют регулярно с интервалом (2 с), разброс обусловлен стохастичностью шума.

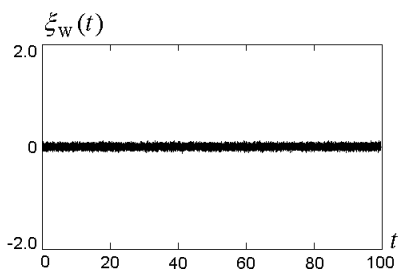
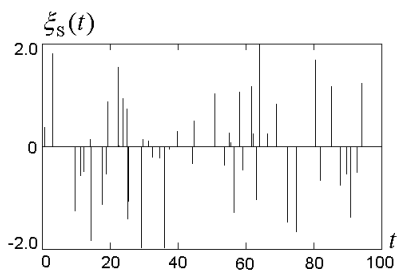


Рисунок 1 – Реализации дробового шума (слева) и белого шума (справа)

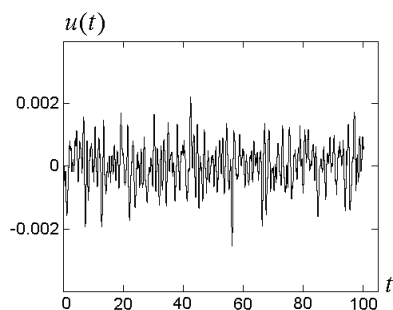
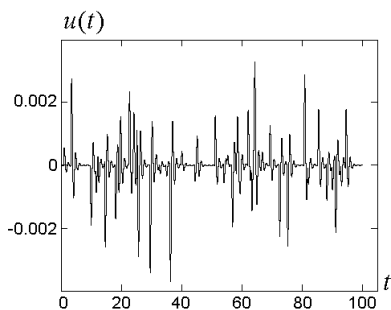


Рисунок 2 – Реализация колебаний звена

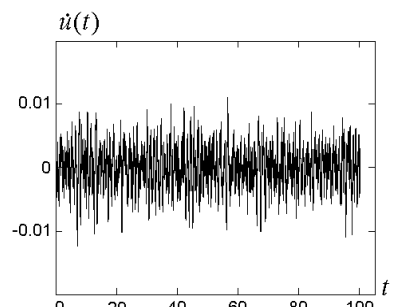
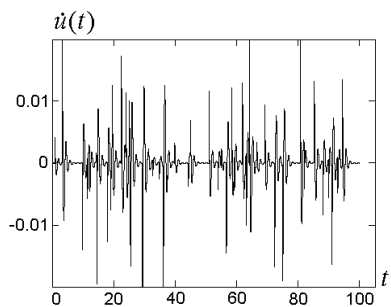


Рисунок 3 – Реализация скорости колебаний звена

Аналогичные приведенным зависимости были получены в ряде численных экспериментов, в ходе которых увеличивалось число шагов N численного алгоритма и связанного с этим число N возмущений белого шума.

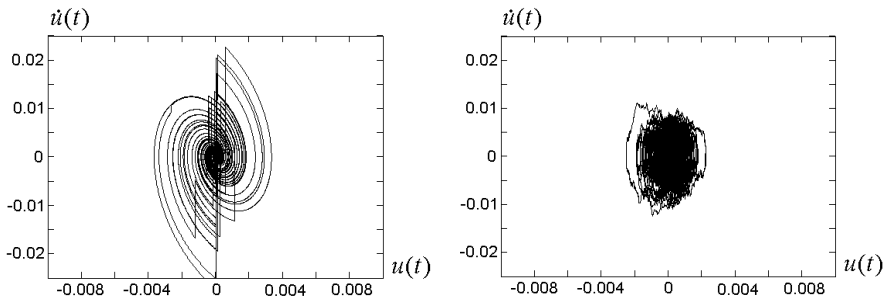


Рисунок 4 – Фазовые карты колебаний координаты и скорости звена под воздействием дробового шума (слева) и белого шума (справа)

Заключение. Из приведенных на рис. 2-4 зависимостей видна картина временной эволюции системы. А именно, компоненты вектора состояния, изменяясь под воздействием импульсов дробового шума, в основном, находятся в окрестности равновесной нулевой точки. Такого рода поведение системы определяется большим значением декремента системы и малого времени затухания. В основном, система находится в стационарной области. Указанные свойства системы оказываются совпадающими для шумов обоих видов. Близкими оказались и размеры стационарных областей. Все эти свойства позволяют говорить о возможности и целесообразности выполнения моделирующих экспериментов в стохастических системах [11] с применением дробового шума.

Список литературы: 1. Александров Е. Е., Богаенко И. Н., Кузнецов Б. И. Параметрический синтез систем стабилизации танкового вооружения.– К.: Техніка, 1997.– 112 с. 2. Александров Е. Е., Волонцевич Д. О., Карпенко В. А. Динамика транспортно-тяговых колесных и гусеничных машин.– Харьков: ХГАДТУ, 2001.– 642 с. 3. Александров Е. С., Кюрчев В. Н. О возмущениях, действующих на пушку при движении танка по пересеченной местности // Механіка та машинобудування.– 2002.– № 1.– С. 93–96. 4. Александров Е. Е., Борисюк М. Д., Кузнецов Б. И. Параметрическая оптимизация многоканальных систем автоматического управления.– Харьков: Основа, 1995.– 272 с. 5. Александров Е. С., Кечев М. О., Никонов О. Я. Основы автоматики і танкові автоматичні системи.– Харків: Харківський інститут танкових військ, 2002.– 163 с. 6. Александров Е. Е., Костенко Ю. Т., Кузнецов Б. И. Оптимизация многоканальных систем управления.– Харьков: Основа, 1996.– 288 с. 7. Александров Е. С., Никонов О. Я., Олиарник Б. А. Танковая пушка с упругим стволом как объект стабилизации // Артиллерийское и стрелковое вооружение.– 2005.– № 2.– С. 44–47. 8. Александров Е. Е., Вирченко Ю. П., Мазманишвили А. С. К задаче АКОР при воздействии на объект управления дробового шума // Республиканский межведомственный сборник «АСУ и приборы автоматики».– 1992, вып. 97, Харьков.– С. 93–96. 9. Гнеденко Б. В., Коваленко И. Н. Введение в теорию массового обслуживания.– М.: Наука, 1987.– 336 с. 10. Гихман И. Н., Скороход А. В. Теория случайных процессов.– Т. III.– М.: Наука, 1971.– 496 с. 11. Александров Е. С., Козлов Е. П., Кузнецов Б. И. Автоматичне керування рухомими об'єктами і технологічними процесами.– Т. I. Теорія автоматичного керування.– Харків: НТУ «ХП», 2002.– 490 с.

Поступила в редколлегию 21.11.07

А. С. МАЗМАНИШВИЛИ, д-р физ.-мат. наук, профессор НТУ «ХПИ»,
И. И. МАРЧЕНКО, аспирант НТУ «ХПИ»

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛОТНОСТИ ИОННОГО ТОКА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИОННОГО АЗОТИРОВАНИЯ FE, CR И FE-CR-СПЛАВОВ

Методами комп'ютерного моделювання дослідженні процеси формування приповерхневих азотованих шарів у Fe, Cr та Fe-Cr-сплавах під впливом низькоенергетичних іонів. Встановлено, що для різних умов обробки існує оптимальне значення іонного току, яке дозволяє проводити процес іонного азотування з мінімальними витратами. Показано, що при збільшенні температури оптимальне значення іонного току змінюється до більших значень.

Методами компьютерного моделирования исследованы процессы формирования приповерхностных азотированных слоев под воздействием низкоэнергетических ионов в Fe, Cr и Fe-Cr-сплавах. Установлено, что для различных условий ионной обработки существует оптимальное значение ионного тока, которое позволяет проводить процесс ионного азотирования с минимальными затратами. Показано, что при увеличении температуры оптимальное значение ионного тока смещается к большим величинам.

The formation process of nitrided layers by low-energy ions in Fe, Cr and Fe-Cr-alloys is investigated by the methods of computer simulation. Figured out that for the varied conditions of ion nitration there is an optimum value of ion current, which makes it possible to carry out the process of ionic nitration with the minimum expenditures. It is shown that with an increase in the temperature the optimum value of ion current get the high values.

Введение. В последнее время азотирование успешно применяется для улучшения качества поверхностей металлов и сплавов. Обработанные таким образом материалы широко используются в различных отраслях производства. Промышленное использование традиционной имплантации ионов высоких энергий ограничивается высокой стоимостью обработки и малой толщиной азотированного слоя. Ионное азотирование позволяет уменьшить время и температуру обработки, избежать фазовых превращений, приводящих к ухудшению свойств обрабатываемого материала [1].

При помощи низкоэнергетической высокодозовой имплантации ионов азота можно получить более толстые азотированные слои (в несколько микрон) при умеренных температурах обрабатываемых изделий без ухудшения их коррозионной стойкости. При этом твердость поверхности может быть увеличена на порядок, а износостойкость – на несколько порядков [2].

Fe и Cr является основными компонентами аустенитных сталей, которые широко применяются для производства конструкционных материалов.

Был предложен ряд математических моделей для описания процессов ионного азотирования [3-5]. Тем не менее данные модели не объясняли

обнаруженные особенности в распространении азота вглубь материала при высокодозовой низкоэнергетической обработке сплавов. Ранее была предложена математическая модель ионного азотирования аустенитных сплавов, учитывающая процессы создания и распада примесных комплексов [6]. Однако в работе не были исследованы изменения характеристик азотированного слоя для различных параметров облучения.

Целью данной работы является исследование влияния плотности ионного тока на эффективность ионного азотирования Fe, Cr и FeCr-сплавов при различных температурах обрабатываемой поверхности.

Методика моделирования. Процесс ионного азотирования в сплавах можно представить следующим образом. Пучок ионов, состоящий из атомов и молекул азота, взаимодействует с поверхностью твердого тела. Так как энергия связи молекулы азота существенно ниже энергии пучка, то на поверхности происходит диссоциация молекул N_2 . Часть азота отражается от образца, уменьшая, таким образом, поток внедренных атомов. Остальные ионы азота проникают вглубь материала. При взаимодействии азота с поверхностью происходит распыление атомов мишени. За счет данного процесса происходит стравливание образца, поэтому поверхность смещается с некоторой скоростью V . Имплантированные атомы азота имеют некоторое первоначальное распределение по глубине образца, определяемое процессами взаимодействия ионов азота с атомами мишени. В дальнейшем атомы азота проникают в объем материала вследствие процессов диффузии.

Ионное азотирование чистых металлов в движущейся системе координат, связанной с поверхностью обрабатываемого материала, можно описать следующим уравнением [6]:

$$\frac{\partial c_n}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial c_n}{\partial x} \right) + V \frac{\partial c_n}{\partial x} + G(x), \quad (1)$$

где c_n – концентрация атомов азота, D – коэффициент диффузии азота в материале, $G(x)$ – профиль распределения имплантированного азота в материале. Координата x нормальна к поверхности образца, которая движется со скоростью V за счет распыления её материала. Скорость движения поверхности определялась распылением поверхностных атомов: $V = Sj/\rho$, где S – интегральный коэффициент распыления, j – плотность ионного тока, ρ – атомарная плотность материала. Слагаемое $V \frac{\partial c_n}{\partial x}$ определяется выбором системы координат, которая смещается вместе с поверхностью твердого тела.

При азотировании сталей, азот, взаимодействуя с атомами Cr, образует примесные комплексы, которые могут распадаться под

воздействием температуры [3,7]. Поэтому математическую модель (1) можно расширить, введя туда дополнительное уравнение, описывающее процессы образования комплексов азот – атом примеси:

$$\begin{cases} \frac{\partial c_n}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial c_n}{\partial x} \right) + V \frac{\partial c_n}{\partial x} + G(x) - \alpha c_n (c_0 - c_p) + \beta c_p, \\ \frac{\partial c_p}{\partial t} = V \frac{\partial c_p}{\partial x} + \alpha c_n (c_0 - c_p) - \beta c_p, \end{cases} \quad (2)$$

где c_n – концентрация свободных атомов азота, c_p – концентрация комплексов азота с атомами растворенного компонента. Считается, что примесные атомы равномерно распределены по объему материала с некоторой плотностью c_0 . Диффундирующий азот может захватываться атомом примеси с образованием примесного комплекса. Коэффициент $\alpha = 4\pi R_{rr} D$ характеризует эффективность создания примесных комплексов, а $\beta = 4\pi R_{dec} D \exp(-E_b/kT)$ – эффективность их термического распада; k – постоянная Больцмана, R_{rr} и R_{dec} – соответственно радиусы захвата и распада примесного комплекса, величины порядка постоянной решетки.

В расчетах предполагалось, что коэффициенты диффузии и распыления не зависят от концентрации азота.

Начальные условия для уравнения (1): $c_n(x,0) = 0$ и для системы (2) дополнительно $c_p(x,0) = 0$. Данные условия соответствуют отсутствию азота в начале азотирования. Граничные условия выбирались из предположения отсутствия азота в глубине материала и отсутствия потока на левой границе. Их математическая запись для уравнения (1): $\partial c_n(0,t)/\partial x = 0$, $c_n(x,t)_{x \rightarrow \infty} = 0$ (дополнительные условия для системы уравнений (2): $\partial c_p(0,t)/\partial x = 0$, $c_p(x,t)_{x \rightarrow \infty} = 0$).

Система уравнений решалась численно с использованием программы DMOLN [8], которая основана на методе Гира дифференцирования назад.

Профили распределения имплантированного азота в материале $G(x)$ и интегральный коэффициент распыления S вычислялись с использованием программы SRIM [9] для энергии осаждаемых ионов 1 кэВ.

Температурная зависимость коэффициента диффузии представлялась в виде $D = D_0 \exp(-E_m/kT)$, где D_0 – диффузионный фактор и E_m – энергия активации миграции атомов азота.

При математическом моделировании азотирования железа D_0 равнялось $3 \cdot 10^{11} \text{ нм}^2/\text{с}$, E_m была взята равной 0.7773 эВ. Атомарная плотность Fe

$\rho = 84.906 \text{ ат/нм}^3$ [10]. Для хрома были взяты следующие величины: $D_0 = 10^{12} \text{ нм}^2/\text{с}$, $E_m = 1.193 \text{ эВ}$ и $\rho = 83.16 \text{ ат/нм}^3$ [10].

При моделировании сплава Fe-Cr $D_0 = 3 \cdot 10^{11} \text{ нм}^2/\text{с}$, $E_m = 1.02 \text{ эВ}$ и $\rho = 84.9 \text{ ат/нм}^3$. Величина энергии связи атома хрома с азотом E_b равнялась 0.3 эВ , что близко к значению E_b , используемому в работах [3,11]. Радиусы захвата и распада примесных комплексов равнялись соответственно $R_{tr} = 0.3$ и $R_{dec} = 0.48 \text{ нм}$.

Расчитываемый поток представлял собой суперпозицию из атомов азота различной энергии (для сравнения с экспериментальными данными, где поток составлял 55% молекулярных и 40% атомных однозарядных ионов [7]).

Результаты и обсуждение. Было проведено моделирование проникновения азота в железо и хром. На рис. 1 приведены данные компьютерных расчетов концентрации азота c в железе при температуре $T = 683\text{K}$, плотности ионного тока $j = 1.0 \text{ тА/см}^2$ и времени обработки 1 час. Как видно из рисунка, азот проникает в железо на расстояния до $1.5 \cdot 10^5 \text{ нм}$, при этом его концентрация на границе достигает значения 8 ат/нм^3 . Глубина проникновения азота существенно больше максимальной глубины профиля распределения имплантированного азота $G(x)$ (приблизительно 10 нм).

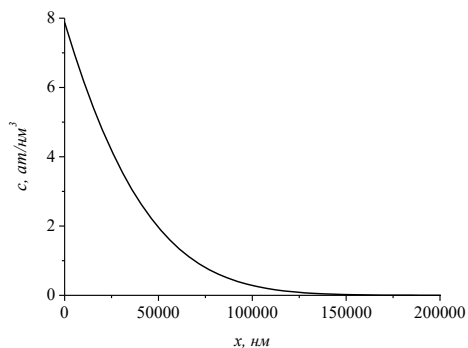


Рис. 1 – Концентрация азота в железе после ионного азотирования (температура $T = 683\text{K}$, плотность ионного тока $j = 1.0 \text{ тА/см}^2$, время обработки 1 час)

На рис. 2 при тех же значениях параметров приведен профиль распределения азота в хrome. В отличие от азотирования железа, азот проникает в хром на меньшие глубины (до $5 \cdot 10^3 \text{ нм}$), зато его концентрация на границе достигает значений в 55 ат/нм^3 .

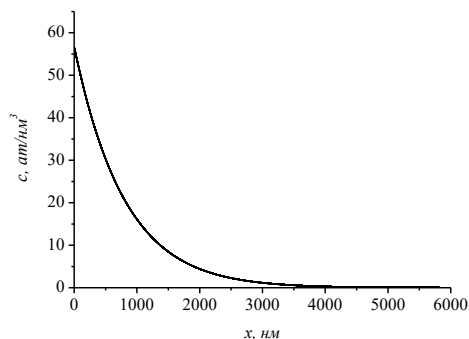


Рис. 2 – Концентрация азота в хроме после ионного азотирования (температура $T = 683K$, плотность ионного тока $j = 1.0 \text{ mA/cm}^2$, время обработки 1 час)

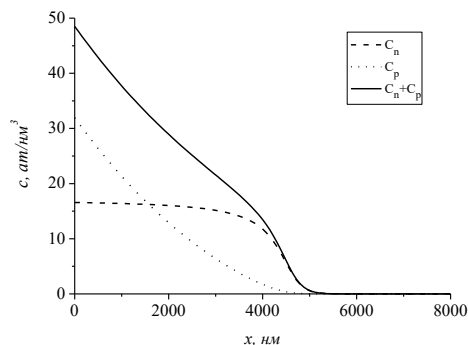


Рис. 3 – Концентрация азота в железе сплаве Fe + 18 ат %Cr после ионного азотирования (температура $T = 683K$, плотность ионного тока $j = 1.0 \text{ mA/cm}^2$, время обработки 1 час)

При тех же условиях облучения были проведены расчеты для сплава Fe + 18 ат %Cr. На рис. 3 приведены данные компьютерного моделирования проникновения азота в образец. Точками показана концентрация свободных атомов азота, пунктирной линией – атомов азота в составе примесных комплексов. Сплошная линия отображает суммарное количество внедренного азота c в зависимости от глубины образца. Из рисунка видно, что общая концентрация азота до глубины 4000 нм медленно уменьшается, а затем наблюдается ее резкий спад до нуля. Такое изменение концентрации обусловлено образованием комплексов азота с атомами хрома. Так же следует отметить, что глубина проникновения азота в сплав существенно меньше проникновения в чистое железо, но больше, чем в хром (примерно $5.5 \cdot 10^3 \text{ нм}$).

На рис. 4–6 приведены результаты расчетов зависимости количества азота внедренного на площади в 1 нм^2 при времени обработки 1 час для различных значениях ионного тока в железе, хrome и их сплаве соответственно. Из рисунков видно, что существует значение ионного тока, для которого наблюдается максимальное количество внедренного азота. Следует отметить, что для железа пик смещен к большим значениям плотности ионного тока, а у хрома – к меньшим значениям (так, для железа максимум наблюдается при плотности ионного тока 12 mA , для хрома – 0.5 mA , у сплава Fe + 18 ат %Cr – 1.35 mA).

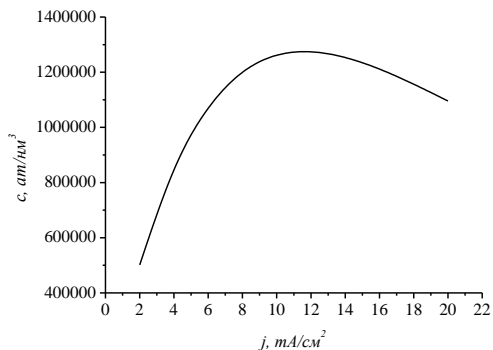


Рис. 4 – Изменение количества внедренного азота в железо в зависимости от плотности ионного тока (температура 673К, время обработки – 1 час)

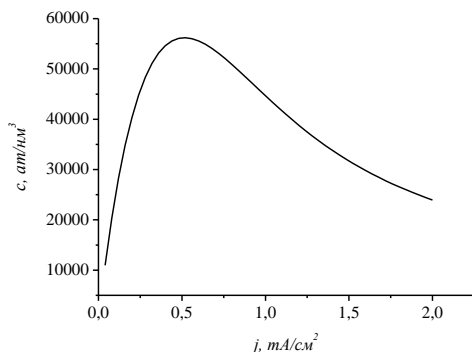


Рис. 5 – Изменение количества внедренного азота в хром в зависимости от плотности ионного тока (температура 673К, время обработки – 1 час)

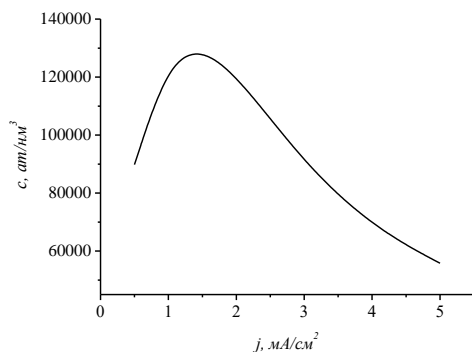


Рис. 6 – Изменение количества внедренного азота в сплав Fe + 18 ат %Cr в зависимости от плотности ионного тока (температура 673К, время обработки 1 час)

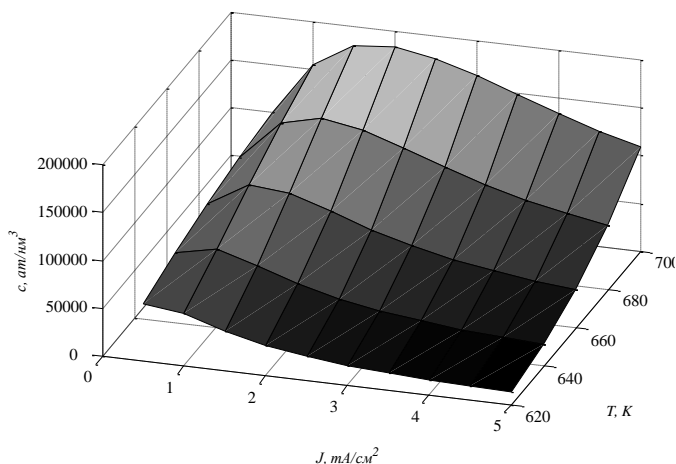


Рис. 7 – Изменение количества внедренного азота в сплав Fe + 18 ат %Cr в зависимости от плотности ионного тока и температуры (время обработки 1 час)

В данной работе также было исследовано изменение концентрации азота при различных температурах образца. На рис. 7 приведены расчеты зависимости концентрации азота от плотности ионного тока при различных температурах. Как видно из рисунка, при увеличении температуры образца, больше азота проникает в материал. При этом в зависимости от температуры значение плотности ионного тока, при котором наблюдается максимум концентрации азота, смещается к большим значениям.

В работах [5,12] было показано, что увеличение концентрации азота хорошо коррелирует с увеличением микротвердости поверхности материала, а увеличение глубины азотируемого слоя сопровождается увеличением износостойкости обрабатываемого изделия. Это позволяет использовать

проведенные расчеты концентрации азота в приповерхностной области для прогнозирования изменения поверхностных свойств материала.

Выводы. Разработанная модель ионного азотирования была использована для расчета проникновения азота в железо, хром и сплав Fe–Cr.

В работе рассчитаны значения концентрации азота в железе, хром и их сплав. Проникновение азота в материал существенно больше проективного пробега ионов. Проведенные расчеты показывают, что в железе азот проникает наиболее глубоко, а в сплаве занимает промежуточное значение между Fe и Cr.

Установлено, что в Fe, Cr и Fe–Cr–сплавах для различных условий ионной обработки существует оптимальное значение ионного тока, которое позволяет проводить процесс ионного азотирования с минимальными затратами. Для железа значение ионного тока, при котором наблюдается максимум, существенно больше, чем у хрома и сплава Fe–Cr.

Показано, что при увеличении температуры оптимальное значение ионного тока смещается к большим величинам.

Список литературы: 1. *Tsubouchi N., Mokuno Y., Chayahama A., et al.* Nitrogen diffusion in stainless steel during irradiation with mass-selected low-energy N⁺ ion beams // *Surf. Coat. Technol.* – 2005. – V. 196. – P. 271-274. 2. *Riviere J. P., Meheust P., Villain J. P.* Wear resistance after low-energy high-flux nitrogen implantation of AISI 304L stainless steel // *Surf. Coat. Technol.* – 2002. – V. 158-159. – P. 647-652. 3. *Moller W., Parascondola S., Telbisova T., et al.* Surface processes and diffusion mechanisms of ion nitriding of stainless steel and aluminium // *Surf. Coat. Tech.* – 2001. – V. 136. – P. 73-79. 4. *Dimitrov V. I., Haen J. D., Knuyt G. et al.* A method for determination of the effective diffusion coefficient and sputtering rate during plasma diffusion treatment // *Surf. Coat. Tech.* – 1998. – V. 99. – P. 234-241. 5. *Williamson D. L., Davs J. A. Wilbur P. J. et al.* Relative roles of ion energy, ion flux, and sample temperature in low-energy nitrogen ion implantation of Fe–Cr–Ni stainless steel // *Nucl. Instr. and Methods in Phys. Res.* – 1997. – V. 127-128. – P. 930-934. 6. *Марченко И. Г., Марченко И. И., Гузля А.Г., Неклюдов И. М.* Компьютерное моделирование ионного азотирования аустенитных сталей // *Физика и химия обработки материалов.* – 2005. – № 1. – С. 56-60. 7. *Riviere J.P., Meheust P., Villain J.P. et al.* High current density nitrogen implantation of an austenitic stainless steel // *Surf. Coat. Technol.* – 2002. – V. 158-159. – P. 99-104. 8. *Бартеньев О. В.* Математическая библиотека IMSL. Ч. 30. – М.: Диалог МИФИ, 2001. – 368 с. 9. <http://www.srim.org/> 10. *Физические величины: Справочник/ Ред. И.С. Григорьев, Е.З. Мейлихов.* – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232с. 11. *Parascondola S., Moller W., Williamson D.L.* The nitrogen transport in austenitic stainless steel at moderate temperatures // *Appl. Phys. Let.* – 2000. – V. 76. – P. 2194-2196. 12. *Figueroa C. A., Wisnivesky D., Hammer P. et al.* A comprehensive nitriding study by low energy ion beam implantation on stainless steel // *Surf. Coat. Technol.* – 2001. – V.146-147. – P. 405-409.

Поступила в редколлегию 28.11.07

Е. Л. ПИРОТТИ, д-р техн. наук,
В. А. ОТДЕЛЬНОВ, студент НТУ «ХПИ»

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В МАЛЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ СФЕРАХ (ПРИБЛИЖЕНИЯ ПЕРВОГО И ВТОРОГО ПОРЯДКА)

Стаття присвячена оцінці наближень нульового, першого та другого порядку на розподіл електромагнітного поля у малих сферах. Запропоновані необхідні моделі. Результати роботи у статті представлені графічно та можуть бути використані в розробках програмного забезпечення, де приділяють увагу вивченню розподілу СВЧ коливань та побудові біомедичних елементів, пристроїв та систем.

Статья посвящена оценке приближений нулевого, первого и второго порядка на распределение электромагнитного поля в малых сферах. Предложены необходимые модели. Результаты работы в статье представлены графически и могут быть использованы в разработках программного обеспечения, где уделяют внимание изучению распределения СВЧ колебаний и построению биомедицинских элементов, приборов и систем.

The article is devoted to evaluating the influence of null, first and second approximations on the distribution of electromagnetic field in small spheres. The necessary models are offered. Results of work are shown graphically can be used in other development of the software where they pay much attention to researching of the extra-high frequency oscillations and construction of biomedical elements, equipment and systems.

Введение. Исследование механизма взаимодействия электромагнитных полей с различными биологическими тканями невозможно без точной информации о распределении этих полей внутри объекта, ибо этот механизм непосредственно связан как с величиной, так и с ориентацией электрической и магнитной составляющих поля. Таким образом, определение электромагнитных полей (ЭМП) в таком сферическом элементе, как клетка, по заданному полю облучения является первоочередной задачей электромагнитной биологии. Так как экспериментальное исследование распределения внутренних полей провести практически невозможно, встает вопрос о решении этой задачи теоретическими методами.

Существенным является и то, что известные строгие и приближенные методы приводят очень часто к громоздким вычислениям, связанным с весьма серьезными трудностями математического характера и с использованием мощной вычислительной техники. В то же время прикладная сторона электромагнитного воздействия на организм человека, связанная с конкретными техническими разработками специальных медицинских приборов и систем, требует как простых подходов, так и простых решений поставленных задач, которыми бы могли пользоваться лица, не имеющие специальной подготовки в области электродинамики и математики.

Будем исследовать дифракцию электромагнитных волн на многослойных малых телах не на основе уравнений Максвелла в дифференциальной форме, а на основе интегральных уравнений, эквивалентных уравнениям Максвелла совместно с граничными условиями на границе слоев и самого тела с окружающей средой.

Такое решение можно получить для тел, размеры которых малы по сравнению с длиной падающей волны. В этом случае поля внутри и вне рассеивающего тела можно разложить по малому параметру a/λ , где a - линейные размеры тела, λ - длина рассеиваемой волны, и построить соотношения для различных приближений внутренних полей.

Пусть пространство, в котором находится облучаемый объект, однородно и характеризуется диэлектрической и магнитной проницаемостями ε_c и $\mu_c = \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{А}^2}{\text{В}}$. Тогда электромагнитное поле \vec{E} и \vec{H} во всех точках этого пространства будет описываться уравнениями Максвелла:

$$\begin{cases} \text{rot}\vec{E} = -\mu_0 \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}; \\ \text{rot}\vec{H} = \varepsilon_c \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}. \end{cases} \quad (1)$$

После преобразований получаем:

$$\begin{cases} \text{graddiv}\vec{E} - \Delta\vec{E} - k^2\vec{E} = -i\omega\mu_0\vec{g}; \\ \text{graddiv}\vec{H} - \Delta\vec{H} - k^2\vec{H} = \text{rot}\vec{g}, \end{cases} \quad (2)$$

где $\vec{g} = i\omega(\varepsilon - \varepsilon_c)\vec{E}$.

Используя функцию Грина, можно привести уравнения к интегральным уравнениям Максвелла совместно с граничными условиями на границе раздела двух сред:

$$\begin{cases} \vec{E}(\vec{r}) = \vec{E}_0(\vec{r}) + \frac{1}{4\pi} (\text{graddiv} + k^2) \int_V \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_c} - 1 \right) \vec{E}(\vec{r}') f(|\vec{r} - \vec{r}'|) d\vec{r}'; \\ \vec{H}(\vec{r}) = \vec{H}_0(\vec{r}) + \frac{i\omega\varepsilon_c}{4\pi} \text{rot} \int_V \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_c} - 1 \right) \vec{E}(\vec{r}') f(|\vec{r} - \vec{r}'|) d\vec{r}', \end{cases} \quad (3)$$

где $f(|\vec{r} - \vec{r}'|) = \frac{e^{-ik|\vec{r} - \vec{r}'|}}{|\vec{r} - \vec{r}'|}$, $\vec{E}_0(\vec{r})$ и $\vec{H}_0(\vec{r})$ - электрическое и магнитное поля соответственно, которые были бы в точке \vec{r} при отсутствии биологического рассеивателя.

Рассеянную волну можно выразить через электрический и магнитный потенциалы Герца \vec{P}^e и \vec{P}^m с помощью соотношений:

$$\begin{cases} \vec{E}_{\partial\Omega\vec{n}\vec{n}} = (\text{grad div} + k^2)\vec{P}^e - i\omega\mu_0 \text{rot}\vec{P}^m, \\ \vec{H}_{\partial\Omega\vec{n}\vec{n}} = (\text{grad div} + k^2)\vec{P}^m + i\omega\varepsilon_c \text{rot}\vec{P}^e. \end{cases} \quad (4)$$

Сравнивая (4) с (3), можно прийти к выводу, что:

$$\vec{P}^e = \frac{1}{4\pi} \int_V \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_c} - 1 \right) \vec{E}(\vec{r}') f(|\vec{r} - \vec{r}'|) d\vec{r}'. \quad (5)$$

Так как зависимость электрического и магнитного поля от \vec{r} связана с множителем $e^{-ik|\vec{r} - \vec{r}'|}$, то, воспользовавшись степенным рядом для этой функции:

$$e^{-ik|\vec{r} - \vec{r}'|} = 1 - ik|\vec{r} - \vec{r}'| + \frac{(ik|\vec{r} - \vec{r}'|)^2}{2!} - \dots, \quad (6)$$

получим:

$$\begin{aligned} \vec{E}(\vec{r}) &= \vec{E}^{(0)}(\vec{r}) + (ik)\vec{E}^{(1)}(\vec{r}) + (ik)^2\vec{E}^{(2)}(\vec{r}) + \dots; \\ \vec{H}(\vec{r}) &= \vec{H}^{(0)}(\vec{r}) + (ik)\vec{H}^{(1)}(\vec{r}) + (ik)^2\vec{H}^{(2)}(\vec{r}) + \dots. \end{aligned} \quad (7)$$

Кроме того:

$$f(|\vec{r} - \vec{r}'|) = \frac{1}{|\vec{r} - \vec{r}'|} - ik - \frac{k^2}{2}|\vec{r} - \vec{r}'| + \dots. \quad (8)$$

Приравнивая слагаемые с одинаковыми степенями (ik) слева и справа, получим систему уравнений для нулевого, первого и других приближений. Так, для нулевого приближения (случай квазистатики) имеем:

$$\begin{aligned} \vec{E}^{(0)}(\vec{r}) &= \vec{E}_0^{(0)}(\vec{r}) + \frac{1}{4\pi} \text{grad div} \int_V \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_c} - 1 \right) \vec{E}^{(0)}(\vec{r}') \frac{1}{|\vec{r} - \vec{r}'|} d\vec{r}'; \\ \vec{H}^{(0)}(\vec{r}) &= \vec{H}_0^{(0)}(\vec{r}). \end{aligned} \quad (9)$$

Для первого приближения:

$$\begin{aligned}\bar{E}^{(1)}(\bar{r}) &= \bar{E}_0^{(1)}(\bar{r}) + \frac{1}{4\pi} \text{graddiv} \int_v \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_c} - 1 \right) \left[\bar{E}^{(1)}(\bar{r}') \frac{1}{|\bar{r} - \bar{r}'|} - \bar{E}^{(0)}(\bar{r}') \right] d\bar{r}'; \\ \bar{H}^{(1)}(\bar{r}) &= \bar{H}_0^{(1)}(\bar{r}) + \frac{1}{4\pi Z_c} \text{rot} \int_v \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_c} - 1 \right) \bar{E}^{(0)}(\bar{r}') \frac{1}{|\bar{r} - \bar{r}'|} d\bar{r}',\end{aligned}\quad (10)$$

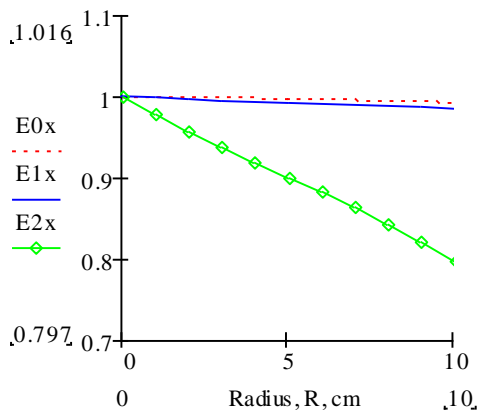
где $Z_c = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_c}}$ - характеристическое сопротивление окружающей биообъект среды. Для второго приближения:

$$\begin{aligned}\bar{E}^{(2)}(\bar{r}) &= \bar{E}_0^{(2)}(\bar{r}) + \frac{1}{4\pi} \text{graddiv} \int_v \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_c} - 1 \right) \left[\bar{E}^{(2)}(\bar{r}') \frac{1}{|\bar{r} - \bar{r}'|} + \right. \\ &+ \bar{E}^{(0)}(\bar{r}') \frac{|\bar{r} - \bar{r}'|}{2} - \bar{E}^{(1)}(\bar{r}') \left. \right] d\bar{r}' - \frac{1}{4\pi} \int_v \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_c} - 1 \right) \bar{E}^{(0)}(\bar{r}') \frac{d\bar{r}'}{|\bar{r} - \bar{r}'|}; \\ \bar{H}^{(2)}(\bar{r}) &= \bar{H}_0^{(2)}(\bar{r}) + \frac{1}{4\pi Z_c} \text{rot} \int_v \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_c} - 1 \right) \left[\bar{E}^{(1)}(\bar{r}') \frac{1}{|\bar{r} - \bar{r}'|} - \bar{E}^{(0)}(\bar{r}') \right] d\bar{r}'.\end{aligned}\quad , \quad (11)$$

Так как методика решения уравнений, определяющих электромагнитные поля одинакова, рассмотрим нулевое приближение. В качестве характерной формы для тел, удовлетворяющих требованию $a/\lambda \ll 1$, можно считать эллипсоид. В этом случае для решения интегральных уравнений (3) целесообразно ввести вспомогательную функцию W , являющуюся ньютоновским потенциалом однородного эллипсоида:

$$W(\bar{r}) = \int_v \frac{d\bar{r}'}{|\bar{r} - \bar{r}'|}.\quad (12)$$

Итак, в том случае, если ньютоновский потенциал есть квадратичная функция координат, то нулевое приближение для электромагнитного поля внутри биологического объекта будет иметь тот же характер, что и внешнее поле. Если внешнее поле однородно, то и внутреннее также однородно. Этот же вывод касается и приближений более высокого порядка. Учитывая всё вышеизложенное, и, перейдя в сферическую систему координат, можно получить значения электрической составляющей электромагнитного поля в рассматриваемом сферическом элементе.



Составляющие нулевого, первого и второго приближений

По рисунку можно сделать следующий однозначный вывод: при решении задач подобного типа нельзя ограничиваться нулевым и первым приближением. В нулевом приближении график имеет вид прямой, почти параллельной оси абсцисс, в первом же значения уточнены, однако именно второе приближение даёт более правдоподобные результаты, где происходит колебательный процесс.

Выводы. Ранее, при учёте только нулевого приближения, считалось, что электромагнитное поле распределяется равномерно в подобных телах, то есть, амплитуда электрического поля не изменяется по всей длине радиуса, считая процесс квазистатичным. Однако вычисления показывают, что уже во втором приближении происходит изменение амплитуды. Можно предположить, что колебания амплитуды в более высоких приближениях будут более ярко выражены. Полученные результаты позволяют оценивать амплитуды составляющих поля не только, когда $a/\lambda = 0.1$, но и когда длина волны приближается к геометрическим размерам тела.

Список литературы: 1. Хижняк Н.А. Применение интегральных уравнений электродинамики к решению дифракционных задач // Ученые записки ХГУ. Труды радиофизического факультета. - 1957. - Т.2. - С. 13-32. 2. Хижняк Н.А. Функция Грина уравнений Максвелла для неоднородных сред // ЖТФ. - 1958. - Т. 28, № 7. - С. 1592 - 1609. 3. Пиротти Е.Л. Внутренние электромагнитные поля в биообъектах, имеющих n -слоистую структуру // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. - Харьков: ХГТУРЭ. - 1997. - Вып. 106. - С. 154 - 159. 4. Кальницкий Л.А., Добротин Д.А., Жевержеев В.Ф. Специальный курс высшей математики. - М.: Высшая школа, 1976. - 389 с.

Поступила в редколлегию 30.11.07

Д. Н. НУРМАХМАТОВ, ГидроОГК, (г. Москва)

ЛОКАЛЬНО-ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СЛОЖНЫМИ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗИРУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ

Розглядається задача оперативного управління електричною потужністю, що виробляється, та рівнями води в каскадах водосховищ та ГЕС. З застосуванням методу прогнозуючих моделей знайдено локально-оптимальне управління гідроенергетичною системою.

Рассматривается задача оперативного управления вырабатываемой электрической мощностью и уровнями воды в каскадах водохранилищ и ГЭС. С использованием метода прогнозирующих моделей найдено локально-оптимальное управление гидроэнергетической системой.

The problem of operative control by the produced electric power and water levels in the cascades of storage reservoirs and hydropower stations is considered. Using the predictive model control method the locally-optimal control of the hydropower system is found.

Введение. Одной из важнейших задач современной энергетики является повышение качества процессов автоматизированного управления сложными гидроэнергетическими системами и комплексами, в том числе каскадами водохранилищ и гидроэлектростанций (ГЭС), позволяющими осуществлять эффективное регулирование речного стока для обеспечения возможности реализации неравномерного режима работы ГЭС с целью покрытия пиковой части графика нагрузок и маневрирования вырабатываемой мощностью.

Повышение эффективности функционирования гидроэнергетических систем с каскадами ГЭС в значительной мере связано с совершенствованием оперативно-диспетчерского управления их работой с целью обеспечения оперативной корректировки планов-графиков выработки электроэнергии на станциях при изменяющихся условиях эксплуатации каскада [1, 2]. При этом система оперативного управления должна обеспечивать максимальное приближение значений генерируемой мощности к заданному диспетчерскому графику нагрузок, в том числе и в пиковых режимах, и поддержание заданных уровней воды в водохранилищах каскада в условиях нестационарного притока и стока с учетом различных режимных и технологических ограничений. Управление непосредственно осуществляется путем изменения расходов воды через гидротурбины ГЭС.

От качества процессов управления водохранилищами каскада в значительной мере зависит надежность и безопасность эксплуатации всей гидроэнергетической системы, а также возможность обеспечения выполнения заданного графика выработки электроэнергии гидроэлектростанциями в изменяющихся условиях эксплуатации, в том числе резких непредвиденных изменений уровня потребления вырабатываемой электрической мощности.

Анализ состояния проблемы. Различные подходы к решению задач оптимального управления гидроэнергетическими системами с каскадами водохранилищ рассматривались в работах [3,4]. С использованием принципа оптимальности и метода динамического программирования в указанных работах получены функциональные уравнения для оптимального управления.

В работе [5] предложено решение рассматриваемой задачи на основе дискретного принципа максимума с учетом наличия возмущений, обусловленных изменениями речного стока. Следует подчеркнуть, что применение указанных методов связано с необходимостью реализации достаточно сложных вычислительных процедур, обладающих высокой чувствительностью к погрешностям задания исходных данных.

В настоящей работе для решения задачи автоматизированного оперативного управления производством электроэнергии и уровнями воды в системе водохранилищ предлагается использовать простой и эффективный в вычислительном отношении метод локально-оптимального управления [6] с прогнозирующими моделями [7,8], обеспечивающий достаточно высокое качество управления в условиях медленно меняющихся возмущений.

Постановка задачи управления гидроэнергетической системой. Рассматривается задача оперативного оптимального управления сложной гидроэнергетической системой, состоящей из M взаимосвязанных гидроэнергетических комплексов “водохранилище - ГЭС”. Под решением задачи дискретного оперативного управления гидроэнергетической системой будем понимать нахождение последовательности требуемых значений расходов воды через гидротурбины каждого гидроэнергетического комплекса $f_i(n)$ на начало очередного $n+1$ интервала (шага) управления. В качестве цели управления выступают требования максимального приближения вырабатываемой мощности к заданному диспетчерскому графику нагрузок при выполнении технологических требований по поддержанию заданных значений уровня воды в водохранилищах и ограничений по допустимому расходу воды и скорости его изменения.

Зависимость генерируемой мощности от расхода воды через гидротурбины для каждой ГЭС задается рабочими характеристиками гидроэлектростанций $P_i(f_i(n))$, $i = \overline{1, M}$, которые могут быть с достаточной точностью аппроксимированы линейными зависимостями $P_i(f_i(n)) = r_i f_i(n)$, определяемыми путем обработки экспериментальных данных.

Задача управления решается с учетом технологических ограничений на допустимые значения уровней расходов и скоростей их изменения:

$$f_i^- \leq f_i(n) \leq f_i^+, \Delta f_i^- \leq \Delta f_i(n) \leq \Delta f_i^+, i = \overline{1, M}, \quad (1)$$

где $\Delta f_i(n) = f_i(n+1) - f_i(n)$. Тогда в качестве управлений целесообразно выбрать величины, пропорциональные приращениям изменяемых расходов

через гидротурбины $c_i u_i(n) = \Delta f_i(n)$, $u_i^- \leq u_i(n) \leq u_i^+$, $u_i^- = c_i^{-1} \Delta f_i^-$, $u_i^+ = c_i^{-1} \Delta f_i^+$, где коэффициенты пропорциональности c_i определяются передаточными характеристиками гидравлических затворов.

Динамика изменения уровней воды в водохранилищах определяется балансом притоков и расходов воды, в том числе неуправляемых стоков и утечек, управляемых водосбросов и расходов через гидротурбины. При этом модель управляемой гидроэнергетической системы может быть представлена в виде системы векторно-матричных разностных уравнений относительно последовательности моментов времени n принятия управляющих решений:

$$\begin{aligned} h(n+1) &= Ah(n) + Bf(n) + v(n), \quad n = 0, 1, \dots, \\ f(n+1) &= f(n) + Cu(n), \quad v(n) = Bw^-(n) - w^+(n), \end{aligned} \quad (2)$$

где $h(n)$ - вектор текущих значений уровней воды в водохранилищах каскада, $w^+(n)$, $w^-(n)$ - векторы суммарных притоков и расходов, определяемых речным стоком, за $n+1$ интервал управления соответственно,

$f(n)$ - вектор непосредственно управляемых расходов воды через турбины гидрогенераторов,

$u(n)$ - вектор управляющих воздействий,

$v(n)$ - вектор эквивалентного возмущения уровней водохранилищ.

Начальные условия $h(0) = h_0$, $f(0) = f_0$ предполагаются заданными.

Параметры модели объекта управления (2) задаются матрицами потерь $A = \text{diag}\{a_1, \dots, a_M\}$, гидрологических связей $B = (\delta_{ij} b_{ij})$ и коэффициентов передачи исполнительных систем $C = \text{diag}\{c_1, \dots, c_M\}$, где a_i - коэффициенты, учитывающие потери воды, связанные с испарением с водной поверхности и с фильтрацией из водохранилищ, b_{ij} - коэффициенты, описывающие потери воды вдоль русла реки между соответствующими водохранилищами. Примем, что $\delta_{ij} = 1$, если j -тое водохранилище непосредственно связано с i -тым, и $\delta_{ij} = 0$ в противоположном случае. Очевидно, что для каскадов водохранилищ $\delta_{ij} = 0$ для всех $j < i$ и $\delta_{ii} b_{ii} = -1$.

Введем в рассмотрение векторы требуемых значений уровней воды в водохранилищах h^* и значений мощностей P^* , генерируемых отдельными гидроэнергетическими комплексами. Указанные требуемые значения считаются заданными и могут быть как постоянными, так и изменяющимися в процессе управления.

Сформируем критерий оптимальности процесса управления с фиксированным горизонтом N вида:

$$J_N(n) = \sum_{k=n+1}^{n+N} [\lambda \omega_1(k) - (1-\lambda) \omega_2(k)], \quad (3)$$

$$\omega_1(k) = \sum_{i=1}^M [r_i f_i(k) - P_i^*(k)]^2, \quad \omega_2(k) = \sum_{i=1}^M [h_i(k) - h_i^*(k)]^2,$$

где $\mathbf{U}_N(n) = \{u(n), \dots, u(n+N-1)\}$ - составной вектор управления.

Весовой коэффициент $0 < \lambda < 1$, определяющий относительную важность составляющих критерия (3), определяется экспертным путем.

Тогда задача оптимального управления с фиксированным горизонтом N может быть сформулирована как задача математического программирования $J_N(n) \rightarrow \min_{\mathbf{U}_N(n)}$, включающая в себя минимизацию критерия оптимальности процесса управления (3) с учетом технологических ограничений (1).

Решение задачи методом локально-оптимального управления. Вводя составной вектор состояния системы $x(n) = (h^T(n) \ f^T(n))^T$, перепишем уравнения динамики (2) в эквивалентной матричной форме:

$$x(n+1) = Fx(n) + Gu(n) + Hv(n),$$

$$F = \begin{pmatrix} A & B \\ 0 & I_M \end{pmatrix}, \quad G = \begin{pmatrix} 0 \\ C \end{pmatrix}, \quad H = \begin{pmatrix} I_M \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где I_M - единичная матрица размера $M \times M$, τ - знак транспонирования.

В соответствии с общей методикой локально-оптимального управления [6], введем локальный критерий оптимальности с минимальным горизонтом управления, обеспечивающим непосредственную зависимость переменных состояния от управляющих воздействий. Тогда для уравнений модели (4) критерий локальной оптимальности процесса управления примем в виде:

$$J_{\text{лок}}(n) = \lambda \|f(n+1) - R^{-1}P^*\|^2 + (1-\lambda) \|h(n+2) - h^*\|^2 + \alpha \|u(n)\|^2 =$$

$$= \lambda \|E_f x(n+1) - R^{-1}P^*\|^2 + (1-\lambda) \|E_h x(n+2) - h^*\|^2 + \alpha \|u(n)\|^2, \quad (5)$$

где матрицы $E_f = (0 \ I_M)$, $E_h = (I_M \ 0)$, $R = \text{diag}\{r_1, \dots, r_M\}$, а весовой коэффициент α определяет штрафную составляющую критерия за превышение значениями управлений заданных ограничений.

Вначале будем предполагать, что уровни речного стока, определяющие эквивалентные возмущения $v(n)$ известны. Тогда, минимизируя критерий локальной оптимальности (5) по вектору управляющих воздействий $u(n)$ в момент времени n с учетом уравнений динамики (4), получим закон локально-оптимального управления в следующем виде:

$$\begin{aligned}
u^*(n) &= W^{-1}(\alpha)(\lambda C^T R^{-1} P^* + (1-\lambda)C^T B^T (h^* - Av(n) - v(n+1)) - Dx(n)), \\
W(\alpha) &= \alpha I_M + C^T (\lambda I + (1-\lambda)B^T B)C, \\
D &= \left((1-\lambda)C^T B^T A^2 \quad \lambda C^T + (1-\lambda)C^T B^T (I_M + A)B \right)
\end{aligned} \tag{6}$$

Для полученного закона управления уравнение замкнутой системы приобретает следующий вид:

$$\begin{aligned}
x(n+1) &= F_0 x(n) + G_p P^* + G_h h^* + H_0 v(n) + H_1 v(n+1), \\
F_0 &= F - GW^{-1}(\alpha)D, \quad G_p = \lambda GW^{-1}C^T R^{-1}, \quad G_h = (1-\lambda)GW^{-1}C^T B^T, \\
H_0 &= H - (1-\lambda)GC^T B^T A, \quad H_1 = -(1-\lambda)GC^T B^T.
\end{aligned} \tag{7}$$

Полученное уравнение позволяет установить граничное значение весового коэффициента α , при котором сохраняется устойчивость замкнутой системы, и оценить достижимую точность управления для заданного диапазона изменения задающих и возмущающих воздействий.

Синтез прогнозирующих моделей. Для реализации предложенного закона локально-оптимального управления (6) соответствующие значения векторов возмущений $v(n)$, определяемых уровнем речного стока, должны быть заменены их оценками, полученными на основе последовательных измерений состояний системы. Заметим, что непосредственно текущее значение вектора возмущения может быть определено на основе измеряемых значений вектора состояния системы лишь с запаздыванием на один шаг по отношению к текущему шагу управления:

$$v(n-1) = h(n) - Ah(n-1) - Bf(n-1) = E_h x(n) - (AE_h - BE_f)x(n-1). \tag{8}$$

Таким образом, для практической реализации закона управления (6) необходимо использовать прогнозируемые оценки вектора возмущения. Для построения прогнозирующей модели воспользуемся моделью речного стока в виде волнового процесса, имеющего вид колебательной непериодической функции. Указанные процессы могут быть представлены в виде суперпозиции гармоник с произвольными амплитудами и частотами, возможно изменяющимися во времени. Такой способ описания наиболее адекватен имеющимся данным о характере изменения речного стока, содержащего нестационарные колебательные компоненты.

В рамках предложенного метода i -тая компонента вектора возмущения $v_i(n)$ представляется в виде (далее для простоты записи индекс i опускаем):

$$v(n) = \sum_{j=0}^{m-1} [a_j \cos \omega_j n + b_j \sin \omega_j n] + \xi_k, \tag{9}$$

где m - число учитываемых в модели гармонических составляющих с неизвестными произвольными частотами $0 < \omega_j = 2\pi f_j T_0 < \pi$,

T_0 - период дискретизации по времени, определяемый длительностью интервала управления,

$\xi(n)$ - компонента погрешности измерений, которая представляет собой дискретный случайный процесс с нулевым средним и ограниченным вторым моментом.

В соответствии с предложенной в [9] методикой, представим процесс (9) в виде линейной авторегрессионной модели:

$$\begin{aligned} v(n) &= \sum_{j=0}^{m-1} \beta_j (v(k+j-m) + v(k-j-m)) - v(k-2m) + \xi(n) = \\ &= \beta^T v(k, m) + v(k-2m) + \xi(n), \end{aligned} \quad (10)$$

где $v(k, m) = (2v(n-m), v(n-m+1) + v(n-m-1), \dots, v(n-1) + v(n-2m+1))^T$ - вектор предыстории прогнозируемого процесса,

$\beta^T = (\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_{m-1})$ - подлежащий оцениванию вектор параметров модели.

Для решения задачи идентификации авторегрессионной модели (10) используется стандартный квадратичный критерий идентификации вида:

$$J_{\text{ид}} = \sum_{k=2m}^{N-1} [v(k) + v(k-2m) - \beta^T v(k, m)]^2. \quad (11)$$

Для получения рекуррентных оценок нестационарных параметров прогнозирующей модели $\hat{\beta}(n)$ в режиме реального времени на основе критерия идентификации (8) целесообразно использовать рекуррентный алгоритм идентификации с переменным шагом [9]:

$$\begin{aligned} \hat{\beta}(n) &= \hat{\beta}(n-1) + [v(n) + v(n-2m) - \hat{\beta}^T(n-1)v(k, m)]v(k, m)r^{-1}(n), \\ r(n) &= \gamma(n)r(n-1) + \|v(k, m)\|^2, \quad 0 < \gamma(n) < 1, \end{aligned} \quad (12)$$

где выбором параметра настройки шага $\gamma(n)$ алгоритма можно регулировать соотношение между его следящими и фильтрующими свойствами.

В результате прогнозирующая модель для каждой компоненты возмущения, обеспечивающая прогноз возмущения $\hat{v}(n+p)$ на p шагов, может быть представлена в следующем виде:

$$\hat{v}(n+p) = \hat{\beta}^T(n)\hat{v}(n+p, m) - v(n+p-2m), \quad p \geq 1, \quad (13)$$

где в составе вектора $\hat{v}(k+p, m)$ элементы $v(k)$, $n \leq k \leq n+p-1$ заменяются соответствующими одношаговыми прогнозными значениями, рекуррентно вычисляемыми в соответствии с (13).

Выводы. В работе обоснована возможность и показана эффективность применения метода локально-оптимального прогнозирующего управления в задачах управления гидроэнергетическими системами и каскадами водохранилищ и получены явные выражения для законов управления. Рассмотренная методика позволяет осуществить идентификацию и прогнозирование процессов речного стока с учетом характерных особенностей динамики процессов, определяемых нестационарным и колебательным характером изменений стока.

Применение предложенного метода позволяет значительно упростить решение задачи синтеза закона управления, обеспечить получение требуемых свойств замкнутой системы, в том числе устойчивости и качества переходных процессов, снизить степень влияния возмущений, обусловленных влиянием изменения речного стока. Это, в свою очередь, позволит повысить качество процессов автоматизированного управления работой гидроэнергетических комплексов на основе рационального согласования требований по обеспечению выполнения заданного диспетчерского графика производства электроэнергии и требований обеспечения надежности и безопасности функционирования каскада водохранилищ вследствие поддержания заданного уровня воды в водохранилищах.

Дальнейшее развитие предложенной методики может быть связано с разработкой методов многошагового локально-оптимального управления с учетом дополнительных технологических ограничений и учетом факторов неопределенности при решении задачи синтеза закона управления.

Список литературы: 1. Цветков Е.В., Алябышева Т.М., Парфенов Л.Г. Оптимальные рабочие режимы гидроэлектростанций в электроэнергетических системах. - М.: Энергоатомиздат. - 1984. - 265 с. 2. Гидроэнергетика / А.Ю. Александровский, М.И. Кнеллер, Д.Н. Коробова и др.; Под ред. В.И. Обрезкова. - 2-е изд. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 608 с. 3. Turgeon A. Optimal operation of multi-reservoir power systems with stochastic inflows // Water Resources Research. - 1980. - Vol. 16 (2). - pp. 275-283. 4. Glatfelder A., Huser L. Hydropower reservoir level control: a case study // Automatica. - 1993. - Vol. 29. - P. 1203-1214. 5. Л.М. Любчик, Д.Н. Нурмахматов, С.А. Шпатенко. Оптимальное оперативное планирование работы сложных гидроэнергетических систем // Восточно-европейский журнал передовых технологий. - 2006. -6/2. (24). - С. 12-15. 6. Kelmans G.K., Poznyak A.S., Chernitser A.V. Adaptive locally optimal control // Int. J. System Science. - 1981. - vol. 12. - No 2. - P. 235-254. 7. Camacho, E.F., C. Bordons. Model Predictive Control, Springer, London. - 1999. 8. Mayne, D.Q., J.B. Rawlings, C.V. Rao and P.O.M. Scokaert. Constrained Model Predictive Control: Stability and Optimality // Automatica. - V. 36. - 2000. - P. 89-814. 9. Любчик Л.М., Костюк О.В. Адаптивное прогнозирование волновых неперiodических временных рядов // Вісник Харківського державного політехнічного університету. - Харків: ХДПУ. - 1999. - Випуск 51. - С. 26-31.

Поступила в редколлегию 15.11.07

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

ЗАДАЧИ ПРОЦЕССА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЙ И ВАКУУМОМ ПЕЧИ ПРОКАТНОГО СТАНА

В статті наведена необхідність застосування інтелектуальної системи управління в процесі управління нагрівом та вакуумом в печі прокатного стану. Наведено опис печі. Описані задачі інтелектуального управління печі стану. Для реалізації системи управління вибрані нейромереживі системи управління. Описано продовження роботи.

В статье приведена необходимость применения интеллектуальной системы управления в процессе управления нагревом и вакуумом в печи прокатного стана. Приведено описание печи. Описаны задачи интеллектуально управления печи стана. Для реализации системы управления выбраны нейросетевые системы управления. Описано продолжение работы.

Necessity of using an intelligent control system into the heating and vacuum control in the rolling mill kiln has been proposed in the article. The kiln description has been circumscribed. Intelligent control objectives in the kiln are described. A neuronal net control system has been chosen as implementation. Next steps in the work have been described.

Введение и актуальность. В современных условиях использование систем управления является неотъемлемой частью любого технологического процесса. Особенно это касается сложных энергоемких производств с большим объемом выпуска продукции, примером которых есть горячая прокатка в вакууме. Основой таких процессов, как правило, выступают тепловые процессы, которые и формируют основные затраты и показатели качества продукции и происходят в печах нагрева.

Обзор литературных источников. В ходе разработки интеллектуальной системы управления прокатным станом [1,2] выявлена необходимость интеллектуализации процесса управления температурой и вакуумом печи прокатного стана. Также в результате выполнения работ [1,2] были сделаны такие выводы:

Согласно результатам исследований, проведенных при выполнении дипломной работы, можно сделать такие выводы:

- на практике объекты управления, которые плохо формализуются, свойства которых априори плохо известны или изменяются в процессе функционирования, являются типичными. Стан горячей прокатки пакетов металлических пластин относится к данной категории объектов;
- существенным образом повысить эффективность управления систем управления в металлургической промышленности может интеллектуализация управления;

- примеры, имеющиеся в литературе, указывают на некоторые неточности и невозможности применения технологий интеллектуализации систем управления в промышленности, что дает повод к более тщательному выбору этих технологий.

Актуальность выявленной необходимости также свидетельствует и результаты изучения периодической литературы, такой как «Промышленные АСУ и контроллеры», “Control Magazine” и другие [3-5]. В этих изданиях особое внимание отводится проблемам интеллектуального управления, т.к. как показывает практика системы управления, основанные на традиционном подходе, не обеспечивают требуемого качества.

Задачи управления. Основная задача прокатного производства состоит в обеспечении требуемого качества проката, т. е. в обеспечении соответствия геометрических размеров, формы, физико-механических свойств и состояния поверхности проката заданным требованиям. Технологический процесс производства проката включает следующие основные технологические операции: подготовка металла к прокатке; нагрев металла перед прокаткой (при горячей прокатке); прокатка металла; отделка проката. Процесс производства проката может осуществляться в несколько стадий, каждая из которых включает операции подготовки, нагрева и прокатки металла.

Прокатка металла является основной технологической операцией процесса производства проката. Однако технологическая операция нагрева металла перед прокаткой играет важную роль в производстве, т.к. именно эта операция обеспечивает возможность осуществления прокатки и получение требуемого качества проката.

Приведем краткое описание печи прокатного стана и нагревательного элемента печи. В качестве нагревателя заготовки применен нагреватель резистивного типа из молибденовой проволоки, уложенный на керамический короб. В качестве теплоизоляции применены корундовые плиты. Поддон печи, по которому перемещается заготовка, изготовлен из вольфрамовых прутков, размещенных в кассете. Цилиндрический корпус вакуумной печи изготавливается из нержавеющей стали, с рубашкой водяного охлаждения. На корпусе вакуумной печи установлены аварийный клапан для предотвращения взрыва при попадании воды на печь, а также клапан для подсоединения к вентиляции. Вакуум в камере печи достигается с помощью диффузионного насоса и сообщается с камерой печи через вакуумный затвор. Корпус печи размещен на подвижной раме, имеющей платформу, на которой смонтирован на виброизоляции прокладке форвакуумный насос.

На корпусе камеры печи размещена рукоятка перемещения шторок печи с путевыми выключателями, датчики вакуума, тоководы и гермоводы для термопар. С торцов камера закрыта двумя крышками, установленными на петлях. Вакуумная печь смонтирована на подвижной платформе, позволяющей производить откат вакуумной печи при проведении ремонтных работ рабочей клетки. Между вакуумной печью и рабочей клетью установлен

вакуумный затвор, позволяющий без нарушения вакуума в печи производить наладочные или ремонтные работы в других камерах прокатного стана.

Существующая система управления нагревом печи в прокатном стане реализованная на основе ПИД - регулятора обладает рядом недостатков, что и является причиной поиска наиболее подходящей технологией управления. Изучение проблемы выявило такие особенности, которые необходимо учитывать при разработке и реализации системы управления, а также непосредственно при самом управлении:

- большие затраты энергии,
- высокие требования для поддержания пространственно-временных температурных режимов,
- сильные взаимосвязи между изменением состояния в других агрегатах прокатного стана,
- инерционность,
- высокая вероятность и регулярность выхода из строя нагревательных элементов в процессе эксплуатации печи,
- различный состав материала (заготовки), подвергающегося нагреву,
- специфичность нагревательного элемента печи.

Требования, предъявляемые к системам управления показателями процесса прокатки, в свою очередь, обуславливают определенные требования к технологическому процессу прокатки и технологическому оборудованию. Требования к технологическому процессу включают, прежде всего, допустимые пределы изменения показателей качества исходной заготовки, а также энергоносителей и других материалов, используемых в процессе прокатки. Общими требованиями к технологическому оборудованию являются достаточная мощность, быстродействие и надежность, а также возможность установки, эксплуатации и обслуживания технических средств автоматизации.

Автоматизированное управление показателями процесса прокатки обеспечивает увеличение доли проката высших категорий качества по геометрии и механическим свойствам способствует расширению сортамента проката, создавая условия для производства таких видов проката выпуск которых при ручном управлении процессом прокатки невозможен. Достижимое при автоматическом управлении процессом прокатки повышение скорости темпа прокатки, сокращение времени настройки и перестройки стана, а также сокращение времени простоев вызванных нарушениями технологического процесса повышает производительность прокатных станов.

Автоматизированное управление процессом прокатки обеспечивает снижение расхода металла за счет уменьшения доли брака по геометрии и механическим свойствам и в результате нарушения технологического процесса, более эффективного раскроя проката, а также при сдаче проката по

теоретической массе. При автоматизированном управлении в процессе прокатки сокращается расход электроэнергии и топлива. Автоматизированное управление процессом прокатки существенно облегчает условия труда оперативного персонала прокатных станов и повышает его производительность.

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. В трактовке Л. Заде это звучит так: «по мере того, как сложность возрастает, точные утверждения теряют значимость, а значимые утверждения теряют точность» [6].

Методы решения.

Описанные выше трудности приводят к тому, что применение традиционного подхода, основанного на дифференциальных уравнениях, к построению системы управления является довольно сложным, нерациональным, дорогостоящим, а чаще всего нереализуемым. Наиболее оправдан подход к синтезу оптимальных законов и алгоритмов как прототипов для обучаемых в составе динамической системы нейросетей на основе содержательной с точки зрения целей управления макроинформации. В качестве такой макроинформации возможно использование агрегированных макропеременных, т.е. специально формируемые функции первичных измерительных данных в системе управления. По существу это приводит к управлению в функциональном, пространстве, характеризующем макродинамику системы. Такой подход позволяет «конструировать» оптимальные законы управления движением изображающей точки в фазовом пространстве нелинейных систем (как и предполагалось в [7]) и обосновать условия существования устойчивых управляемых движений в нем, другими словами, показать разрешимость задачи управления. Нейронная сеть при обучении с использованием макропеременных формирует в силу условий единственности и разрешимости задачи управления, своей архитектуры и алгоритма обучения этот оптимальный закон, что делает ненужным вообще аналитическое «конструирование» с последующей программной реализацией конкретного оптимального закона. В этом состоит принципиальное отличие

нейросетевого управления от традиционного. Если и в традиционном управлении компьютерная программа реализует конкретный вычислительный алгоритм, то в нейросетевых системах одна и та же сеть может реализовать множество алгоритмов, если знать, как ее этому обучить, и реальном времени. Эти идеи структурного и алгоритмического синтеза нейросетевых систем управления во многом используют концепции синергетической теории управления [8, 9] для синтеза алгоритмов обучения сети и управления объектами.

Теория и алгоритмы обучения многослойных нейронных сетей получили конкретное применение для синтеза нейросетевых систем управления с использованием прямых и инверсных моделей обучения. Весьма перспективным является применение этих сетей для построения новых классов нейросетевых систем на основе идей синергетической теории управления. Синергетика позволяет дать ясный ответ на методологический вопрос: почему достаточно простые законы физики отменно работают в окружающем нас весьма сложном мире и тем самым дают возможность вполне достоверно описать разнообразные явления? Дело в том, что в динамических природных системах, имеющих много степеней свободы, происходит самоорганизация. Ее суть состоит в том, что в физических (химических, биологических) процессах выделяются несколько главных степеней свободы, называемых параметрами порядка, к которым через некоторое время «подстраиваются» все остальные степени свободы сложной природной системы. Такое подстраивание можно трактовать как новый «принцип суперпозиции» для нелинейных систем как способ сборки сложных структур из простых частей. Обычно число параметров порядка невелико, что позволяет описать и исследовать сложную динамическую систему. В синергетической теории управления стратегия направленной самоорганизации состоит в формировании и поддержании внешне- и внутрисистемных динамических инвариантов. В зависимости от поставленных целей вводимые инварианты могут быть постоянными или изменяющимися, что означает соответственно стабилизацию динамического режима системы или переход ее в новое динамическое состояние. В первом случае системные инварианты реализуют «стабилизирующий», а во втором – «динамический» отборы. Другими словами, целенаправленное формирование динамических инвариантов позволяет осуществить направленную самоорганизацию систем. Обычно в нейросетевых динамических системах подобная целенаправленная самоорганизация осуществляется в процессе настройки (обучения) сети с использованием параметров порядка – макропеременных, синтезируемых на измеряемых переменных состоянии фазового состояния системы.

Продолжение работы. Следующими этапами предполагается постановка задачи на разработку интеллектуальной системы управления, разработка и реализация нейросетевой системы управления. В качестве проверки будут

анализироваться и сравниваться результаты функционирования интеллектуальной системы управления и традиционной системы управления на основе ПИД – регулятора. Для ПИД – регулятора будут разработаны математические модели на основе комбинированного метода: аналитически разработанная структура объекта, а ее параметры определены в ходе натуральных экспериментов. Будет произведено сравнение и выбор наиболее соответствующей задаче интеллектуальной технологии: нейросетевые технологии, нечеткая логика, нейросетевые технологии с нечеткой логикой, генетические алгоритмы и т.д. Моделирование и сравнение предполагается производить с помощью математического пакета MATLAB, в состав которого входит Simulink.

Выводы. В результате работы определена необходимость замены существующей системы управления нагревом печи на основе ПИД – регулятора. На основе обзора литературных источников и практического опыта предлагается использовать теорию нейросетевого управления в системе нагрева печи. В работе описаны задачи и особенности управления нагревом печи в прокатном стане, а также характерные черты, которые делают нерациональным использование традиционного подхода в управлении нагревом печи. В качестве системы управления предложено использование нейросетевых систем управления на основе идей синергетической теории управления, что позволит «конструировать» оптимальные законы управления движением изображающей точки в фазовом пространстве нелинейных систем.

Список литературы: 1. *Голоскоков А.Е., Рудницкий А.В.* Разработка математического и программного обеспечения интеллектуальной системы управления технологическим процессом горячей прокатки пакетов металлических пластин // Вестник НТУ «ХПИ». Харьков: НТУ «ХПИ» – 2005. – №59 – С. 37-42. 2. *Голоскоков А.Е., Рудницкий А.В., Борц Б.В.* Разработка математического и программного обеспечения интеллектуальной системы управления технологическим процессом горячей прокатки пакетов металлических пластин // Вестник НТУ «ХПИ». Харьков: НТУ «ХПИ» – 2006. – №19 – С. 17-24. 3. *Кудинов Ю.И., Халов Е.А. и др.* Разработка нечеткой обучаемой системы управления // Промышленные АСУ и контроллеры. 2004. № 2. С. 25 – 29. 4. *Ротач В.Я.* Возможен ли синтез нечетких регуляторов с помощью нечетких множеств? // Промышленные АСУ и контроллеры. 2004. № 1. С. 33 – 34. 5. *Прасов М.Т., Анохин М.Н.* Алгоритм дефазсификации при синтезе нечеткого регулятора автоматизированных систем контроля и управления // Промышленные АСУ и контроллеры. 2006. № 6. С. 41 – 42. 6. *Заде Л.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Под. Ред. Н.Н. Моисеева, С.А. Орловского. – М.: Мир, 1976. 7. *Рябинин А.Д., Шквар А.М.* Некоторые принципы функционального построения инвариантных бионических систем управления. Тр. 4-го Всесоюз. Совещ. «Теория инвариантности и теория чувствительности автоматических систем». Ч. II. 26-30 апреля 1971. – Киев, 1971 С. 54-64. 8. *Колесников А.А.* Основы синергетического управления. – М.: Энергоатомиздат, 1994. 9. *Колесников А.А.* Основы теории синергетического управления. Сер. Книга специалиста по автоматизации производства / Под. общ. Ред. А.С. Клюева – М.: фирма «Испо-сервис», 2000.

Поступила в редколлегию 15.11.07

Т.Б. НИКИТИНА, канд. техн. наук, доцент

ВЫБОР КРИТЕРИЯ КАЧЕСТВА РОБАСТНОГО УПРАВЛЕНИЯ КАК ЗАДАЧА МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Розроблено метод вибору критерію якості при синтезі робастного керування у вигляді задачі багатокритеріальної оптимізації. Наведено приклад динамічних характеристик синтезованої системи.

The quality criterion choice method for robust control synthesis as multicriterion optimization task is developed. The example of dynamic characteristics for such system is given.

Постановка проблемы, связь с научными и практическими задачами. Применение традиционных систем подчиненного регулирования для управления системами, содержащими упругие элементы и нелинейные характеристики, часто не позволяет обеспечивать технические требования, предъявляемые к системе. При этом приходится уменьшать быстродействие регуляторов стандартных настроек так, чтобы полоса пропускания системы была существенно уже самой низкой частоты собственных механических колебаний исходного объекта управления. Эффективным средством управления системами со сложными кинематическими связями является управление по полному вектору состояния. При этом качество процессов управления определяется заданным критерием качества. Динамические характеристики синтезированной системы в значительной степени определяется принятым критерием качества, однако, сама проблема выбора критерия качества до сегодняшнего времени остается не решенной [1].

Анализ последних достижений и публикаций. К настоящему времени наиболее широкое распространение получило оптимальное управление по квадратичному критерию качества, при котором минимизируется H^2 норма вектора регулируемых параметров. Попытка применения такого подхода к реальным системам показало высокую чувствительность получаемого решения к параметрам и структуре моделей исходного объекта управления и внешних воздействий. В ряде случаев синтезированная таким образом система при изменении параметров объекта управления в процессе нормального функционирования вообще теряет устойчивость и, естественно, становилась не работоспособными [2]. Поэтому в последнее время усилия многих ученых было направлено на разработку теории синтеза регуляторов, нечувствительных к изменению в определенном диапазоне параметров и структуры объекта управления и внешних воздействий. Это направление выделилось в теории робастного управления и связано с минимизацией H^∞ нормы вектора регулируемых параметров [3-5]. Однако, регуляторы

синтезированные по критерию H^∞ являются излишне «осторожными», поэтому в последнее время получило наибольшее распространение направление, связанное с синтезом регуляторов по смешанному критерию, включающему комбинацию H^2 и H^∞ нормы.

Цель работы. Целью данной работы является разработка методики выбора критерия качества в виде решения задачи многокритериальной оптимизации при синтезе робастного управления для выполнения технических требований, предъявляемых к системе, и учета ограничений на переменные состояния и управления. Задачей статьи является синтез и исследование динамических характеристик робастной системы управления стабилизатором танкового вооружения с учетом упругости ствола с выбранными критериями качества.

Изложение материала исследования, полученных научных результатов. Для исходной системы

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

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

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

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

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

Управление по полному вектору состояния фактически осуществляется по вектору состояния наблюдателя

$$u(t) = F\bar{x}(t),$$

где матрица коэффициентов усиления

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

а P удовлетворяет уравнению Риккати

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

Представим эту систему в стандартной форме, принятой в теории H^∞

$$\dot{\bar{x}}(t) = A\bar{x}(t) + B_1\bar{w}(t) + B_2\bar{u}(t),$$

$$\bar{z}(t) = C_1\bar{x}(t) + D_{11}w(t) + D_{12}\bar{u}(t),$$

$$\bar{y}(t) = C_2\bar{x}(t) + D_{21}\bar{w} + D_{22}\bar{u}(t).$$

При реализации регулятора с передаточной функцией w_p в пространстве состояний в виде A , B , C , D матриц не требуется соответствия порядков исходной системы и регулятора. Так что при использовании 2-Риккати подхода порядок регулятора может получиться ниже порядка исходной системы. Такая ситуация имеет место для исходной системы, содержащей малые постоянные времени, которые при больших значениях уровня толерантности γ могут быть отброшены при синтезе робастного регулятора. Это происходит, несмотря на то, что при синтезе робастного регулятора с использованием 2 – Риккати подхода решаются 2 уравнения Риккати, или эквивалентные им задачи нахождения спектров двух матриц Гамильтона соответственно по управлению и по фильтрации. Однако при этом, задавая достаточно большое значение уровня толерантности γ часть переменных состояния наблюдателя, с помощью которого реализуется регулятор, могут быть отброшены.

Синтез робастного регулятора и робастного наблюдателя сводится к определению такого динамического блока, заданного матрицами A_p , B_p , C_p , входом которого является измеряемый вектор исходной системы $\bar{y}(t)$, а выходом является вектор управления $\bar{u}(t)$ исходной системы

$$\frac{d\bar{x}_p}{dt} = A_p\bar{x}_p + B_p\bar{y},$$

$$\bar{u} = C_p\bar{x}_p,$$

где

$$A_p = A - B_2 B_2^T X_\infty + [I - \gamma^{-2} Y_\infty X_\infty]^{-1} Y_\infty C_2^T C_2 + \gamma^{-2} B_1 B_1^T X_\infty,$$

$$B_p = [I - \gamma^{-2} Y_\infty X_\infty]^{-1} Y_\infty C_2^T,$$

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

X_∞ и Y_∞ являются решением обобщенных алгебраических уравнений Риккати по управлению и фильтрации

$$A^T X_\infty + X_\infty A - X_\infty [B_2 B_2^T - \gamma^{-2} B_1 B_1^T] X_\infty + C_1 C_1^T = 0,$$

$$A Y_\infty + Y_\infty A^T - Y_\infty [C_2^T C_2 - \gamma^{-2} C_1^T C_1] Y_\infty + B_1 B_1^T = 0.$$

Метод решения. При решении задачи синтеза робастного управления задается вектор контролируемых параметров $\bar{z}(t)$, и при этом синтез робастного регулятора сводится к определению таких параметров, при которых обеспечивается минимальное значение максимального выброса амплитудно – частотной характеристики следа матрицы, диагональные элементы которой представляют собой квадраты амплитудно – частотных характеристик компонент вектора контролируемых параметров $\bar{z}(t)$ при изменении частоты от нуля до бесконечности. Естественно, что динамические характеристики системы в значительной степени определяются вектором контролируемых параметров $\bar{z}(t)$ и, следовательно, соответствующими матрицами в описании системы.

Фактически к системе управления предъявляются противоречивые требования. В частности, обычно задается время переходных процессов при подаче определенных входных сигналов. Кроме того, часто задается точность отработки заданного минимального значения скорости – неравномерность движения рабочего органа на минимальной скорости. При этом обычно требуется минимальное значение дисперсии стабилизации заданного случайного изменения задающего воздействия при действии случайных возмущающих воздействий, обусловленных, например, случайным изменением профиля дороги. Эти требования могут быть записаны в виде следующих критериев качества работы системы

$$J_1 = t_{\text{д\ddot{a}a}}, J_2 = \Delta\omega, J_3 = \bar{\epsilon}_{\phi_3}^2, J_4 = \bar{\epsilon}_F^2.$$

Оставаясь в рамках структуры робастного регулятора и робастного наблюдателя многокритериальная задача может быть сведена к однокритериальной с помощью следующей схемы компромисса. Из множества критериев выбирается тот, который является самым важным по техническим условиям. В частности, для системы стабилизации вооружения легкобронированной техники таким критерием является время регулирования. Остальные критерии переводятся в ограничения.

Естественно, что при этом часть переменных состояния системы не должна превосходить своих предельно – допустимых значений, что может быть записано в виде следующего неравенства

$$\bar{x}(t) \leq \bar{x}_{\text{max}}$$

и учтено при синтезе системы.

При синтезе системы матрицы D_{ij} и C_{ij} должны быть определены таким образом, чтобы выполнить технические требования, предъявляемые к системе. Введем вектор варьируемых параметров \vec{Z} , компонентами которого являются элементы этих матриц D_{ij} и C_{ij} , значения которых необходимо определить в результате синтеза системы. Тогда задача синтеза робастного регулятора сводится к определению вектора \vec{Z} , являющегося решением задачи векторной оптимизации.

После такого первого прохода и определения значений искомым матриц D_{ij} и C_{ij} , элементы которых являются компонентами искомого вектора \vec{Z} , может быть принята другая схема компромиссов. Например, главным критерием принимается неравномерность отработки заданного значения минимальной скорости наведения, остальные критерии переводятся в ограничения. Такая последовательная схема компромиссов позволяет наиболее рационально выполнить технические требования, предъявляемые к системе, и при этом обеспечить оптимальные значения основным показателям качества.

Некоторые критерии являются непротиворечивыми, что позволяет построить Парето область не улучшаемых решений. В частности, это относится к критериям времени регулирования и неравномерности отработки минимального значения скорости слежения. Снижение времени регулирования приводит к повышению быстродействия системы и, следовательно, к расширению полосы пропускания системы, что позволяет уменьшить неравномерность слежения на низких скоростях движения. Однако при этом, несмотря на снижение ошибок системы, обусловленных случайным изменением задающих и возмущающих воздействий, суммарная дисперсия ошибки может возрасти за счет усиления системы шумов измерительных устройств. Повышение быстродействия системы и расширение ее полосы пропускания приводит к резкому возрастанию управляющих воздействий и переменных состояния системы, так что эти критерии являются антагонистическими. Однако, за счет рациональной схемы компромиссов, что фактически соответствует введению в критерий качества исходной робастной системы, задаваемой вектором контролируемых переменных \vec{Z} новых переменных состояния, этот антагонизм критериев может быть существенно ослаблен.

Так, например, на этапе минимизации времени переходных процессов введение в вектор контролируемых параметров $\vec{z}(t)$ момента упругости привело к существенному уменьшению как времени регулирования, так и тока якоря приводного двигателя.

Заметим, что в рамках структуры робастного регулятора и робастного наблюдателя можно поставить задачу параметрического синтеза в следующей

постановке. Вектор искоемых параметров \bar{Z} включим компоненты матриц коэффициента усиления робастного регулятора F_δ и робастного наблюдателя K_δ , так что $\bar{Z} = \{F_\delta, K_\delta\}$. И при этом необходимо решить задачу многокритериальной оптимизации относительно этого вектора варьируемых параметров. Решение этой задачи существенно сложнее ранее рассмотренной, так как, во-первых, размерность этой задачи существенно выше. Кроме того, при синтезе робастных регуляторов и робастных наблюдателей путем решения соответствующих уравнений Риккати, во-первых, обеспечивается устойчивость синтезированных регуляторов и наблюдателей при номинальных значениях параметров системы и, во-вторых, обеспечивается робастность синтезированной системы – ее низкая чувствительность к изменению параметров и структуры моделей объекта управления и внешних воздействий.

При случайных внешних воздействиях в критерий качества J обычно входят как переменные состояния системы или их комбинации, характеризующие точность системы, так и переменные состояния, которые необходимо ограничивать. Но при этом в критерий качества обязательно входит вектор управления \bar{u} . В противном случае, исходная задача становится вырожденной и приводит к бесконечным управлениям. Причем выбор весовых матричных функций в критерии качества при решении конкретных задач осуществляется итеративно путем многократного решения исходной задачи оптимизации для различных значений весовых функций до тех пор, пока не будут получены приемлемые результаты. Фактически смысловая постановка задачи сводится к синтезу такой системы, при которой обеспечивается минимальное значение ошибки, либо дисперсии ошибки $\bar{\varepsilon}^2$, характеризующей точность системы при выполнении ограничений на дисперсии компонент вектора состояния

$$\bar{x}^2(\bar{z}) \leq \bar{x}_{\max}^2$$

и при выполнении ограничений на дисперсии вектора управления

$$\bar{u}^2(\bar{z}) \leq \bar{u}_{\max}^2 .$$

При таком подходе можно обеспечить практически любое быстродействие системы надлежащим выбором соответствующих матриц в стандартном описании системы, играющих роль весовых матриц в критерии оптимизации робастной системы

$$J = \min_{w_p} \max_{\omega} \text{Spun}(w(j\omega)),$$

матрицы передаточных функций $w(p)$ вектора контролируемых параметров $\bar{z}(t)$ по вектору внешних воздействий $\bar{w}(t)$. Заметим, что основное влияние на быстродействие системы оказывает отношение элементов матрицы C_1 к элементам матрицы D_{12} . Чем больше это отношение, тем большую роль в критерии качества играет ошибка системы и меньшую роль играет управление. При такой системе компромиссов между точностью системы и платой за обеспечение этой точности в виде управления быстродействие системы возрастает. Естественно, что по мере возрастания быстродействия системы α , следовательно, и ее результирующей точности, требуются и более эффективные управления, что приводит к возрастанию как самого управления, так и переменных состояния системы, участвующих в формировании управляющих воздействий. Рост управления и переменных состояния системы являются сдерживающим фактором повышения точности системы.

Результаты моделирования. В качестве примера рассмотрим построение робастной системы наведения и стабилизации танкового вооружения в канале вертикального наведения [3 – 4]. Введем следующие компоненты вектора состояния замкнутой системы: угол $\phi(t)$ отклонения между осью канала ствола и направлением на цель и его производную $\dot{\phi}(t)$, значение функции $T_0(t)$ в представлении функции $y(x,t)$ характеризующей отклонение точек оси канала ствола от его недеформируемого состояния, а также производную этой функции $\dot{T}_0(t)$, момент стабилизации $M_{co}(t)$ орудия с помощью исполнительного гидроцилиндра и его производную $\dot{M}_{co}(t)$, момент возмущения $M_{bo}(t)$, обусловленный угловой скоростью перемещения корпуса танка в вертикальной плоскости и его производную $\dot{M}_{bo}(t)$, силу возмущения $f_0(t)$, связанную с ускорением корпуса танка относительно его вертикальной оси и его производную $\dot{f}_0(t)$, а также переменную состояния интегратора $z(t)$ для реализации астатического регулятора. При этом вектор состояния примет следующий вид

$$\bar{X}(t) = \left\{ \begin{array}{l} \phi(t), \dot{\phi}(t), T_0(t), \dot{T}_0(t), M_{co}(t), \dot{M}_{co}(t), \\ M_{bo}(t), \dot{M}_{bo}(t), f_0(t), \dot{f}_0(t), z(t) \end{array} \right\}.$$

Тогда в уравнении состояния возмущенного движения дискретно-континуального объекта стабилизации совместно с уравнениями формирующих фильтров и исполнительного электрогидравлического привода с гидроцилиндром и интегратором, на котором реализуется астатический регулятор, матрица состояния примет следующий вид:

$$A = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline & 1 & & & & & & & & \\ \hline & -\frac{a_0 b_0}{\Delta} & -\frac{\xi a_0 b_0}{\Delta} & \frac{c_0}{\Delta} & & \frac{c_0}{\Delta} & & \frac{a_0}{\Delta} & & \\ \hline & & 1 & & & & & & & \\ \hline & -\frac{I_0 b_0}{\Delta} & -\frac{\xi I_0 b_0}{\Delta} & -\frac{a_0}{\Delta} & & -\frac{a_0}{\Delta} & & \frac{I_0}{\Delta} & & \\ \hline & & & & 1 & & & & & \\ \hline & & & -\frac{1}{T_y^2} & -\frac{2\xi}{T_y} & & & & & \\ \hline & & & & & & & & & \\ \hline & & & & & & 1 & & & \\ \hline & & & & & -\frac{1}{T_s^2} & -\frac{2\xi}{T_s} & & & \\ \hline & & & & & & & & & \\ \hline & & & & & & & & 1 & \\ \hline & & & & & & & -\frac{1}{T_f^2} & -\frac{2\xi}{T_f} & \\ \hline -1 & & & & & & & & & \\ \hline \end{array}$$

Здесь введено обозначение $\Delta = I_0 c_0 + a_0^2$.

В качестве примера на рис.1 показана зависимость времени первого согласования t_{uc} от параметра R , характеризующего порядок отношения значений элементов матрицы B_1 к значению элементов матрицы D_{12} .

На этом рисунке также показана также зависимость максимального значения момента стабилизации, необходимого для отработки заданного начального рассогласования углов направления орудия от направления на цель. Чем больше быстродействие системы, тем требуется большее значение стабилизирующего момента для приведения системы в согласованное положение. Таким образом, за повышение быстродействия приходится «платить» более энергичным управлением.

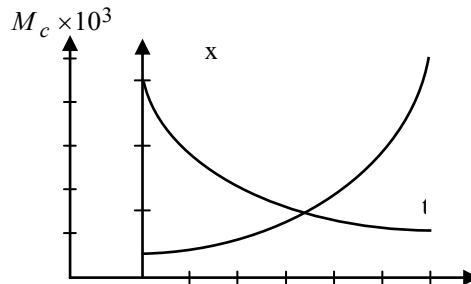
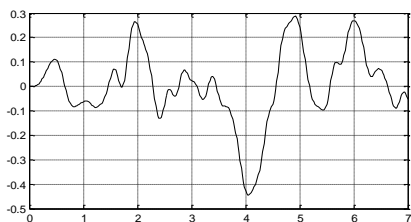
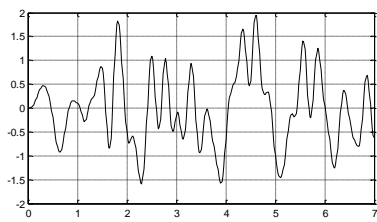


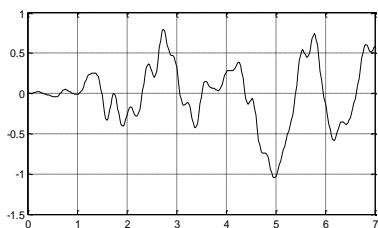
Рисунок 1 – Зависимость времени первого согласования t_{uc} и максимального значения стабилизирующего момента M_c от степени R отношения весовых матриц B_1 к D_{12}



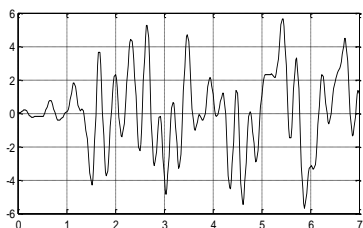
а)



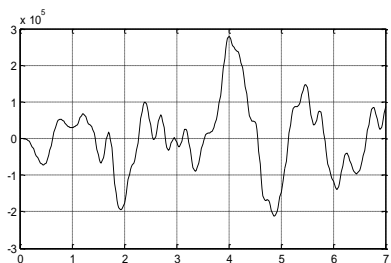
б)



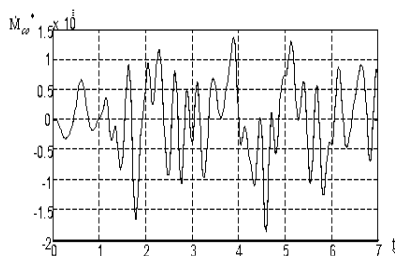
в)



г)



д)



е)

Рисунок 2 – Изменение а) угла $\varphi(t)$ отклонения между осью канала ствола и направлением на цель и б) - его производной; в) функции $T_0(t)$ деформации ствола и г) - ее производной; д) момента стабилизации $M_{co}(t)$ орудия с помощью исполнительного гидроцилиндра и е) - его производной в канале вертикального наведения при случайных внешних воздействиях

По этой характеристике, в частности, можно определить время переходного процесса отработки заданного рассогласования между направлением на цель и фактическим направлением оси ствола орудия для существующего и перспективных приводов орудия танкового вооружения.

Для одного из вариантов регулятора этой системы на рис. 2 показаны графики изменения а) угла $\varphi(t)$ отклонения между осью канала ствола и направлением на цель и б) - его производной; в) функции $T_0(t)$ деформации ствола и г) - ее производной; д) момента стабилизации $M_{co}(t)$ орудия с помощью исполнительного гидроцилиндра и е) - его производной в канале вертикального наведения при случайных внешних воздействиях. Для ограничения управления и переменных состояния могут использоваться алгоритмы, разработанные в [6 - 7].

Выводы, перспективы этого направления. Таким образом, с помощью разработанной методики выбора критерия качества при синтезе робастных регуляторов удалось получить приемлемые показатели качества и удовлетворить технические требования, предъявляемые к системе. Процедура выбора параметров критерия качества сведена к решению задачи многокритериальной оптимизации.

Список литературы: 1. Александров Е.Е., Александрова Т.Е. Выбор оптимизируемого функционала в задачах параметрического синтеза систем стабилизации. //Артиллерийское и стрелковое вооружение. – 2004. – №2. – С. 23 – 26. 2. Кузнецов Б.И., Никитина Т.Б., Коломиец В.В. Синтез электромеханических систем со сложными кинематическими цепями. Харьков, УИПА.2005.–511с. 3. Никитина Т.Б. Робастное управление многоканальными итерационными электроприводами по H^2 и H^∞ критериям. Електромашинобудування та електрообладнання. Міжвідомчий науково – технічний збірник. Одеса - 2006. Випуск №67. С. 13 – 17. 4. Никитина Т.Б. Робастная стабилизация танкового вооружения. Вестник НТУ «ХПИ», Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Автоматика и приборостроение». 2007, №10. С. 134 – 144. 5. Никитина Т.Б. Робастная стабилизация дискретно – непрерывного объекта. //Технічна електродинаміка. Тематичний випуск. Проблеми сучасної електротехніки. Частина 4. Київ. 2007. С. 60 – 64. 6. Никитина Т.Б. Ограничение динамических нагрузок в нелинейной системе совместного управления главными приводами бломинга с учетом их взаимного влияния через прокатываемый металл. //Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Харьков. НТУ «ХПИ». – 2006. - №9 – С. 95 – 102. 7. Никитина Т.Б. Ограничение нагрузок в нелинейных многоканальных системах с оптимальным управлением. //Технічна електродинаміка. Тематичний випуск. Проблеми сучасної електротехніки. Частина 4. Київ. 2006. С. 90 – 96. 8. Никитина Т.Б. Синтез приближенно – оптимальных нелинейных систем цифрового управления технологическими процессами с аналитическими нелинейностями. //Автоматизація виробничих процесів. Київ. – 2003. - №2(17). – С.62-65. 9. Никитина Т.Б. Синтез цифровых нелинейных многоканальных систем управления. //Автоматизація виробничих процесів. Київ. – 2005. - №2 (21) .С.115-121. 10. 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. 11. Никитина Т.Б. Синтез многоканальных нелинейных электромеханических систем. //Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Харьков. НТУ «ХПИ». – 2005. - №45. – С. 130 – 131.

Поступила в редколлегию 15.10.07

Н. К. СТРАТИЕНКО, канд.техн.наук, доцент каф. АСУ НТУ «ХПИ»,
О. Ю. КУЗЕНКО, студент каф. АСУ НТУ «ХПИ»

ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МАРКЕТИНГОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ПРЕДПРИЯТИИ КОНДИТЕРСКОЙ ОТРАСЛИ

В статті розглядається питання автоматизації проведення маркетингових досліджень на підприємстві кондитерської галузі, наводиться постановка задачі та розглядаються питання об'єднання рішень кількох маркетингових задач у рамках однієї інформаційної системи.

В статье рассматриваются вопросы автоматизации проведения маркетинговых исследований на предприятии кондитерской отрасли, приводится постановка задачи и рассматриваются вопросы объединения решения нескольких маркетинговых задач в рамках одной информационной системы.

In the article the questions of automation of marketing researching on the manufacturing firm are shown, the target setting is given and also reviews the questions of the common information system which includes the solutions of several marketing problems.

Введение. В последнее время наблюдается развитие применения маркетинговых исследований во многих сферах деятельности производственных предприятий, не исключение составляют и предприятия кондитерской отрасли.

Иерархический характер организационной структуры предприятия предусматривает движение информационных потоков между определенными подразделениями. Роль так называемого «буфера» для обмена информацией между различными подразделениями отводится отделу маркетинга и логистики (служба маркетинга и логистики). Работа службы ориентирована на гибкое приспособление всей хозяйственной деятельности предприятия к изменениям экономической ситуации, учета требований потребителей и сочетает в себе комплексные работы экономического, планирующего, технико–производственного, сбытового и исследовательского характера.

Маркетинговые исследования, проводимые службой маркетинга и логистики в наиболее общем виде, представляют собой систематическое и объективное выявление, сбор, анализ, распространение и использование информации для повышения эффективности идентификации и решения маркетинговых проблем и использование маркетинговых возможностей [1].

При проведении любого маркетингового исследования возникает проблема анализа накопленной маркетинговой информации. Решением данной проблемы может стать автоматизация процесса анализа маркетинговой информации.

Постановка задачи. Основная деятельность рассматриваемого

предприятия направлена на выпуск мучных и сахаристых кондитерских изделий.

Система маркетинговых исследований на предприятии, в наиболее общем виде, включает в себя комплекс решения следующих задач:

- 1) анализ рынка кондитерских и мучных изделий страны;
- 2) анализ структуры рынка;
- 3) анализ конкуренции на рынке кондитерских и мучных изделий;
- 4) исследование потребительского рынка и т.д.

Первоочередной задачей является задача анализа рынка кондитерских и мучных изделий. Для решения данной задачи отделом маркетинга и логистики на предприятии проводится непрерывный сбор маркетинговой информации о состоянии рынка, путем применения методов сбора информации (первичной, вторичной) – методами опроса, анкетирования, интервьюирования потребителей кондитерской продукции.

Данная задача предполагает более детальное рассмотрение следующих направлений маркетинговой деятельности кондитерского предприятия:

- 1) демографическая структура рынка;
- 2) сегментирование рынка по группам потребителей;
- 3) анализ факторов, которые влияют на спрос;
- 4) анализ предпочтений потребителей;
- 5) прогнозирование сбыта кондитерских и мучных изделий в каждом сегменте рынка.

Для решения поставленной задачи на основании изучения и анализа предметной области и существующих систем проведения маркетинговых исследований на производственном предприятии, необходимо произвести:

- анализ полученной статистической информации;
- обзор существующих методов сегментирования рынка и прогнозирования сбыта, в частности – методов кластерного анализа и методов прогнозирования. На основании изученных методов разработать алгоритмическое обеспечение решения задачи;
- сегментацию рынка потребителей кондитерской продукции. Определение целевых сегментов рынка;
- прогнозирование спроса в каждом выбранном сегменте;
- произвести оценку полученных результатов сегментирования и определить факторы, влияющие на потребительский спрос, и, соответственно, на сбыт продукции (произвести проверку достоверности результатов кластерного анализа, проверить адекватность прогнозной модели).

Разрабатываемые информационное и программное обеспечения должны удовлетворять следующим требованиям, для того чтобы соответствовать определенным стандартам, конкурировать с аналогичными программными продуктами, для наиболее качественной и правильной работы:

- обеспечивать максимально комфортный доступ к основным информационным ресурсам подсистемы;
- обеспечивать защищенность информационных ресурсов. Все программные продукты, работающие с информационными ресурсами, должны быть защищены от несанкционированных действий. Хранение и доступ к информации должны удовлетворять всем требованиям безопасности;
- содержать удобный для пользователя интерфейс (главное меню, диалоговый режим задачи и т.д.);
- обеспечивать процесс ввода и редактирования исходных данных (получение новых исходных данных, обеспечение работы с уже существующими данными, просмотр и редактирование данных, сохранение данных в базе данных, сохранение полученных результатов и т.п.);
- обеспечивать проведения необходимых вычислений, связанных с определением сегментов рынка потребителей (и конкурентов), определение целевых сегментов, а также осуществление прогноза сбыта продукции на определенный период;
- обеспечивать возможность редактирования форм представления выходной информации;
- просмотра полученных результатов сегментирования и прогнозирования сбыта в наиболее удобной и наглядной форме для последующего принятия маркетингового решения;
- обеспечивать возможность вывода на печать как исходных, так и формируемых данных в установленной форме представления выходной информации.

Информационное обеспечение решения задачи. Главным отличием разрабатываемого информационного обеспечения является его адаптация под деятельность предприятие кондитерской отрасли, также возможность объединения решения отдельных маркетинговых задач в рамках одной системы, а именно задачи проведения сегментирования рынка потребителей кондитерской продукции с выявлением приоритетных сегментов, а также прогнозирования сбыта продукции в выбранных целевых сегментах.

В результате анализа существующих задач был выбран принцип модульности, вследствие чего в разрабатываемой системе предполагается взаимосвязанное решение каждой из перечисленных маркетинговых задач.

Рассмотрим задачу сегментирования рынка и прогнозирования сбыта в целевых сегментах более подробно.

Для решения поставленной задачи, был произведен:

- сбор и анализ информации о состоянии рынка сбыта, сбор статистики продаж за определенный период времени;
- сегментацию рынка потребителей кондитерской продукции.

Определить целевые сегменты рынка;

- произвести оценку полученных результатов сегментирования и определить факторы, влияющие на потребительский спрос, и, соответственно, на сбыт продукции, спрогнозировать сбыт в целевых сегментах рынка.

Задача такого рода предполагает наличие достаточно большого количества информации, необходимой для анализа, проведения расчетов, формулирования эффективных выводов, а, соответственно, и принятие маркетинговых решений.

Для обеспечения хранения маркетинговой информации была определена необходимая система бизнес-правил для дальнейшего построения логической модели данных и построения базы данных (рисунок 1).

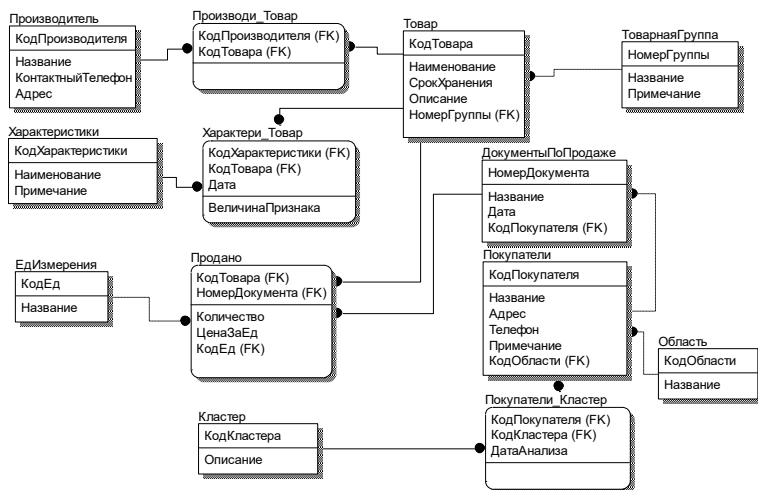


Рисунок 1 – Логическая модель данных

Анализируя предметную область, можно выделить следующую систему бизнес-правил:

- 1) кондитерское предприятие производит некоторый ассортимент продукции;
- 2) производственное предприятие продают свою продукцию различным покупателям (розничным, оптовым);
- 3) производимая продукция классифицируется по определенным товарным группам;
- 4) для каждого товара определены характеристики, установленные в результате проведения маркетинговых исследований;

5) с одним покупателем возможно заключение нескольких договоров на продажу (выдачу);

6) в документе указывается название документа, покупатель, дата выдачи (дата документа), количество отпускаемой продукции, цена за единицу продукции;

7) по одному документу может отпускаться несколько наименований продукции;

8) покупателей можно разделить на группы (кластеры), в зависимости от определенного признака кластеризации;

9) покупатели находятся в различных областях страны.

Сбор и анализ информации о состоянии рынка производится путем применения методов сбора информации (первичной, вторичной) – методами опроса и анкетирования потребителей кондитерской продукции.

Для проведения сегментирования рынка и прогнозирования сбыта продукции предлагается применения различных методов кластерного анализа и методов прогнозирования.

При разработке информационного обеспечения был определен необходимый набор возможных действий для пользователя. То есть, какие действия пользователь может выполнять по отношению к информационному обеспечению, какую информацию и в каком виде он может получить, а также возможности проведения различных вычислений.

В соответствии с нотацией унифицированного языка моделирования (UML) требования к информационному и программному обеспечению можно представить в виде диаграммы вариантов использования информационного обеспечения (см. рисунок 2).

Можно выделить различные уровни доступа пользователей к разрабатываемому информационному и программному обеспечению. Пользователи с различными уровнями доступа имеет возможность выполнять следующие действия:

- иметь доступ к исходным данным;
- проводить необходимые вычисления, определяя тем самым целевые сегменты кондитерского рынка и осуществляя прогноз сбыта в выбранных целевых сегментах;
- иметь доступ к результатам проведенных вычислений.

При помощи главной кнопочной формы пользователь имеет возможность проводить необходимые вычисления, получить результаты вычислений, просматривать их графическую интерпретацию.

Полученные решения сохраняются в виде отчетов, к которым пользователь также имеет доступ. Пользователь также будет иметь возможность получать справку об отдельных функциях системы, данные о программе и ее разработчиках.

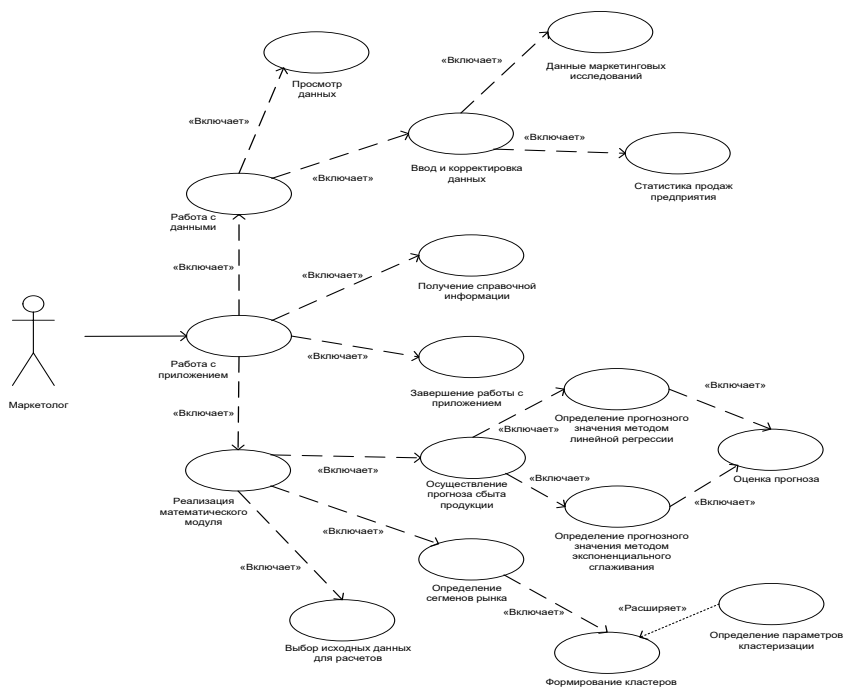


Рисунок 2 – Диаграмма вариантов использования информационного обеспечения

Заключение. В настоящее время маркетинговые исследования и их надлежащая организация становится инструментом, с помощью которого существенно снижается риск предпринимательства. Проведя заранее исследование, уже на ранней стадии можем выявить все возможные проблемы, которые могут возникнуть при осуществлении предпринимательской деятельности.

Дальнейшая работа будет посвящена разработке программного обеспечения, позволяющего расширять комплекс решаемых маркетинговых задач в рамках одной системы.

Список литературы: 1. Нэреш К. Малхотра. Маркетинговые исследования. – М.: ООО «И.Д.Вильямс», 2007. 2. Гаркавенко С.С. Маркетинг. – К.: Либра, 2006. 3. Аакер Д., Кумар В., Дэй Дж. Маркетинговые исследования. – СПб.: Питер, 2006. 4. Бойко И.И. Маркетинговые исследования. – К.:Кондор, 2005. 5. Руделиус У. Маркетинг. – М.:ДеНово, 2001. 6. Амблер Т. Практический маркетинг. – СПб.:Питер, 1999. 7. Черчилль Г.А. Маркетинговые исследования. – СПб.:Питер, 2000.

Поступила в редколлегию 15.11.07

И. П. ГАМАЮН, д-р техн. наук,
С. В. ДРЕВАЛЬ, студент НТУ «ХПИ»

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЛИЦЕНЗИОННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

В статті пропонується імітаційна модель процесу функціонування ліцензійного програмного забезпечення, на основі результатів якого можливо оцінити яке навантаження подолає ліцензійний сервер, враховуючи ресурсні витрати на обробку кожного запиту клієнта.

В статье предлагается имитационная модель процесса функционирования лицензионного программного обеспечения, на основе результатов которого можно оценить с какой нагрузкой справится лицензионный сервер, учитывая ресурсные затраты на обработку каждого запроса клиента.

In the article there have been proposed imitating modeling process of functioning of the license software on the basis of which results it is possible to estimate with what loading the license server will consult, considering resource expenses for processing of each inquiry of the client.

Постановка задачі дослідження. В настоящее время одним из наиболее широко распространенных средств исследования и оптимизации функционирования сложных систем является имитационное моделирование, реализуемое с помощью современной вычислительной техники. Имитационная модель воспроизводит процесс функционирования исследуемой системы с учетом влияния внешней среды. Поэтому с помощью имитационной модели можно обрабатывать воздействия различных факторов, влияющих на поведение системы, изучать влияние изменения внутренних параметров на эффективность функционирования и так далее [1 – 4].

В данной статье предлагается имитационная модель процесса функционирования лицензионного программного обеспечения, разработанного на основе системы GPSS World. Это касается, прежде всего, программ, работающих в компьютерных сетях. Модель позволяет дать рекомендации для разработки единого центра проверки лицензий клиентских программ. В статье рассматриваются общие принципы построения взаимодействия между лицензионным сервером и программой, пытающейся проверить работоспособность своей лицензии. На основе сформулированных принципов было разработано тестовое программное обеспечение, включающее в себя лицензионный сервер и клиентскую часть. Затем на основе статистических данных была построена имитационная модель в GPSS World. Это позволило исследовать поведение системы для различных значений параметров и позволило определить направления их улучшения.

Имитационная модель. В сетевых и многопользовательских системах предполагается наличие лицензионного сервера. Лицензионная программа

проверяет на наличие ключевого диска или ключа и получает разрешение на исполнение от серверного процесса. Серверные процессы обеспечивают контроль за допустимым количеством пользователей программы, за тем, когда будет использоваться программа, где будет использоваться программа и даже за тем как будет использоваться программа. Поскольку большинство компьютеров работают в Internet, то метод контролируемого доступа к программному обеспечению и данным становится все более актуальным.

Для тестирования модели была разработана опытная система. В общем случае она работает следующим образом:

- пользователь (U) стартует лицензионную программу P;
- программа P обращается к серверу S за разрешением на запуск;
- сервер S проверяет текущее число пользователей, которые уже работают с программой P;
- если допустимый предел на количество пользователей еще не достигнут, то сервер S разрешает доступ и программа P начинает исполняться;
- если же предел по количеству пользователей был достигнут, то сервер S не дает разрешения на запуск, и программа P сообщает пользователю U, что нужно попытаться выполнить ее запуск позже.

Предлагаются программы “клиента” и “сервера” образующие систему. Сервер предоставляет разрешение прикладной программе на ее запуск, а также отслеживает выполнение лицензионных требований. Если лицензионный сервер не работает, то прикладная программа не сможет получить разрешение на запуск и откажет пользователю в запуске.

Лицензионный сервер на запросы выдает электронные билеты, которые содержат определенную комбинацию кодов. При этом нужно учесть, что случайно или преднамеренно серверу будут пытаться выслать заведомо неправильные пакеты данных. Для того, чтобы сервер не перегружался из-за неправильных сообщений, используется контрольная сумма всего сообщения. Если сумма не совпадает, то разрывается соединение с клиентом.

Схема алгоритма работы сервера показывается на рис. 1. Из алгоритма следует, что на сервере в самом начале организуется цикл, в котором происходит обработка поступающих запросов от клиента. Если очередной пакет распознан как данные от клиента, то начинается взаимодействие с ним, а в противном случае происходит повторное ожидание пакетов. Затем производится идентификация сообщения. Во время нее из сообщения извлекается информация, на основе которой производится обработка. Если пакет является запросом на освобождение клиентской лицензии, то из него извлекается ключ, идентифицирующий пользователя, и при помощи ключа производится удаление соответствующей записи в клиентской базе данных.

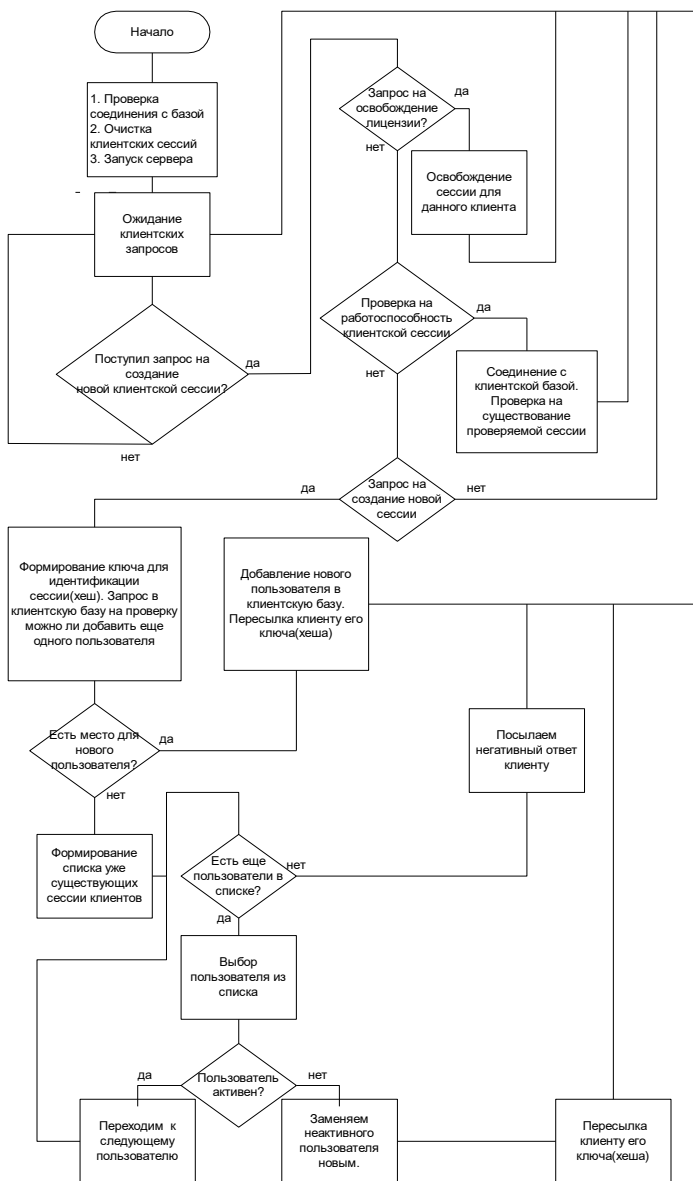


Рисунок 1 – Схема алгоритма работы сервера

Для проверки работоспособности клиентской сессии и прикрепленной к ней лицензии из сообщения извлекается ключ, по которому производится проверка существования записи. Положительный или отрицательный результат сообщается клиенту. При отрицательном результате клиент прекращает свою работу, так как считается, что у него нет лицензии. Этот случай возможен, когда кто-то ввел заведомо неправильный ключ или если сервер был перезапущен и текущая клиентская база утеряна. Пакет может представлять собой запрос на создание новой сессии для клиента, связанной с лицензией. При этом если все сессии, предусмотренные лицензией, уже заняты, то производится поиск клиентов, которые не активны, но свою сессию в базе имеют. В этом случае происходит замена такого клиента на нового. В любом случае, если клиент добавляется в базу, то для него создается уникальный ключ, который связывает клиента с его лицензией. Это необходимо для безопасности, так как даже если злоумышленник получит ключ, то он не сможет им воспользоваться, потому что они каждый раз меняются.

Для хранения журнала с записями лицензий и связанных с ними клиентов использовалось СУБД (система управления базами данных) на основе MySQL. Эта СУБД зарекомендовала себя как быстрая и стабильная, что важно для обработки большого количества записей. Также важно еще то, что она является мультиплатформенной системой и может работать в Windows и Unix системах.

Для формирования пакетов использовалось некоторое подобие формата Modbus RTU. Modbus — коммуникационный протокол, основанный на клиент-серверной архитектуре [5].

Создание имитационной модели на основе GPSS предшествует разработке тестовой системы. Как следует из алгоритма работы лицензионного сервера, она разделяется на две составляющие: взаимодействие с клиентами и работа с клиентской базой данных. При этом необходимо учитывать такую возможность как блокировки БД (база данных) при обращении к ней со стороны лицензионного сервера. Это необходимо для корректного создания списка пользователей при проверке их активности, а также других операций с пользовательскими сессиями. Необходимость блокировки БД учитывается в модели и поэтому для оценки времени необходимо вычислить отдельно временные затраты для взаимодействий с клиентами, на операции, которые не зависят от других открытых соединений для остальных клиентов и работы с БД, для которой происходит блокировка, касающаяся всех клиентов, подключенных в данный момент к серверу. Для оценки времени операций по взаимодействию с клиентскими приложениями и работы с БД разделим в соответствии с алгоритмом работы программы временной промежуток каждой операции на две части: работа сервера с клиентом независимо от других клиентов и время общей для всех блокировки БД при работе с ее записями. В программе можно выделить две основные

части, временные затраты которых будут наиболее существенны, а остальными можно пренебречь, поскольку они обрабатываются мгновенно и компьютер не способен зафиксировать время их выполнения. Этими частями являются: запрос на выделение новой клиентской сессии и запрос на проверку работоспособности клиентской сессии. При этом, если клиент запрашивает для себя новую сессию и свободных мест нет, то работа с таким клиентом заканчивается. Поэтому эту часть необходимо поделить еще пополам. В итоге мы имеем три части, в которых происходит взаимодействие с клиентом и БД. Для каждой были произведены замеры временных затрат, при нагрузке на лицензионный сервер. Было рассчитано отдельно время, отводимое для взаимодействия с клиентом и БД.

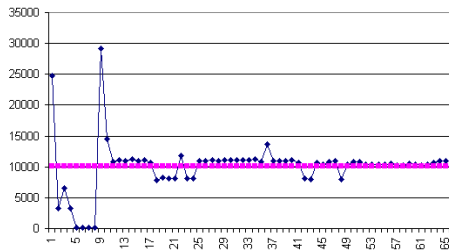


Рисунок 2 – Временные затраты на взаимодействие с клиентом

Все переменные в предлагаемой модели на основе GPSS имеют размерность в условных единицах. Переменная Wait отражает среднее значение временного промежутка для экспоненциального закона, который используется при генерации транзактов в модель. Эти транзакты отождествляются с клиентскими запросами на соединение. Переменные adv1, adv2, adv3, adv4, adv5, adv6 отражают временные интервалы средних значений частей, рассмотренных в предыдущем пункте. Переменная Emk отражает максимальное количество пользователей для сервера, а переменная Zap – количество пользователей на сервере, которое может занять один клиент (для данного случая каждому клиенту должен ставится в соответствие один пользователь на сервере). ServCl – многоканальное устройство, размер которого должен быть равен переменной Zap. ServCl является имитацией программного сервера, входящего в состав лицензионного и принимающего параллельно запросы на соединение от клиентов. Kont1 – условие, по которому определяется есть ли место на сервере. Kont2 – условие проверки на то, что МКУ пусто.

Блок GENERATE через заданный промежуток времени генерирует транзакт. Следующий за ним блок TEST проверяет МКУ ServCl на исправность (доступность) и наличия в нем свободных каналов, достаточных для удовлетворения запроса. Если булева переменная Kont1 равна 1, транзакт пропускается и занимает МКУ ServCl. Но перед этим вычисляется и

заносятся целое число INT(Emk/Zap) в сохраненную ячейку с именем KolPovt, которое определяет сколько транзактов может одновременно находиться в MKY.

После выхода транзакта из блока ENTER начинает работать сегмент учета номеров транзактов, занявших MKY. Блоком ASSIGN в параметр с именем KolPovt – параметр цикла заносится число, находящееся в сохраняемой ячейке с именем KolPovt. Далее в цикле, тело которого начинается с блока TEST с меткой Met5 и заканчивается блоком LOOP с меткой Met4, находится свободное место в списке для записи номера транзакта. Свободное место определяется блоком TEST как равенство нулю значения какой-либо одной из сохраняемых ячеек по числу транзактов, одновременно находящихся в MKY. Такая ячейка всегда есть и блоком SAVEVALUE в нее записывается номер занявшего MKY транзакта. А так как сохраняемых ячеек, значения которых равны нулю, может быть несколько (особенно в начале работы модели), после записи номера транзакта осуществляется выход из цикла.

После этого для транзакта определяется путь, по которому он будет идти дальше. Для этого блоками TRANSFER определяется направление, в котором пойдет транзакт. Всего направлений три: транзакт является клиентским запросом, содержащим не нужные данные (Met14), транзакт является клиентским запросом на задание лицензии (Met15) или транзакт является клиентским запросом на проверку своей лицензии (Met16). В случаях, когда транзакт определяется как запрос клиента, не содержащий не нужных данных, обработка его делится условно на две основные части: работа с клиентом и работа с БД. При работе с БД ее сначала необходимо заблокировать для монопольного доступа. Для этого используются блоки SEIZE и RELEASE для блокирования и разблокирования монопольного доступа соответственно переменной Database, которая ассоциируется с доступом к базе данных.

После обслуживания транзакт освобождает MKY ServCl, зайдя в блок LEAVE.

Теперь рассмотрим работу модели при возникновении неисправности MKY. После генерации транзакта блоком GENERATE определяется, может ли он инициировать неисправность при помощи блока TRANSFER. В этом блоке транзакт с вероятностью 0.1% считается способным вызвать неисправность. Транзакт, инициирующий неисправность, входит в блок SUNAVAIL, который переводит MKY ServCl в недоступное (неисправное) состояние.

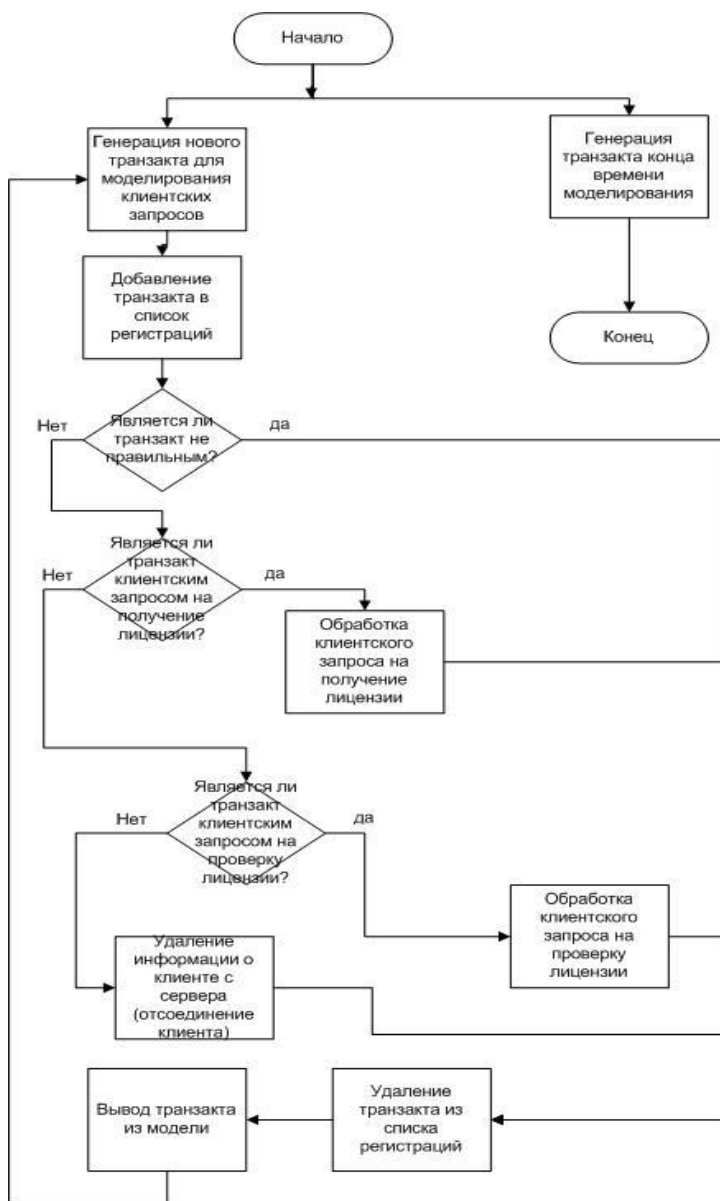


Рисунок 3 – Схема процесса выполнения модели

Далее реализуется удаление транзактов из МКУ. Для этого в цикле, организованном с помощью блока LOOP, просматривается список номеров транзактов, занявших МКУ. Если значение какой-либо сохраняемой ячейки не равно 0, значит, в ней записан номер транзакта, находящегося в данный момент в МКУ. Блоком DISPLACE этот транзакт перемещается к блоку LEAVE с меткой Met3, освобождает МКУ и выводится из модели.

После удаления из МКУ всех транзактов, транзакт-инициатор неисправности входит в следующий за блоком LOOP с меткой Met11 блок TEST. Так как ServC1 пусто (булева переменная Kont2 равна нулю), блок TEST пропускает его и начинается имитация восстановления работоспособности МКУ.

Последний блок GENERATE определяет время моделирования.

На рисунке 3 показывается схема выполнения модели.

Результаты моделирования. После выполнения модели выдается стандартный отчет системы GPSS, который включает:

ENTRIES – количество раз, когда устройство было занято или занято с прерыванием начала моделирования или после последнего выполнения оператора RESET или CLEAR (1178913);

UTIL. – коэффициент использования, доля времени моделирования, в течении которого устройство было занято (0.054);

AVE. TIME – среднее время занятия устройства одним транзактом в течении времени моделирования или после выполнения оператора RESET или CLEAR (22875.447);

CAP. – емкость памяти, заданная оператором STORAGE (500);

REM. – число единиц памяти, свободных в конце моделирования (500);

ENTRIES – количество входов в память за период моделирования (999698).

Выводы. На основе системы GPSS World разработана имитационная модель процесса функционирования лицензионного программного обеспечения. Работоспособность модели показывается на тестовом примере. Модель позволяет оценить число пользовательских запросов, которые способен обработать сервер для изначально заданных пропускной способности и затратах временных ресурсов на выполнение элементарных операций по обслуживанию клиентов.

Список литературы: 1. *Томашевский В.Н., Жданова Е.Г.* "Имитационное моделирование средствами GPSS/PC." - К.: ИЗМН, "ВПОЛ", 1998. - 123 с. 2. *Сытник В.Ф., Орленко Н.С.* "Имитационное моделирование: Учебн. пособие" - К.: КНЕУ, 1998. - 232 с. 3. *Норенков И.П.* Разработка САПР.- М, МГТУ им.Баумана,1994. 4. *Моли Б.* Unix/Linux: теория и практика программирования. Пер. с англ. – М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2004 – 576 с. 5. www.modbus.org/ 6. *Архангельский А.Я.* Разработка прикладных программ для Windows в C++Builder6.0 – М.: ЗАО "Издательство БИНОМ", 2000. – 1054 с.

Поступила в редколлегию 05.03.01

И. П. ГАМАЮН, д-р техн. наук,
В. В ЛИТОВЧЕНКО, студент НТУ «ХПИ»

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ В ГОРОДСКИХ ИНЖЕНЕРНЫХ СЕТЯХ

В статті пропонується комплекс програмних засобів, які розроблено на основі математичних моделей та алгоритмів, що забезпечують оптимізацію розподілу потоків води в інженерних мережах міста.

В статье предлагается комплекс программных средств, которые разработаны на основе математических моделей и алгоритмов, обеспечивающих распределение потоков воды в инженерных сетях города.

In the article the complex of software which are developed on the basis of mathematical models and the algorithms ensuring distribution of water deluges in engineering networks of city is offered.

Введение. Системы водоснабжения больших городов относятся к классу транспортных восстанавливаемых систем жизнеобеспечения городов длительного действия и представляют собой сложные разветвленные трубопроводные системы с глубокими внутренними связями, функционирующими под воздействием многих случайных факторов. Опыт эксплуатации городских и промышленных систем подачи и распределения воды (СПРВ) показывает, что они функционируют в условиях топологических, структурных и режимных возмущений, обусловленных аварийным отключением элементов, присоединением новых участков, сетевых фрагментов, районов с собственной сетевой инфраструктурой, источников, потребителей, резервных линий и т.п. Переменность структуры СПРВ усугубляется их чрезвычайной разветвленностью, что влечет за собой необходимость решения систем уравнений больших размерностей, обработкой и хранением гигантских информационных массивов, не согласующихся с ограниченными ресурсами вычислительной техники.

Поскольку СПРВ являются большими гидравлическими системами, отображаемыми бесконечными структурными графами, для возможностей моделирования возмущенного состояния необходимы структурные и масштабные преобразования на графах, в рамках декомпозиционно - топологических решений, с привлечением идеи энергетического эквивалентирования.

Традиционные методы моделирования в основном охватывают область установившегося состояния функционирующих систем или расчетных режимов потребления проектируемых систем. Модели создаются на основе теории графов, которая предоставляет в распоряжение инженера удобный

аппарат для отражения структурных свойств систем и отношений между объектами самой разнообразной природы. Благодаря наглядности и простоте этот аппарат сейчас завоевал широкое признание и повсеместно используется в научно-технической литературе.

Появившиеся в последнее время декомпозиционно–топологические методы моделирования динамического состояния систем водоснабжения не нашли пока должного признания, вместе с тем актуальным является их дальнейшее совершенствование и развитие.

В свою очередь для управления системами водоснабжения необходимо, чтобы их проектирование велось с учетом надежности и управляемости, гарантирующих обеспечение необходимого запаса пропускной способности и возможности оперативного изменения структуры и параметров распределительных сетей, а также удовлетворяющих требованиям надежности и экономичности инженерных систем водоснабжения (новых или реконструируемых), работающих в условиях нерегулируемого непрерывного возрастания водопотребления, сопровождающегося циклическими изменениями. Необходимо гарантировать обеспечение потребителей водой при возможных пиковых нагрузках и при любых отказах элементов системы, а также обеспечение экономически целесообразной работы системы в периоды малых нагрузок. Сложность решения такой проблемы очевидна.

Анализ основных программных продуктов для решения проблемы потокораспределения. Исключительная сложность обоснования оптимальных решений при проектировании систем подачи и распределения воды, многообразии факторов, влияющих на технико-экономические показатели этих систем, определяют особенности практических методов их расчета.

Для реализации подобных методов разработан ряд программных продуктов, который можно разделить на следующие основные классы:

- основывающийся на платформе системы автоматизированного проектирования (САПР);
- основывающийся на платформе геоинформационной системы (ГИС).

К программным системам, построенным на платформе САПР и обеспечивающим решение проектных задач, относятся CADdy фирмы Ziegler (Германия), группа продуктов CREDO фирмы «Кредо-Диалог» (Минск, Белоруссия), система ReCAD (разработка ООО ИДЦ «Индор», г. Томск), семейство программных продуктов Civil Engineering корпорации Intergraph, США и многие другие.

Программные продукты семейства Civil Engineering предназначены для разработки проектов автомобильных и железных дорог, ландшафтов и инженерных сетей. В состав большинства продуктов включены средства DraftWorks. Большинство этих продуктов являются приложениями к интегрированной графической среде MicroStation (Bentley Systems Inc.), использующими все мощности данного графического редактора. Наиболее

известными системами в рамках семейства Civil Engineering можно отнести ISOGEN (фирма Alias Ltd), CADPipe ISO (фирма Orange Technologies), AutoPLANT Isometrics (фирма Rebis), L/ISO (фирма Logos).

К программным комплексам, имеющим в себе функции управления инженерными сетями и функции ГИС, относятся программные продукты, разработанные фирмами ИВЦ «Поток» (Россия) и ИВК «Модель» (Украина). Ими созданы пакеты комплексов программно-технических средств различных тематик «Водоснабжение и водоотведение» (ИГС «WS-Inventory»), «Теплоснабжение» (ИГС «HeatGraph»), «Газоснабжение» (ИГС «GasGraph») [1,2]. Также следует отметить разработки компании «ПолиTERM»: ГИС Зулу и системы теплового расчета на ее базе.

Из числа зарубежных фирм можно выделить Haestad Methods, Inc с системами посвященными гидравлическим расчетам WaterCAD и Cybernet. Система ODULA 2.0 (фирма HYDROINFORM Prague), предназначена для строительства сетевой модели водопроводной сети. Системы семейства SmallWorld фирмы GE Network Solutions предназначены для электрических, водопроводных, тепловых и газовых сетей [3]. Система FRAMME (фирма Intergraph) предназначена для построения моделей любых инженерных сетей и создания информационных систем на их базе. Система AutoPLANT (фирма Rebis совместно с Bentley Systems, Inc.) предназначена для пространственного и информационного моделирования сложных трубопроводных и электрических сетей, и одновременно является, по сути, специализированной системой проектирования.

К основным функциям дополнительных модулей, предназначенных для моделирования инженерными сетями, можно отнести:

- построение трехмерных моделей инженерных сетей;
- работа с телеметрической информацией;
- работа со схемами, планами, разметкой сооружений и оборудования;
- ведение архива повреждений и изменения параметров;
- выполнение технологических расчетов;
- выдача рекомендаций по локализации аварий;
- моделирование переключений.

К базовым возможностям информационных систем для инженерных сетей предъявляются следующие общие требования:

- наличие схематического представления сети с имитацией состояния элементов и участков сети;
- наличие геометрического представления сети на плане или карте с размерными привязками, пригодное для чертежного представления и задач согласования;
- наличие атрибутивного описания технических параметров элементов сети;
- описание движения (жизненного цикла) сети и ее элементов;

- наличие средств документооборота.

Сравнение различных видов систем, нашедших широкое распространение на инженерных сетях в мировой практике приведено в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение возможностей систем

Параметр	Система							
	Дакар	ИГС WS-Inventory	ИГС HeatGraph	FRAMME	Анарэс	Зулу	SmallWorld	ArcFM/Arc Schematics
Представление сети на плане местности	-	+	+	+	-	+	+	+
Привязка с разметкой	-	+	+	+	-	+	-	-
База данных по техническим параметрам объектов сети	-	+	+	+	-	+	+	+
Полное отслеживание неисправностей, работ, исполнителей, затрат	-	-	-	-	-	-	+	-
Отслеживание изменений параметров оборудования	-	-	-	-	-	-	+	-
Наличие оперативной схемы с имитацией состояний элементов	+	+	+	+	+	+	+	+
Ведение документов	-	-	-	+	-	-	-	-

Для оценки практической пригодности рассмотренных выше классов систем введем такие важные эксплуатационные качества, как простота использования, требования к оборудованию, наглядность результатов работы, эффективность использования, сложность внедрения, функциональность и стоимость. Оценка этих параметров приводится в табл.2.

В настоящее время наибольшее распространение имеют следующие программные комплексы, разработанные компанией «Политерм» (г. Санкт-Петербург), Датским Гидравлическим Институтом (DHI Water & Environment) и лабораторией Агентства защиты окружающей среды США (г. Цинцинати):

- ZuluArcHydro - расчеты систем водоснабжения;

- Mike Net;
- Epanet 2.0.

Наибольшими функциональными возможностями обладает программный комплекс MIKE NET [4], который предназначен для моделирования различных гидравлических процессов в системах питьевого водоснабжения и позволяющий решать многие проблемы эксплуатации сетей. Система позволяет моделировать сети водоснабжения как в статическом режиме (мгновенное распределение), так и в динамическом режиме (распределение воды во времени). Также программа дает возможность рассчитывать характеристики качества воды, а именно распределение химических веществ в сети, застой воды и отслеживать распределение воды в сети из конкретного источника.

Таблица 2

Сравнение классов информационных систем для инженерных сетей

Параметр	Класс			
	САПР	ГИС	Системы управления на базе СУБД	Специализированные системы
Простота использования	–	–	+	+
Требования к оборудованию	высокие	высокие, средние	низкие	высокие, средние
Наглядность результатов	+	+	–	+
Эффективность использования	–	–	+	+
Сложность внедрения	–	–	+	–
Функциональность	–	–	–	+
Стоимость	–	–	+	–

Характеристика предлагаемой программной реализации.

Рассмотренные программные комплексы, как правило, имеют очень высокую цену и требуют больших вычислительных ресурсов. В тоже время вышеуказанные комплексы не приспособлены для применения в автоматизированной системе поддержки принятия решения в случае оптимизации работы систем водоснабжения, поскольку не решают все необходимые для оптимизации задачи, либо решают их не в полном объеме и в не заданной постановке.

В связи с этим является актуальным разработка программного комплекса для расчета систем водоснабжения, который может быть интегрирован в

автоматизированную систему поддержки принятия решения и позволит решать конкретные задачи в требуемой постановке.

При разработке подобного комплекса необходимо построить соответствующую математическую модель, а также разработать необходимое современное программное обеспечение, в котором предусматривается применение современной системы управления базой данных и языков программирования.

В основу подобной разработки взята математическая модель установившегося потокораспределения в инженерных сетях (водопроводных, газовых и др.).

Согласно [5,6], водопроводную или газовую сеть можно рассматривать как сильно связанный линейный граф, на котором выполняются два закона Кирхгофа.

Этот граф содержит v вершин и e дуг, каждой из которых поставлены в соответствие ряд активных и пассивных элементов и две переменные величины: расход или последовательная переменная q_i , и потеря напора, или параллельная переменная h_i , связанные между собой монотонной зависимостью, определяемой параметрами этих элементов.

Математическая модель установившегося потокораспределения в инженерных сетях задается с помощью матричного представления графа сети и его элементов. Связь между параллельными и последовательными переменными инженерной сети, заданной с помощью линейного графа, описывается системой нелинейных уравнений вида:

$$f_r = \sum_{i=1}^{m_r} h_{ri}^{(n)}(q_r) - \sum_{i=1}^{n_r} h_{ri}^{(a)}(q_r) + \sum_{i=1}^{v-1} b_{1ri} \left[\sum_{j=1}^{m_i} h_{ij}^{(n)}(q_i) - \sum_{j=1}^{n_i} h_{ij}^{(a)}(q_i) \right] = 0, (1)$$

$$(r = \overline{v, e}), (2)$$

$$q_i = \sum_{r=v}^e b_{1ri} \cdot q_r, (3)$$

$$(i = \overline{1, v-1}), (4)$$

где $h_{ri}^{(n)}, h_{ri}^{(a)}$ – параллельные переменные i -го пассивного и активного элемента r -й хорды дерева;

m_r – число пассивных элементов хорды;

n_r – число активных элементов;

b_{1r} – элементы матрицы В;

$h_{ij}^{(n)}, h_{ij}^{(a)}$ – параллельные переменные j -го пассивного и активного элементы i -й ветви дерева;

m_i – число пассивных элементов ветви;

n_i – число активных элементов ветви.

Зависимость $h_{ij}^{(n)}(q_i)$ может быть аппроксимирована следующей формулой:

$$h_{ij}^{(n)}(q_i) = \operatorname{sgn} q_i r_{ij} |q_i|^{f_{ij}}, \quad (5)$$

где r_{ij}, f_{ij} – сопротивление и коэффициент нелинейности j -го пассивного элемента i -й ветви.

Переменная j -го активного элемента i -й ветви $h_{ij}^{(n)}(q_i)$ определяется нагрузочной характеристикой этого элемента и может быть аппроксимирована в заданной рабочей области полиномом второй степени.

Для определения потокораспределения в инженерной сети при известной ее структуре и параметрах пассивных и активных элементов могут быть использованы методы, пригодные для решения систем нелинейных уравнений (1) или методы безусловной минимизации/

Функционально в программном комплексе можно выделить три подсистемы:

- подсистема обработки первичной информации и расчета параметров сети;
- подсистема формирования математического представления графа и его элементов;
- подсистема расчета потокораспределения в сети на основе методов безусловной минимизации.

В первой подсистеме [7] программного комплекса на основе исходных данных производится расчет гидродинамических и аэродинамических сопротивлений r_{ij} , коэффициентов аппроксимации нагрузочных характеристик активных элементов и др. Нагрузочная характеристика j -го активного элемента представлена в виде:

$$h_j = a_0 + a_1 q_j + a_2 q_j^2, \quad (6)$$

$$j = \overline{1, k}, \quad (7)$$

где a_0, a_1, a_2 – коэффициенты аппроксимации; k – число активных элементов сети.

Для определения коэффициентов аппроксимации используется метод наименьших квадратов. Алгоритм метода основывается на решении следующей системы уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^m y_i &= ma_0 + a_1 \sum_{i=1}^m x_i + a_2 \sum_{i=1}^m x_i^2; \\ \sum_{i=1}^m y_i x_i &= a_0 \sum_{i=1}^m x_i + a_1 \sum_{i=1}^m x_i x_i + a_2 \sum_{i=1}^m x_i^2 x_i; \\ \sum_{i=1}^m y_i x_i^2 &= a_0 \sum_{i=1}^m x_i^2 + a_1 \sum_{i=1}^m x_i x_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^m x_i^2 x_i^2; \end{aligned} \right\}, \quad (8)$$

где y_i – зависимая переменная (величина напора);

x_i – независимая переменная (величина расхода);

m – число точек аппроксимации ($m > 3$).

В результате работы программы по заданным рабочим точкам нагрузочной характеристики формируется массив данных коэффициентов аппроксимации полиномов (4).

Во второй подсистеме [7] программного комплекса производится формирование математического представления графа и его элементов. Граф сети в программном модуле задается матрицей инцидентий A размером $(v \times e)$ Матрица A служит для получения программным путем главного сечения графа, которое математически описывается матрицей главных сечений $Q=[q_{ij}]$ размерности $(v-1) \times e$ и ранга $(v-1)$ и системы фундаментальных циклов, которая математически описывается цикломатической матрицей $B=[b_{ri}]$ размерности $\mu \times e$ и ранга $(\mu = e - v + 1)$. Из матрицы B программным путем компонуется подматрица B_1 , элементы которой используются при разработке математической модели сети, заданной системой уравнений (1) и (2).

Формирование матрицы Q и B удобно осуществить программным путем, используя алгоритм, приведенный в [1]. Формирование подматрицы B_1 из матрицы B осуществляется программным путем с помощью, процедуры преставления столбцов матрицы и приведение матрицы B к виду:

$$B^* = [B_1 / I], \quad (9)$$

где B_1 – подматрица размерности $\mu \times (v-1)$ включающая в себя первые $(v-1)$ столбцов матрицы B^* ;

I – единичная матрица размером $\mu \times \mu$.

Во второй подсистеме программного комплекса вычисляются первые частные производные относительно составляющих вектора \bar{q}_2 (последовательных составляющих хорды графа сети) и элементы матрицы Гессе H (матрицы вторых частных производных):

$$H = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 y}{\partial x_1^2} & \frac{\partial^2 y}{\partial x_1 \partial x_2} & \dots & \frac{\partial^2 y}{\partial x_1 \partial x_n} \\ \frac{\partial^2 y}{\partial x_2 \partial x_1} & \frac{\partial^2 y}{\partial x_2^2} & \dots & \frac{\partial^2 y}{\partial x_2 \partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial^2 y}{\partial x_n \partial x_1} & \frac{\partial^2 y}{\partial x_n \partial x_2} & \dots & \frac{\partial^2 y}{\partial x_n^2} \end{bmatrix}. \quad (10)$$

Вычисление производных в заданной точке x_i осуществляется по следующим приближенным формулам:

$$\frac{\partial y}{\partial x_i} \approx \frac{y(\Delta x_i) - y(x_i)}{\Delta x}, \quad (11)$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x_i^2} \approx \frac{y(2\Delta x_i) - 2y(\Delta x_i) + y(x_i)}{\Delta x^2}, \quad (12)$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x_i \partial x_j} \approx \frac{y(\Delta x_i, \Delta x_j) - y(\Delta x_i) - y(\Delta x_j) + y(x_i)}{\Delta x^2}, \quad (13)$$

где Δx – приращение аргумента или шаг дифференцирования;

$$y(x_i) = y(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n);$$

$$y(\Delta x_i) = y(x_1, \dots, x_i + \Delta x_i, \dots, x_n);$$

$$y(\Delta x_j) = y(x_1, \dots, x_i, \dots, x_j + \Delta x_j, \dots, x_n);$$

$$y(2\Delta x_i) = y(x_1, \dots, x_i + 2\Delta x_i, \dots, x_n);$$

$$y(2\Delta x_j) = y(x_1, \dots, x_i, \dots, x_j + 2\Delta x_j, \dots, x_n).$$

При использовании методов безусловной минимизации в алгоритмах поиска решений используется обратная матрица Гессе, которая формируется программным путем во второй подсистеме комплекса. Для этого создается новая расширенная матрица путем дописывания к известной матрице единичной. Затем, используя алгоритм симплексного метода, путем последовательного перехода от одного базисного решения к другому, формируется на месте исходной матрицы – единичная. При этом, здесь нет необходимости определять ключевой столбец и строку, как того требует симплексный метод, а непосредственно, начиная с первого столбца расширенной матрицы можно заниматься ее преобразованиями, поскольку отпадает необходимость анализа признака оптимальности и вычислений, связанными с определением целевой функции (линейной формы). К тому же такой подход для формирования обратной матрицы легко реализуется программным путем.

На данном этапе разработки программного комплекса для моделирования потокораспределения в инженерных сетях с целью решения прямой задачи

анализа в третьей подсистеме комплекса [7] реализован алгоритм безусловной минимизации функций, в основу которого положен метод Ньютона. Основное рекуррентное соотношение для метода Ньютона имеет вид:

$$\overline{q_2}^{(k+1)} = \overline{q_2}^{(k)} - (H^{-1})^{(k)} \cdot \overline{f}^{(k)}, \quad (14)$$

где $\overline{q_2}$ – значение последовательной составляющей хорды графа сети на k -м шаге итерации;

k – шаг итерации;

H^{-1} – обратная матрица Гессе;

$\overline{f}^{(k)}$ – значение параллельной переменной на k -ом шаге итерации

Программный комплекс ориентирован для проведения расчетов, связанных с определением потокораспределения в водопроводных инженерных сетях, а также реализация математических моделей и алгоритмов, применяемых в самом программном комплексе, выполняются с использованием программных средств разработки программных продуктов Delphi 7.0.

Выводы. Разработанный программный комплекс применим в автоматизированной системе поддержки принятия решения в цикле управления системой потокораспределения энергоресурсов, когда возникает необходимость в оптимизации распределения потоков воды по инженерным сетям города. Процесс освоения комплекса персоналом требует больших временных затрат. Однако эти затраты нужны, поскольку обеспечивают корректную работу программного комплекса в процессе его эксплуатации. Работоспособность и эффективность проверялась на тестовых примерах решения задач, размерность которых близка к промышленной.

Внедрение комплекса оптимизации режимов работы систем водоснабжения позволит сэкономить капитальные затраты и материальные ресурсы.

Список литературы: 1. Водоснабжение и водоотведение, пакет комплексов программно-технических средств АСУ, АСУ ТП, техническое описание. – М.: ИВЦ «Поток», ИВК «Модель», 1997. – 20 с. 2. Жуковский О.И., Гриценко Ю.Б. Разработка моделирующих компонент к кадастрам инженерных сетей // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (СИБРЕСУРС – 4 – 98): Тезисы докладов 4-й международной научно – практической конференции, Барнаул, 21-23 сентября 1998 г. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 1998, с. 28-29. 3. Вайсфельд В.А., Ексаев А.Р. Принципиальные основы применения ГИС-технологий для городских инженерных коммуникаций // Инженерные коммуникации и геоинформационные системы: материалы первого учебно-практического семинара, «ГИС-Ассоциация», 14-17 октября 1997 г. – М.: 1997, с. 3-9. 4. Программный комплекс Mike Net «Руководство пользователя». 5. Евдокимов А.Г. Минимизация функций и ее приложение к задаче автоматизированного управления инженерными сетями. – Харьков : Вища шк., 1985. – 363 с. 6. Рябченко И.Н. Моделирование процессов потокораспределения в системах подачи и распределения воды с использованием ПЭВМ. – Харьков : ГСИ «Основа» ХГУ, 1998 г.

УДК 519.5:681:513

А. А. ПАВЛОВ, д-р. техн. наук, НТУУ «КПШ»,
Е. И. ЛИЩУК, ас., НТУУ «КПШ»

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ

В статті розглянута методика вирішення задач багатокритеріального вибору за допомогою Методу аналізу ієрархій (МАІ). Запропоновано та обґрунтовано алгоритм, в якому при вирішенні задач багатокритеріального вибору за допомогою МАІ експерту не потребується виконувати попарні порівняння альтернатив на нижньому рівні ієрархії.

В статье рассмотрена методика решения задач многокритериального выбора с помощью Метода анализа иерархий (МАИ). Предложено и обосновано алгоритм, в котором при решении задач многокритериального выбора с помощью МАИ не требуется выполнять попарные сравнения альтернатив на нижнем уровне иерархии.

In article the technique of the decision of problems of multicriteria choice with the help of the Analytic Hierarchy Process by T.Saaty (AHP) is considered. It is proposed and is substantiated algorithm in which at the decision of problems of multicriteria choice with help of AHP it is not required to carry out paired comparisons of alternatives at the bottom level of hierarchy.

Введение.

В настоящее время для решения задач многокритериального выбора наиболее часто используемым является метод анализа иерархий (МАИ), предложенный Т.Саати. В качестве задач многокритериального выбора могут выступать как задачи выбора одного варианта из нескольких предлагаемых, так и задачи управления проектами, в том случае, когда задачу управления проектами (прогнозирования) можно представить в виде иерархического дерева Саати. Метод анализа иерархий предполагает декомпозицию проблемы на более простые составляющие части и обработку суждений лица, принимающего решение (ЛПР). В МАИ основным методом сравнения ЛПР объектов (альтернатив, критериев) является метод парных сравнений.

Взаимоотношения между критериями учитываются путем построения иерархии критериев и применением парных сравнений для выявления важности критериев и подкритериев. Метод отличается простотой и дает хорошее соответствие интуитивным представлениям. Главным недостатком этого подхода является большое количество требуемой экспертной информации,

которая представляет собой множество оценок предпочтительности, полученных в процессе парного сравнения альтернатив и критериев.

Общая постановка задачи.

Рассмотрим общую постановку задачи многокритериального выбора:

Есть глобальная цель и ряд альтернатив $A_1 \dots A_m$. Необходимо выбрать ту альтернативу, которая является «наилучшей» с точки зрения глобальной цели. Если бы можно было, введя единицу измерения достижения альтернативой глобальной цели, построить функцию $f(A_i), i = \overline{1, m}$, измеряющую в заданных единицах соответствие альтернативы $A_i, i = \overline{1, m}$ заданной цели, то задача имеет тривиальное решение: выбирается та альтернатива, для которой достигается максимум функции $\max_i f(A_i)$. Но для большинства реальных задач проблема непосредственного построения функции $f(A_i)$ является неразрешимой в силу многих факторов. В качестве наиболее существенных можно выделить следующие:

1. Слабая структурированность задач;
2. Сочетания количественных и качественных факторов, с помощью которых оцениваются задачи;
3. Уверенность в том, что существуют факторы, задающие функцию $f(A_i)$, которые исследователю не известны либо непосредственно не могут быть измерены.

В этом случае и применяется метод анализа иерархий, который является аппроксимацией исходной задачи.

Кратце основные этапы решения задачи многокритериального выбора с помощью метода анализа иерархий Т.Саати [1-7] следующие:

1. Первоначально требуется очертить проблему и определить, что необходимо узнать.
2. Построить иерархию, начиная с вершины (цели - с точки зрения управления), через промежуточные уровни (критерии, от которых зависят следующие уровни) к самому нижнему уровню, который обычно является перечнем альтернатив.
3. Построить множество матриц парных сравнений для каждого из нижних уровней - по одной матрице для каждого элемента примыкающего сверху уровня. Таким образом, получаем квадратную матрицу парных сравнений (суждений). Парные сравнения проводятся в терминах доминирования одного из элементов над другим. Эти суждения затем выражаются в числах. Если элемент А доминирует над элементом Б, то клетка, соответствующая строке А и столбцу Б, заполняется числом, а клетка, соответствующая строке Б и столбцу А, заполняется обратным к нем числом. Если элемент Б доминирует над элементом А, то происходит обратное: целое число ставится в по-

зицию Б, А, а обратная величина автоматически в позицию А, Б. Если считается, что А и Б одинаковы, в обе позиции ставится единица. В качестве шкалы для выполнения парных сравнений наиболее часто используемой является девятибалльная шкала, предложенная Т.Саати.

4. На этапе 3 для получения каждой матрицы требуется $\frac{n(n-1)}{2}$ суждений, где n – это число сравниваемых элементов.
5. После проведения всех парных сравнений и ввода данных по собственному значению λ_{\max} можно определить согласованность. Затем, используя отклонение λ_{\max} от n , проверяем индекс согласованности. Далее происходит сравнение с соответствующими средними значениями для случайных элементов, получаем отношение согласованности.
6. Этапы 3,4 и 5 проводятся для всех уровней и групп в иерархии.
7. На данном этапе используется иерархический синтез для взвешивания собственных векторов весами критериев и вычисляется сумма по всем соответствующим взвешенным компонентам собственных векторов уровня иерархии, лежащего ниже.
8. Находится согласованность всей иерархии. Согласованность всей иерархии можно найти, перемножая каждый индекс согласованности на вес соответствующего критерия и суммируя полученные числа. Результат затем делится на выражение такого же типа, но со случайным индексом согласованности, соответствующим размерам каждой матрицы [3].

Необходимо отметить, что проблема согласованности иерархии для МАИ является наиболее критичной, т.к. если в результате решения задачи, полученные веса оказываются несогласованными, то требуется повторный пересмотр экспертом (ЛПР) всех своих оценок.

Решение многокритериальной задачи принятие решений с помощью метода анализа иерархий.

Применим последовательно по этапам МАИ для некоторой задачи принятия решений. Заложенный в МАИ принцип идентичности и декомпозиции предусматривает структурирование проблем в виде иерархии или сети. Обычно в наиболее элементарном виде иерархическая структура строится с вершины, через промежуточные уровни к самому низкому уровню. Поэтому первый шаг при решении задачи многокритериального выбора состоит в декомпозиции и представлении задачи в иерархической форме. Имеем следующую задачу принятия решений (Рис. 1), представленную в иерархической форме.

В представленной на рисунке задаче имеем m альтернатив $A_1 \dots A_m$ и S уровней критериев E_j^i , $i = \overline{1, s}$, $j = \overline{1, m_i}$.

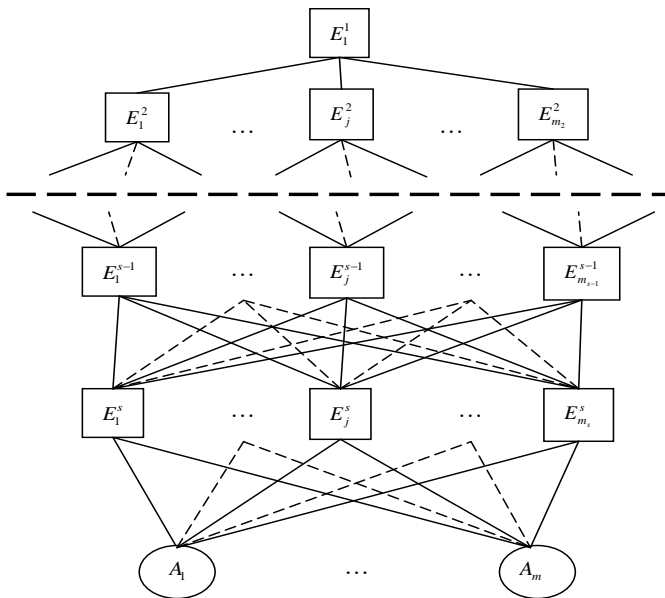


Рис. 1 - Пример иерархического представления задачи принятия решений

На последующих этапах МАИ элементы иерархии сравниваются попарно по отношению к их воздействию на общую характеристику (глобальную цель либо критерий верхнего уровня). Из группы матриц парных сравнений формируется набор локальных приоритетов, которые выражают относительное влияние множества элементов на элемент примыкающего сверху уровня, т.е. в нашем случае компоненты векторов будут иметь следующий вид [6]:

$$\begin{aligned}
 W_{E_1^{s-1}}^A &= [W_{E_1^s}^A W_{E_2^s}^A \dots W_{E_{m_s}^s}^A] W_{E_1^{s-1}}^E \\
 &\dots \\
 W_{E_{m_s-1}^{s-1}}^A &= [W_{E_1^s}^A W_{E_2^s}^A \dots W_{E_{m_s}^s}^A] W_{E_{m_s-1}^{s-1}}^E \\
 &\dots \\
 W_{E_1^{s-j}}^A &= [W_{E_1^{s-j+1}}^A W_{E_2^{s-j+1}}^A \dots W_{E_{m_s-j+1}^{s-j+1}}^A] W_{E_1^{s-j}}^E \\
 &\dots \\
 W_{E_{m_s-j}^{s-j}}^A &= [W_{E_1^{s-j+1}}^A W_{E_2^{s-j+1}}^A \dots W_{E_{m_s-j+1}^{s-j+1}}^A] W_{E_{m_s-j}^{s-j}}^E .
 \end{aligned}$$

Последняя формула

$$W_{E_1^1}^A = [W_{E_1^2}^A W_{E_2^2}^A \dots W_{E_{m_2}^2}^A] W_{E_1^1}^E, \quad (1)$$

$$W_{E_1^1}^E = \begin{pmatrix} w_{E_1^1}^{E_1^2} \\ \vdots \\ w_{E_1^1}^{E_{m_2}^2} \end{pmatrix}, \text{ где } w_{E_1^1}^{E_j^2} - \text{ вес критерия } E_j^2 \text{ в глобальной цели } E_1^1, j = \overline{1, m_2},$$

$$W_{E_1^1}^A = \begin{pmatrix} w_{E_1^1}^1 \\ \vdots \\ w_{E_1^1}^m \end{pmatrix}, \text{ где } w_{E_1^1}^j - \text{ результирующий вес } j\text{-ой альтернативы в}$$

глобальной цели $E_1^1, j = \overline{1, m}$.

Таким образом, j -я компонента (1) – это $w_{E_1^1}^j$.

Принимается та альтернатива, на которой достигается максимум

$$\max_j w_{E_1^1}^j,$$

$$W_{E_l^{s-j}}^A = \begin{pmatrix} w_{E_l^{s-j}}^1 \\ w_{E_l^{s-j}}^2 \\ \vdots \\ w_{E_l^{s-j}}^m \end{pmatrix}, \text{ где } w_{E_l^{s-j}}^i - \text{ вес (вклад) } i\text{-ой альтернативы в критерии } E_l^{s-j},$$

$i = \overline{1, m}, j = \overline{0, s-1}, l = \overline{1, m_{s-j}},$

$$W_{E_l^{s-j}}^E = \begin{pmatrix} w_{E_l^{s-j}}^{E_1^{s-j+1}} \\ w_{E_l^{s-j}}^{E_2^{s-j+1}} \\ \vdots \\ w_{E_l^{s-j}}^{E_{m_{s-j+1}}^{s-j+1}} \end{pmatrix}, \text{ где } w_{E_l^{s-j}}^{E_p^{s-j+1}} - \text{ вес } E_p^{s-j+1} \text{ критерия в критерии } E_l^{s-j},$$

$j = \overline{1, s-1}, l = \overline{1, m_{s-j}}, p = \overline{1, m_{s-j+1}}.$

Если в дереве иерархий не все связи имеют место, то соответствующие веса принимаются равными нулю. Поэтому в данной статье рассматривается только общий случай.

Рассмотрим, каким образом дерево иерархий с весами, приписанными каждой из ветвей, аппроксимирует неизвестное выражение $f(A_i)$, $i = \overline{1, m}$. Для этого рассмотрим следующие выражения:

$E_j^s(A_i)$ - значение, которое принимает критерий E_j^s на альтернативе A_i ,

$$E_j^s(A_i) = w_{E_j^s}^i, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, m_s}.$$

При этом для фиксированного j $w_{E_j^s}^i$ измеряются в одних и тех же

единицах и нормируются: $\sum_{i=1}^m w_{E_j^s}^i = 1$.

$$E_j^{s-1}(A_i) = \sum_{l=1}^{m_s} w_{E_j^{s-1}}^{E_l^s} E_l^s(A_i), \quad \text{при этом веса } w_{E_j^{s-1}}^{E_l^s} \text{ при фиксированных } s \text{ и } j$$

измеряются в одних и тех же единицах и нормируются $\sum_{l=1}^{m_s} w_{E_j^{s-1}}^{E_l^s} = 1$.

В общем случае:

$$E_t^{s-j}(A_i) = \sum_{l=1}^{m_{s-j+1}} w_{E_t^{s-j}}^{E_l^{s-j+1}} E_l^{s-j+1}(A_i), \quad \text{при этом веса } w_{E_t^{s-j}}^{E_l^{s-j+1}} \text{ при фиксированных}$$

s, j и t измеряются в одних и тех же единицах и нормируются $\sum_{l=1}^{m_{s-j+1}} w_{E_t^{s-j}}^{E_l^{s-j+1}} = 1$.

Примечание: в иерархической системе Саати все веса считаются неотрицательными.

И наконец:

$$E_1^1(A_i) = \sum_{l=1}^{m_2} w_{E_1^1}^{E_l^2} E_l^2(A_i), \quad i = \overline{1, m}. \quad (2)$$

Выражение (2) и есть аппроксимация неизвестного значения $f(A_i)$, $i = \overline{1, m}$. Значение $E_1^1(A_i)$, $i = \overline{1, m}$ можно также представить следующим образом

$$E_1^1(A_i) = \sum_{l=1}^{m_s} \alpha_l w_{E_1^1}^i, \quad i = \overline{1, m},$$

где коэффициенты α_l очевидным образом определяются из выражения (2).

Пусть каждая альтернатива A_i характеризуется значениями n критериев

$x^i = \begin{pmatrix} x_1^i \\ \vdots \\ x_n^i \end{pmatrix}$, но вес $w_{E_l^s}^i$ i -й альтернативы является линейной сверткой,

$x_l^i = \begin{pmatrix} x_{l_1}^i \\ \vdots \\ x_{l_{n_l}}^i \end{pmatrix}$ n_l критериев $n_l \leq n$ одинаковых для любой альтернативы с

известными коэффициентами $\alpha_1^{E_l^s}, \dots, \alpha_{n_l}^{E_l^s}$. При этом критерии могут иметь различную физическую природу и лишь некоторые из них определяют вес альтернативы в E_l^s критерии. Но обязательно для каждого x_l^i есть E_l^s , что $x_l^i \in \{x_{l_1}^i, \dots, x_{l_{n_l}}^i\}$. Веса $w_{E_l^s}^i$ определяются из выражения:

$$\sum_{p=1}^{n_l} \alpha_p^{E_l^s} x_{l_p}^i = w_{E_l^s}^i, \quad l = \overline{1, m_s}, \quad i = \overline{1, m}. \quad (3)$$

Выражение (3) вытекает из естественного предположения о том, что эксперт-системотехник учитывая непосредственную связь между критериями нижнего уровня иерархии и альтернативами $A_1 \dots A_m$ может задать в явном виде свертку (3) с непосредственным определением (без парных сравнений) весов $\alpha_p^{E_l^s}$, $p = \overline{1, n_l}$, $l = \overline{1, m_s}$.

Компоненты вектора x^i задают значения всех возможных критериев, линейная свертка подмножества которых и определяют вес альтернативы A_i в критерии нижнего уровня иерархии Саати E_l^s , $l = \overline{1, m_s}$. Тогда

$$w_i = \sum_{t=1}^{m_s} \alpha_t \sum_{p=1}^{n_t} \alpha_p^{E_t^s} x_{t_p}^i, \quad i = \overline{1, m}. \quad (4)$$

Представление весов w_j , $j = \overline{1, m}$ альтернатив в глобальном критерии в виде (4) позволяют сформулировать следующую оптимизационную задачу управления проектами, когда глобальная цель, представленная иерархическим деревом Саати, задается выражением (4).

Имеется m участников конкурса на выполнение проекта, который характеризуется значениями n критериев. Ограничения на реализацию проекта у каждого из участников являются линейными.

Обоснование. Ресурсные ограничения и вообще модели планирования в большинстве практических случаев задаются линейными ограничениями. Обозначим их:

$$A_j x^j \leq b_j, \quad j = \overline{1, m}.$$

Тогда оптимальной стратегией каждого участника конкурса является построение проекта, являющегося решением следующей задачи линейного программирования:

$$\max_{x^j} w_j = \max_{x^j} \sum_{t=1}^{m_t} \alpha_t \sum_{p=1}^{n_p} \alpha_p^{E_t} x_{t_p}^j,$$

$$A_j x^j \leq b_j.$$

Пусть x_j, w_j^* - проекты и им соответствующие оптимальные веса w_j^* глобальной цели. Победителем является тот проект A_j , которому соответствует $\max_{x^j} w_j^*$.

Заключение.

В статье показано, что при решении задачи многокритериального выбора с помощью МАИ эксперту не требуется выполнять парные сравнения альтернатив на нижнем уровне иерархического дерева, т.к. существует непосредственная связь между ними, и вес альтернатив можно определить с помощью линейной свертки. Также в статье приведен алгоритм решения задачи управления проектами с помощью метода анализа иерархий Саати.

Список литературы: 1. Saaty T.L. Multycriterion Decision Making. The Analytic Hierarchy Process.– New York: McGraw Hill International, 1980.– 300 p. 2. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем / Пер. с англ. Р.Г. Вачнадзе.– М.: Радио и связь, 1991.– 223 с. 3. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Пер. с англ. Р.Г. Вачнадзе.– М.: Радио и связь, 1993.– 315 с. 4. Тоценко В.Г. Методы и системы поддержки принятия решений. Алгоритмический аспект.– Киев: Наукова думка, 2002.– 381 с. 5. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений.– М.: Логос, 2000.– 200 с. 6. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Анализ, синтез, планирование решений в экономике.– Москва: Финансы и статистика, 2001.– 257 с. 7. Павлов А.А., Гриша С.Н., Томашевский В.Н. и др. Основы системного анализа и проектирования АСУ / Учеб. пособие: под общ. ред. А.А. Павлова.– К.: Выща школа, 1991.– 367 с.

Поступила в редколлегию 31.10.07

Д. С ПЕЛЕШЕНКО, аспирант каф. ПМ ХНУРЭ

СВЯЗЬ АТРИБУТОВ ЭЛЕМЕНТОВ РАЗНЫХ УРОВНЕЙ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ ГРАФОВОЙ МОДЕЛИ

У статті розглянуто ієрархічна графова модель газотранспортної мережі. Така інформаційна модель дозволяє зв'язати між собою різні рівні деталізації подання предметної області та формує ієрархію моделей. Запропоновано спосіб організації зв'язку атрибутів різних рівнів ієрархічної графової моделі.

В статье рассмотрена иерархическая графовая модель газотранспортной системы. Данная информационная модель позволяет связать между собой различные уровни детализации представления предметной области и формирует иерархию моделей. Предложен способ организации связи атрибутов различных уровней иерархической графовой модели.

The hierarchical graph model of gaz transporting system was considered in this article. This information model makes possible to link different detail levels of representation of data domain and creates a hierarchy of models. Method of building link between attributes of different level of hierarchically graph model was proposed.

Введение. В настоящее время во всех сферах человеческой деятельности внедряется все больше информационных, информационно-аналитических систем, систем автоматического и автоматизированного управления. Использование таких средств позволяет повысить эффективность деятельность отдельных людей и целых предприятий. Одной из важнейших задач решаемых такими системами является задача сбора, анализа и представления большого количества разрозненных данных в виде, позволяющем человеку легко проанализировать их.

В настоящее время, не смотря на высокий уровень оснащенности объектов газотранспортной системы (ГТС) Украины комплексами автоматического и автоматизированного управления, по прежнему задачи обобщения и первичного анализа данных выполняются диспетчером. При выполнении таких задач в распоряжении диспетчера есть только средства подобные специализированным инженерным калькуляторам, многие из которых были разработаны еще в 80-х годах. Существенно новое качество диспетчерского управления может быть достигнуто путем объединения множества существующих наработок в единую систему, выполняющую первичную обработку и обобщение данных, а также их удобное представление. При построении такой системы следует учитывать иерархическую природу организационной структуры ГТС и, как следствие, необходимость различного, но не противоречивого представления данных на разных уровнях этой иерархии.

Основные элементы модели ГТС. Как описано в [1] модель ГТС представляет собой иерархию кластеров. Кластер *C* состоит из множества

узлов N_C и множества A_C упорядоченных пар узлов. Каждую такую пару узлов будем называть дугой, а порядок следования вершин направлением дуги. Дуги и узлы кластера будем называть его элементами. Множество элементов кластера C будем обозначать E_C , причем $E_C = N_C \cup A_C$.

Каждому элементу e кластера C может соответствовать определенный кластер C_e . В этом случае будем называть элемент e обобщенным элементом кластера C_e а сам кластер C_e – кластером детализации элемента e . Элемент, которому не соответствует ни один кластер, будем называть простым. Кластер C_e будем называть детализирующим кластером первого уровня по отношению к кластеру C . Кластер, содержащий только простые элементы, будем называть простым кластером. Таким образом, простой кластер представляет собой ориентированный граф [3].

Справедливо следующее соответствие между объектами ГТС и элементами иерархической графовой модели:

- кластер соответствует определенному участку ГТС, представленному с определенным уровнем детализации;
- каждый простой узел соответствует местам соединения технологических элементов;
- каждому обобщенному узлу соответствует группа технологических элементов, содержащаяся в его кластере детализации;
- каждой дуге соответствует технологический элемент или группа технологических элементов.

На самом верхнем уровне иерархической графовой модели находится кластер, состоящий из одного узла.

Как отмечено в [1] каждый элемент кластера является объектом и содержит информацию о некоторой части ГТС. Согласно [2] объект состоит из множества атрибутов (полей) описывающих его состояние и множества сообщений которые он способен обрабатывать (методов). В некоторых реализациях объектной модели, например в языке C#, в некоторых реализациях C++ и других языках понятия метода и атрибута совмещены в понятии свойство (property). Это достигается созданием для каждого атрибута двух методов, один из которых предназначен для задания значения атрибута, другой для считывания значения атрибута. Такой механизм необходим для реализации реакции объекта на изменение его атрибутов. В данной работе не рассматриваются методы объекта и реализация механизма реакции объекта на изменение его атрибутов.

На более высоких уровнях иерархии объекты описывают все большую часть реального мира, в то время как набор их атрибутов не изменяется или даже сокращается. Это происходит потому, что на верхних уровнях иерархии востребована в основном обобщенная информация. Атрибуты объектов верхних уровней иерархии, очевидно, зависят от атрибутов объектов более низких уровней. Целью данной работы является формализация связи атрибутов элементов различных уровней иерархии.

Оператор обобщения. Пусть C - некоторый кластер. Рассмотрим $e \in C$ и C' - детализирующий кластер элемента e . Объект соответствующий элементу e описывает ту же часть ГТС, что и C' , но в более обобщенной форме. Пусть R – множество значений атрибутов e_i , а R'_i – множество значений атрибутов элемента $e'_i \in C'$, тогда существует некоторый оператор

$$\Psi : \prod_i R'_i \rightarrow R, \quad (1)$$

где $\prod_i R'_i$ - декартово произведение множеств R_i

Будем называть его оператором обобщения кластера C' . Оператор Ψ осуществляет обобщение информации представленное множеством атрибутов объектов кластера C' .

Рассмотрим следующий пример. Пусть C - кластер соответствующий схеме магистрального газопровода. В таких схемах компрессорные станции (КС) обычно обозначают одним элементом не раскрывая их внутренней структуры. Пусть $e \in C$ элемент соответствующий некоторой КС, и C' детализирующий кластер элемента e . Таким образом C' задает внутреннюю структуру рассматриваемой КС. Одним из параметров КС на уровне схем магистрального газопровода будет коммерческий расход – количество газа прокачиваемого всеми агрегатами КС в единицу времени. Сама КС, в упрощенной форме, состоит из нескольких газоперекачивающих агрегатов (ГПА) соединенных параллельно. Очевидно, что коммерческий расход всей КС равен сумме коммерческих расходов всех работающих ГПА. Обозначим коммерческий расход каждого ГПА q_i , а коммерческий расход всей КС обозначим Q , тогда

$$Q = \sum q_i \quad (2)$$

выражение задающее оператор обобщения Ψ кластера C' . В приведенном примере рассмотрен только атрибут коммерческий расход, на практике оператор обобщения будет содержать несколько выражений определяющих зависимости атрибутов.

Рассмотрим другой пример пусть C' - кластер соответствующий одной из ниток магистрального газопровода. Такой кластер будет состоять из элементов соответствующих участкам трубопровода, газораспределительным станциям (ГРС), запорной арматуре и другим технологическим элементам ГТС. Пусть существует схема газопровода, на которой каждая нитка магистрального газопровода представлена одним элементом от КС до КС. Кластер соответствующий такой схеме будет содержать обобщенные дуги e_i

соответствующие ниткам. Тогда для каждой такой дуги будет существовать детализирующий кластер C'_i , соответствующий внутренней структуре каждой нитки. Каждый элемент e_i будет характеризоваться длиной l , общим геометрическим объемом v , запасом газа w и суммарным расходом на всех ГРС Q . Каждый элемент кластера C' будет также содержать параметры l_j , v_k , w_k и расход q_i . Таким образом следующая группа выражений задает оператор обобщения Ψ для C'

$$Q = \sum q_i, \quad (3)$$

где i принадлежит множеству индексов соответствующих ГРС;

$$l = \sum l_j, \quad (4)$$

где j принадлежит множеству индексов соответствующих участкам трубопровода;

$$v = \sum v_k, \quad (5)$$

$$w = \sum w_k, \quad (6)$$

где k принадлежит множеству индексов всех элементов.

Существуют более сложные операторы обобщения, но все все они могут быть представлены в виде набора выражений задающих каждый атрибут обобщенного элемента в отдельности. Другими словами, оператор обобщения можно разбить на конечное множество операторов

$$\Psi_j : \prod_k \tilde{R}_k \rightarrow A_j, \quad (7)$$

$$\tilde{R}_k \subseteq R'_k, \quad (8)$$

где $A_{i,j}$ – множество значений j -го атрибута элемента e_i (для удобства будем различать атрибуты по номерам), а R'_i – множества значений атрибутов элементов детализирующего кластера элемента e_i . Такое разделение вполне правомерно, т.к. оператор Ψ всегда можно представить в виде

$$\Psi(r) = \{\Psi_j(r)\} \quad (9)$$

где $r \in \prod R'_i$. В этом случае $\tilde{R}_k = R'_k$, а $\{k\} = \{i\}$. Однако для каждого атрибута обобщенного элемента в реальности почти всегда существует правило по которому можно определить его значение на основании значений одного-двух атрибутов элементов образующих его детализирующий кластер т.е. $|\prod \tilde{R}_k| \ll |\prod R'_i|$. Представим оператор Ψ_j в следующем виде:

$$\Psi_j(\tilde{r}) = F_j(G_1(\hat{r}_1), G_2(\hat{r}_2), \dots, G_n(\hat{r}_n)), \quad (10)$$

где $\tilde{r} \in \prod_k \tilde{R}_k$, $\hat{r}_1 \in \prod_{i'} \hat{R}_{1,i'}$, $\hat{r}_2 \in \prod_{i'} \hat{R}_{2,i'}$... $\hat{r}_n \in \prod_{i'} \hat{R}_{n,i'}$, $\hat{R}_l \subseteq \tilde{R}_l$, $\{l\} \subseteq \{k\}$,

а F и G_1, G_2, \dots, G_n – некоторые операторы.

Пусть $a_{i,j} \in A_{i,j}$ – значение j -го атрибута элемента $e_i \in C'$, а F – некоторый оператор, определенный на множестве $\Phi = \prod_k \tilde{R}_k = \prod_i \prod_j A_{i,j}$, состоящем из векторов вида:

$$(a_{1,1}, a_{1,2}, \dots, a_{1,m}, a_{2,1}, a_{2,2}, \dots, a_{2,m}, \dots, a_{p,1}, a_{p,2}, \dots, a_{p,m}), \quad (11)$$

а $I(a_{i,j}) = a_{i,j}$, тогда

$$\begin{aligned} & F(a_{1,1}, a_{1,2}, \dots, a_{1,m}, a_{2,1}, a_{2,2}, \dots, a_{2,m}, \dots, a_{p,1}, a_{p,2}, \dots, a_{p,m}) = \\ & = F(I(a_{1,1}), I(a_{1,2}), \dots, I(a_{1,m}), I(a_{2,1}), I(a_{2,2}), \dots, I(a_{2,m}), \dots, I(a_{p,1}), I(a_{p,2}), \dots, I(a_{p,m})) \end{aligned} \quad (12)$$

Если принять $F = \Psi_j$, а $G_1 = I, G_2 = I, \dots, G_n = I$, то выражение (12) эквивалентно выражению (10), следовательно всегда существует хотя бы один способ представить оператора Ψ_j в виде (10). Таким образом, оператор обобщения может быть представлен в виде множества операторов вида $F_j(G_1(\hat{r}_1), G_2(\hat{r}_2), \dots, G_n(\hat{r}_n))$. Такое представление оператора обобщения, как будет показано далее, более удобно в применении.

Рассмотрим пример. Пусть C – кластер, соответствующий схеме линейного участка магистрального газопровода. Линейный участок характеризуется наличием нескольких отборов и одной или нескольких подач газа. Элементы соответствующие отборам и подачам содержат атрибуты задающие расход газа. Пусть e – обобщающий элемент кластера C содержит атрибут W , задающий скорость изменения запаса газа. Тогда можно определить обобщающий оператор следующим образом:

$$W = F(G_1, G_2) = G_1(\{q_i\}) - G_2(\{q_j\}) = \sum q_i - \sum q_j, \quad (13)$$

где q_i - расходы газа j -х на подачах, а q_j - расходы газа i -х на отборах.

Обычно операторы G_i представляют собой различные агрегатные функции (суммирование, нахождение максимального значения и т.д.). Система множеств \hat{R}_i определяется на основе множества R_p значений специальных атрибутов и соответствует разбиению множества элементов кластера на подмножества M_i . В приведенном примере такими атрибутами является атрибут, определяющий является ли объект подачей газа, и атрибут определяющий является ли объект отбором газа.

Введем систему предикатов $P_i(r_p), r_p \in R_p$, которая будет задавать разбиение множества элементов кластера C на подмножества M_i :

$$M_i = \{e_{i,j} / P_i(r_{p,j}) = 1\}, \quad (14)$$

где $r_{p,j}$ - вектор значений специальных атрибутов элемента $e_{i,j}$.

В случае когда G_i - некоторая агрегатная функции множества атрибутов, действующих в каждом элементе множества M_i равны между собой. Пусть S_i - множество атрибутов каждого элемента M_i , образующее множество значений атрибутов \hat{R}_i . Следует отметить, что такое построение системы \hat{R}_i использовано в (12), где S_i состоит из одного атрибута. Таким образом каждый оператор Ψ_j может быть определен следующей структурой $\langle F_j, \{S_i\}, \{G_i\}, \{P_i\} \rangle$. А оператор Ψ - множеством таких структур. Это дает возможность на практике задавать связь атрибутов обобщающих элементов с атрибутами элементов детализирующего кластера с помощью суперпозиции некоторой функции и множества агрегатных функций над значениями атрибутов подмножеств элементов детализирующего кластера. Для разбиения на такие подмножества достаточно задать предикат на множестве значений специальных атрибутов.

Заключение. В данной работе дополнена информационная модель ГТС. Предложен способ обобщения и первичного анализа информации о ГТС основанный на иерархической структуре ГТС. В результате задания оператора Ψ_j структурой вида $\langle F_j, \{S_i\}, \{G_i\}, \{P_i\} \rangle$, на практике возможным становится создания языка позволяющего задавать оператор обобщения.

Список литературы: 1. Пелешенко Д. С. Об одном классе информационных моделей газотранспортных систем – Вестник ХГТУ – 2007.-№ 3 – С 221-228 2. Гради Буч Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на С++ - издательство "Бином" 1998. - 560 стр. 3. *Matthew Rapaport*. Object-Oriented Data Bases: The Next Step in DBMS Evolution - Comp. Lang. - 5, N 10.- 1988.- 91-98

Поступила в редакцию 05.11. 07

Е. А. СОЛОВЬЕВА, д-р техн. наук,

И. В. ЦЕХМИСТРО, аспирант каф. социальной информатики, ХНУРЭ

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ В ЗАДАЧАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ НА МОДЕЛЯХ УЗЕЛ- ФУНКЦИЯ-ОБЪЕКТ

В статті розглядаються питання проектування бізнес-процесів на моделях Узел-Функція-Об'єкт. Пропонується використати імітаційне моделювання та методи випадкового пошуку, а саме, генетичні алгоритми для пошуку раціонального рішення в задачах моделювання бізнес-процесів. Виконана адаптація генетичних алгоритмів до розв'язання даних задач на моделях Узел-Функція-Об'єкт. Розроблений опис початкових варіантів ВФО діаграм моделюемого бізнес-процесу; опис цільової функції моделі бізнес-процесу; опис операторів генетичного алгоритму для ВФО моделей.

1 Введение

В настоящее время большинство задач анализа и построения моделей бизнес-процессов относятся к сложным многокритериальным [1,2], при их решении необходимо одновременно учитывать факторы неопределенности, динамическую взаимную обусловленность текущих решений и последующих событий, комплексную взаимозависимость между управляемыми переменными исследуемой системы. Хотя существуют библиотеки типовых моделей, но применить любую из них в реальной организации — отдельный проект со своими сложностями.

При этом размерность решаемых задач и неформализуемость сложных систем, к которым относятся бизнес-процессы, не позволяют использовать строгие методы оптимизации [3].

Один из возможных классов задач, связанных с принятием решения при моделировании бизнес-процессов, заключается в генерации возможных диаграмм взаимодействия компонентов бизнес-процесса, оценке этих диаграмм и выборе среди них лучшей. «Правильное» решение – это такой вариант возможной модели бизнес-процесса, который оптимизирует некоторую целевую функцию (производительность, доходность и т.п.) в пространстве рассматриваемых решений [4].

Модели и методы. Важной особенностью УФО-подхода является возможность создания информационных репозиторийев, УФО-библиотек готовых элементов: узлов и объектов, которые могут использоваться для построения модели бизнес-процесса [5]. В этой связи обеспечение имитационного моделирования в УФО-подходе позволяет проводить не только анализ процессов функционирования больших систем, но и решать задачи синтеза таких систем [6]. Так, при использовании УФО-библиотек с

большим количеством хранимых УФО-элементов и генерации множества вариантов диаграмм взаимодействия по узловым и объектным характеристикам необходимо обеспечить обоснованное их сокращение и оптимизацию. Предложено применить генетические алгоритмы (ГА) для получения приемлемого по быстродействию и качеству алгоритма построения УФО-моделей.

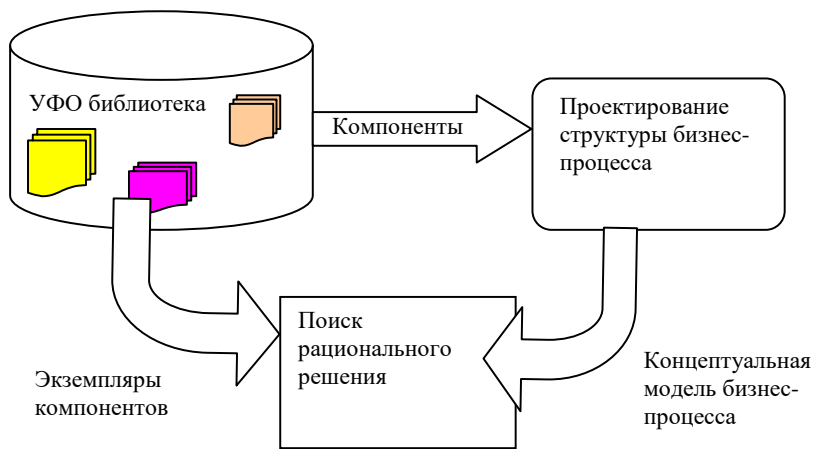


Рис. 1 – Роль алгоритмов случайного поиска в автоматизации построения УФО-модели бизнес-процесса

ГА отражают принципы естественного отбора и генетики: выживание наиболее перспективных особей, наследование и мутации. ГА ориентированы на нахождение не оптимального решения, а на поиск лучшего, чем существующие на данный момент решения. Такой подход эффективен для сложных систем, где зачастую необходимо каким-то образом улучшить текущее решение, а задача поиска оптимального решения не ставится из-за сложности системы и, как следствие, невозможности применения традиционных методов, которые направлены на нахождение оптимальных решений [7]. К таким системам зачастую относятся бизнес-процессы. Поэтому ГА можно также применять для моделирования экспертных знаний, которые представляют собой комбинацию теоретико-аналитических методов и эвристических правил решения задач, которые показали свою эффективность на практике.

Цель Исходя из вышесказанного, перспективной для исследования представляется проблема формализации и алгоритмизации процесса автоматической сборки имитационной УФО-модели бизнес-процесса. Предлагается адаптировать генетические алгоритмы к решению задачи

генерации различных вариантов модели бизнес-процессов и выбора среди них наилучшей в системах моделирования бизнес-процессов. В качестве способа представления модели бизнес-процесса в виде строки кода, обрабатываемой генетическим алгоритмом, предлагается использовать УФО-модель.

Задачи Поставленная проблема включает в себя следующие основные задачи:

- Описание начальных вариантов УФО диаграмм взаимодействия моделируемого бизнес-процесса.
- Описание целевой функции модели бизнес-процесса;
- Описание генетического алгоритма (операторов отбора, скрещивания, редукции и мутации) для УФО моделей.

2 Описание генотипа для УФО-модели

Генетические алгоритмы имитируют адаптацию живых организмов к внешним условиям в ходе эволюции. Точнее, они моделируют эволюцию целых популяций организмов и поэтому требуют достаточно больших ресурсов памяти и высокой скорости вычислительных систем. При использовании ГА альтернативные решения кодируются в виде строки символов, имеющей фиксированную длину и называющейся генотипом [7], над которыми можно производить генетические операции кроссинговера и мутации. Поэтому выбор удачного формального описания генотипа может значительно облегчить нахождение решения.

Первый шаг при решении задачи поиска состоит в том, чтобы определиться относительно объектов множества потенциальных решений. В данной задаче решением является бизнес-процесс B :

$$B = \langle S, M \rangle, \quad (1)$$

где B – бизнес-процесс, который необходимо спроектировать, $S = const$ – структура бизнес-процесса, $M = const$ – состав бизнес-процесса.

$$M = (M_1, \dots, M_R), \quad (2)$$

где M_i – i -й компонент бизнес-процесса, R – количество компонентов бизнес-процесса.

$$M_i = \{ M_{ij} \}_{j=1}^{N_i}, \quad (3)$$

где M_{ij} – j -й экземпляр i -го компонента, N_i – количество экземпляров i -го компонента.

Второй шаг, который должен предшествовать процедуре поиска состоит в выборе представления объектов B , с которыми генетический алгоритм

будет манипулировать. Представление бизнес-процесса B может быть описано в виде строки символов (2).

Исходя из цели задачи, в этом представлении не хватает УФО-модели. Очевидно, чтобы получить описание (2) объекта B в виде УФО-модели, необходимо определять его структуру S и состав M также с помощью УФО-подхода.

В системологическом подходе бизнес-система рассматривается с трех сторон. С одной стороны, как перекрестка входных и выходных связей/потоков, т.е. как Узла. С другой стороны, как процесса преобразования элементов входных потоков, в элементы выходных потоков, т.е. как Функции. С третьей стороны, как материального явления, реализующего функцию преобразования входа в выход, т.е. как Объекта.[5]

Узловая характеристика определяет структурные элементы бизнес-системы, перекрестки входных и выходных потоков. Из определений (2) и (3) следует, что состав M полностью определяется компонентами, поэтому каждый компонент M_i должен быть описан в виде УФО-узла (компонента бизнес-системы из УФО- библиотеки), а это в свою очередь означает, что каждый экземпляр компонента M_i необходимо определить в виде УФО-объекта (экземпляра компонента из УФО- библиотеки).

Рассмотрим экземпляр M_{ij} . Обозначим УФО-объект, моделирующий этот экземпляр, через U_{ij} . Учитывая то, что экземпляры разных компонентов взаимодействуют между собой, у каждого экземпляра необходимо выделить входы и выходы, которые, естественно, будут моделироваться входами и выходами U_{ij} . Множество входных и выходных портов обозначим через IN_{ij} и OUT_{ij} соответственно.

Теперь рассмотрим компонент M_i . Структура этого компонента полностью определяется тем экземпляром M_{ij} , который его представляет. Компоненты взаимодействуют между собой через входы и выходы, моделируемые множеством входных и выходных портов, которые будут обозначаться через IN_i и OUT_i соответственно. Естественно, что между элементами множеств IN_{ij} и IN_i , а также OUT_{ij} и OUT_i должны существовать взаимно однозначные соответствия $F_{IN}^{ij}: IN_{ij} \rightarrow IN_i$ и $F_{OUT}^{ij}: OUT_{ij} \rightarrow OUT_i$. Такое соответствие заведомо выполняется для УФО-объекта принадлежащего заданному узлу, см. рис. 2.

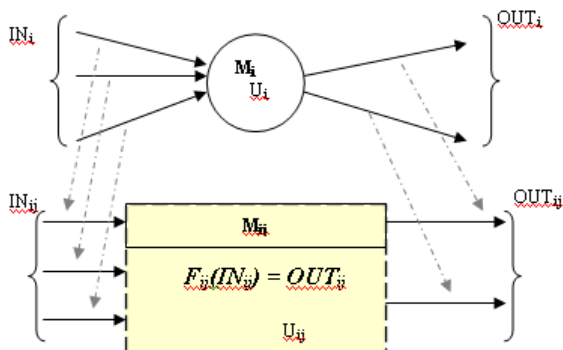


Рис 2 Соответствие между узлом и объектом

Обозначим УФО-узел, моделирующий компонент M_i , через U_i . Если компонент M_i , представлен экземпляром U_{ij_o} , то $U_i = U_{ij_o}$.

Наконец, рассмотрим структуру S бизнес-процесса B . Она полностью определяется взаимосвязями между компонентами, которые естественно моделировать связями между УФО-узлами. Обозначим множество таких связей через C . Каждая связь $c_r \in C$ соединяет определенный выходной порт узла U_j с определенным входным портом узла U_k .

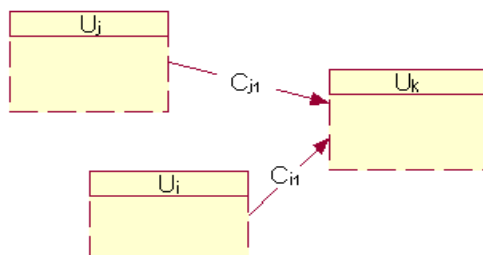


Рис. 3 Связи между узлами УФО-модели бизнес-процесса

Следовательно, соответствие $F : C \rightarrow \bigcup_{i=1}^R (IN_i \cup OUT_i)$ полностью определяет структуру S объекта B .

УФО-модель, моделирующую бизнес-процесс B , можно описать в виде кодовой строки

$$U = \langle U_1, \dots, U_i, \dots, U_R, C, F \rangle, \quad (4)$$

где U_i – УФО-модель компонента M_i , а множество связей C и соответствие F определяют структуру S объекта B .

3 Описание целевой функции и алгоритма решения

Для реализации алгоритма поиска в пространстве представлений необходимо ввести функцию оценки представлений B . Согласно поставленной задаче, из всех возможных моделей бизнес-процесса B необходимо выбрать такую, которая обладала бы заданным свойством. В качестве свойства объекта можно рассматривать его реакцию на входные сигналы [5]. Свойство объекта определяется тем, какой выходной сигнал выдает объект на поступающий входной сигнал (за заданный промежуток модельного времени). Поэтому у бизнес-процесса B следует выделить входы и выходы, которые будут моделироваться портами УФО-узла. Множества входных и выходных портов обозначим через IN и OUT соответственно.

Свойством бизнес-процесса B будем называть пару неотрицательных целочисленных векторов

$$Z_{IN} = (z_1^{IN}, \dots, z_a^{IN}, \dots, z_A^{IN}) \text{ и } Z_{OUT} = (z_1^{OUT}, \dots, z_b^{OUT}, \dots, z_B^{OUT}),$$

где z_v^{IN} – числовое значение, поступивших на a -ый входной порт перед запуском имитации U , z_w^{OUT} – числовое значение, полученное на b -ом выходном порту после остановки имитации U , A и B – количество элементов множеств IN и OUT соответственно.

Множество P свойств, которыми может обладать проектируемый объект, моделируется множеством $Z = \{Z_k\}_{k=1}^L$, где $Z_k = (Z_{IN}^k, Z_{OUT}^k)$ – модель свойства P_k в виде пары неотрицательных целочисленных векторов.

Таким образом, поставленная задача сводится к следующей. Среди всех гипотетически возможных моделей U бизнес-процесса B найти такую, которая обладает свойством Z_k .

Для того чтобы проверить, обладает ли модель U свойством Z_k , необходимо сформировать эту модель, на ее вход IN подать вектор Z_{IN}^k , запустить имитационную модель U и после ее остановки сравнить значения на выходе OUT с вектором Z_{OUT}^k . Учитывая, что модель, обладающая заданным свойством может вообще не существовать, переформулируем поставленную задачу найти среди всех гипотетически возможных моделей U объекта бизнес-процесса B такую, которая ближе всего к свойству Z_k .

Для этого необходимо определить меру близости модели U к свойству Z_k . Сначала необходимо на вход IN модели подать вектор Z_{IN}^k и получить на выходе вектор Z_{OUT} . Меру близости будем определять, привлекая понятие метрического пространства [8,7] и рассматривая полученный вектор Z_{OUT} и эталонный вектор Z_{OUT}^k как элементы евклидова пространства \mathfrak{R}^D –

множества упорядоченных наборов из D действительных чисел $x = (x_1, \dots, x_D)$ с расстоянием

$$fitness(x, y) = \sum_{w=1}^{W_0} |x_w - y_w|, \quad (5)$$

где $y = (y_1, \dots, y_D)$.

Чем меньше $fitness(Z_{OUT}, Z_{OUT}^k)$, тем ближе модель U к свойству Z_k . Если $fitness(Z_{OUT}, Z_{OUT}^k) = 0$, то модель U обладает свойством Z_k . Расстояние $fitness$ - целевая функция.

4 Описание генетических операторов применительно к УФО-моделям

Множество генотипов, непосредственно обрабатываемое ГА, называется популяцией. ГА имитирует эволюцию популяции как циклический процесс скрещивания генотипов и смены поколений. Жизненный цикл популяции - это несколько случайных скрещиваний (кроссовера) и мутаций, в результате которых к популяции добавляется какое-то количество новых индивидуумов (генотипов). Отбор в генетическом алгоритме - это процесс формирования новой популяции из старой, после чего старая популяция погибает. После отбора к новой популяции опять применяются генетические операторы (кроссовера и мутации), затем опять происходит отбор, и так далее.

Операторы ГА манипулируют генотипами, представленными в виде кодовой строки символов [7]. Кодовая строка является УФО-моделью, для вычисления ее целевой функции можно использовать аппарат имитационного моделирования. Таким аппаратом является продукционная система имитационного моделирования на УФО-моделях [6].

Перед первым этапом генетического алгоритма необходимо случайным образом создать некую начальную популяцию; даже если она окажется совершенно неконкурентоспособной, генетический алгоритм все равно достаточно быстро переведет ее в жизнеспособную популяцию. Итогом первого шага является популяция $H = (U^1, \dots, U^{2n})$, состоящая из $2n$ особей, (предполагается, что размер популяции - четное число), где U^i - i -я модель проектируемого бизнес-процесса в виде имитационной УФО-модели.

Оператор отбора получает начальную популяцию, вычисляет значение целевой функции каждого генотипа U^i и упорядочивает генотипы в порядке возрастания целевой функции, тем самым, моделируя образование пар $U^{j_{2i-1}}$ и $U^{j_{2i}}$ родителей для новой популяции.

Оператор скрещивания будет скрещивать генотипы $U^{j_{2i-1}}$ и $U^{j_{2i}}$ и выдавать $U_*^{j_{2i-1}}$ и $U_*^{j_{2i}}$. Генотипы преобразуются по следующему правилу:

1. Случайным образом из множества $\{1, 2, \dots, R\}$ выбирается некоторое число, которое мы обозначим через r .

2. В генотипах $U^{j_{2i-1}}$ и $U^{j_{2i}}$ выделяем модель r -го узла/компонента

$$U^{j_{2i-1}} = \langle U_1^{j_{2i-1}}, \dots, U_r^{j_{2i-1}}, \dots, U_R^{j_{2i-1}}, C, F \rangle$$

$$U^{j_{2i}} = \langle U_1^{j_{2i}}, \dots, U_r^{j_{2i}}, \dots, U_R^{j_{2i}}, C, F \rangle$$

3. Меняем местами выделенные компоненты и получаем новые модели рис. 4.

$$U_*^{j_{2i-1}} = \langle U_1^{j_{2i-1}}, \dots, U_r^{j_{2i}}, \dots, U_R^{j_{2i-1}}, C, F \rangle$$

$$U_*^{j_{2i}} = \langle U_1^{j_{2i}}, \dots, U_r^{j_{2i-1}}, \dots, U_R^{j_{2i}}, C, F \rangle$$

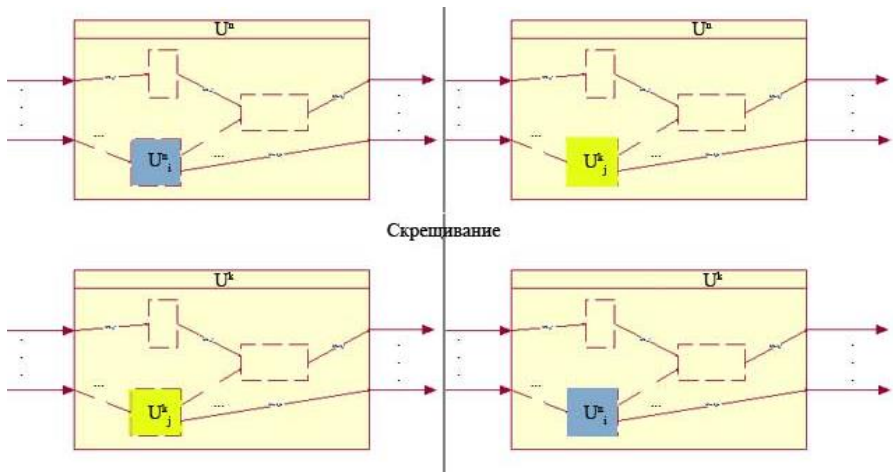


Рис. 4 Действие оператора скрещивания

Оператор мутации получает на вход $U_*^{j_{2i}}$, осуществляет мутацию и выдает новый генотип $U_{**}^{j_{2i}}$. Хромосома подвергается мутации по следующему правилу:

1. Случайным образом из множества $\{1, 2, \dots, R\}$ выбирается некоторое число, которое мы обозначим через r .

2. В генотипе $U_*^{j_{2i}}$ выделяем модель r -го компонента

$$U_*^{j_{2i}} = \langle U_1^{j_{2i}}, \dots, U_r^{j_{2i}}, \dots, U_R^{j_{2i}}, C, F \rangle$$

3. Из множества $\{U_{rj}\}_{j=1}^{M_r}$ моделей УФО-объектов, реализующих r -й узел (компонент) в УФО- библиотеке случайным образом выбирается новая модель, которую обозначим через $U_{r_{new}}^{j_{2i}}$, заменяем ею компонент $U_r^{j_{2i}}$ и получаем новую модель, рис. 5.

$$U_{**}^{j_{2i}} = \langle U_1^{j_{2i}}, \dots, U_{r_{new}}^{j_{2i}}, \dots, U_R^{j_{2i}}, C, F \rangle$$

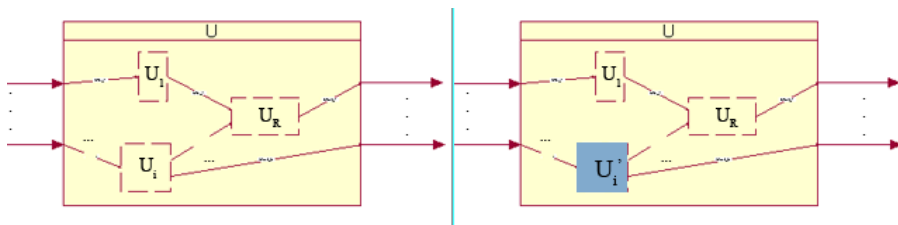


Рис. 5 Действие оператора мутации

Оператор редукции получает новое поколение популяции, вычисляет значение целевой функции каждого генотипа U^i , сравнивает с предыдущим поколением и удаляет худшие генотипы, моделируя выживание сильнейших особей.

Алгоритм решения можно описать следующим образом:

1. Для каждого компонента M_i построить модель U_{ij} каждого его экземпляра M_{ij} (в случае использования готовых компонентов загрузить УФО-библиотеку).
2. Построить структуру S , определив УФО-узлы (компоненты бизнес-процесса) и связи между ними.
3. Сформировать начальную популяцию H .
4. Задать свойство P_k , которым должен обладать бизнес-процесс B , в виде пары векторов $Z_k = (Z_{IN}^k, Z_{OUT}^k)$.
5. Задать параметры ГА: количество циклов работы модели ГА и условие ее завершения в виде значения целевой функции $fitness$.
6. Запустить модель ГА подав на вход начальную популяцию H .
7. После завершения работы ГА получим модель U объекта B , которая лучше всех удовлетворяет заданному свойству Z_k .

5 Заключение

Важной особенностью системологического подхода является возможность создания информационных репозиториях готовых компонентов, которые могут использоваться для построения модели бизнес-процесса [5]. При использовании УФО-библиотек с большим количеством хранимых УФО-элементов применение имитационного моделирования дает возможность автоматизированного построения вариантов УФО- модели бизнес-процесса и поиска среди них рационального решения методами случайного поиска, а именно генетических алгоритмов.

Научная значимость: выполнена адаптация генетических алгоритмов к решению задачи генерации различных вариантов модели и выбора среди них рационального решения в системах моделирования бизнес-процессов. Разработаны описание начальных вариантов УФО-диаграмм моделируемого бизнес-процесса; описание целевой функции модели бизнес-процесса; описание операторов генетического алгоритма для УФО-моделей.

Практическая значимость: применение генетических алгоритмов для сужения поиска оптимальных компонентов модели бизнес-процесса из УФО-библиотек значительно повышает эффективность и скорость проектирования бизнес-процессов, что имеет большую практическую ценность в современных условиях рыночной конкурентной борьбы, когда на первое место выходит скорость генерации новых идей.

Список литературы: 1. Емельянов В.В., Ясиновский С.И. Введение в интеллектуальное имитационное моделирование сложных систем и процессов. Язык РДО. М.: АНВИК, 1998. 427 с. 2. Цехмистро И.В. Методы и средства имитационного моделирования бизнес-процессов. // Вестник НТУ «ХПИ», 2005, №41. 3. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. М.: Высш. шк., 1998. 319с. 4. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений. – М.: «Синтег». 5. Маторин С.И. Анализ и моделирование бизнес-систем: системологическая объектно-ориентированная технология / Под редакцией проф. М.Ф. Бондаренко. Харьков: ХНУРЭ, 2002. 6. Цехмистро И.В. Имитационное моделирование бизнес-процессов. // «Единое Информационное Пространство - 2006», 2006. 7. Эволюционные вычисления и генетические алгоритмы. Обзорные прикладной и промышленной математики. Вып. 5. М.: ТВП. Т.3. 1996. 8. Колмогоров А.Н., Фомин С.В. Элементы теории функций и функционального анализа: Учебник для вузов. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. 624 с.

Поступила в редколлегию 07.07.07

И. В. ГРЕЧКО, студент каф. АСУ НТУ «ХПИ»,
Д. Л. ОРЛОВСКИЙ, доцент каф. АСУ НТУ «ХПИ»

РАСПОЗНАВАНИЕ СОСТОЯНИЯ КЛИЕНТА ПРИ СИТУАЦИОННОМ УПРАВЛЕНИИ ВЗАИМООТНОШЕНИЯМИ С КЛИЕНТАМИ

В статті пропонується підхід, зв'язаний з використанням засобів теорії розпізнавання образів для діагностування поведінки клієнтів при ситуаційному управлінні взаємовідносинами з клієнтами. Розглядається методика побудови двовірних зображень проблемних ситуацій, які можливо використовувати для класифікації та діагностування проблемних ситуацій стану клієнта.

В статье предлагается подход, связанный с использованием средств теории распознавания образов для диагностики поведения клиентов при ситуационном управлении взаимоотношениями с клиентами. Рассматривается методика построения двумерных изображений проблемных ситуаций, которые можно использовать для классификации и диагностики проблемных ситуаций состояния клиента.

In the article the approach offered to use of means of the theory of pattern recognition for diagnostics of behavior of the clients at situation's management by mutual relation to the clients. The technique of construction of the images of problem situations are considered (examined) which can be used for classification and diagnostics of problem situations of a status of the client.

Введение. Маркетинговый подход к управлению предприятием предусматривает ориентацию на потребителя (клиента) таким образом, что большое значение приобретают исследования деятельности клиентов, их поведения и разработка мероприятий влияния на потребительское поведение. Реакция клиента является переменной составляющей. Потребитель меняется, происходит эволюция потребительского поведения. На эти изменения необходимо оперативно и системно реагировать.

Используя ситуационный подход, менеджеры могут понять, какие методы и средства будут наилучшим образом способствовать достижению целей организации в конкретной ситуации [1]. Причем схожие ситуации можно объединить в определенную группу – класс, чтобы затем при возникновении какой-либо проблемных ситуации принимать решение, опираясь на опыт разрешения подобных ситуаций в прошлом. Проблемная ситуация при этом представляет собой существенное отклонение фактического состояния от запланированного.

Постановка задачи. В таком случае возникает необходимость построения системы распознавания поведения клиентов, что позволит при сопоставлении полученных апостериорных данных об этом клиенте с данными, заключенными в априорном описании всех классов поведения клиента на языке признаков, определить к какому классу (типу поведения) относится данный клиент, то есть позволяет произвести его распознавание.

Необходимость заключается в том, что с помощью данной системы при появлении проблемной ситуации повторно, уже будут известны некоторые подходы для преодоления данной проблемы.

Для построения системы распознавания состояния клиентов необходимо:

- провести сбор информации о клиентах (получение априорной информации);
- определить полный перечень признаков (параметров), характеризующих клиентов;
- провести первоначальную классификацию распознаваемых объектов (клиентов), в составлении априорного алфавита классов;
- определить решающие правила, которые обеспечивают отнесение распознаваемого объекта к тому или другому классу.

Математическое и алгоритмическое обеспечение решения задачи.

Показатели деятельности клиента для проведения диагностики удобно свести к матрице $A = \{a_{ij}\}$, которая состоит из M строк и P столбцов, где M – период (время) анализа деятельности (состояния); P – число показателей, вошедших в список для проведения диагностики; a_{ij} – j -й показатель из этого списка i -го периода.

Используя, данные представленные в матрице A , можно рассчитать для каждого периода i матрицу результативности R_t , $i=t, i=1,2..M$ или $t=1,2..T$. Матрица результативности характеризует структурные особенности деятельности клиента в каждый момент времени [2].

При этом учитывается следующее правило:

$$r_{ij} = \begin{cases} a_i / a_j, & i, j = \overline{1, P}, \\ 0, & \text{если } a_j = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Для построения двумерных изображений ситуаций поведения клиента, далее необходимо перейти к бинарным признакам, еще их называют, булевыми, или часто используют термин «дихотомические признаки» [3]. После проведения дихотомизации номинальные измерения становятся доступны для применения широкого спектра различных методов многомерного количественного анализа с учетом специфики данного вида измерений. Для процедуры дихотомизации необходим объект, с которым будет осуществляться сравнение имеющихся показателей. Нормативное (эталонное) состояние клиента (эталонные показатели его деятельности) можно также представить в виде матрицы A^* . Аналогичным образом рассчитываются матрицы результативности для эталонного состояния клиента.

Значение признаков для эталонного поведения клиента получают, например, как усредненные значения показателей деятельности клиентов, поведение которых не представляет собой проблемную ситуацию.

Для получения двумерного изображения состояния клиента необходимо сопоставить матрицы результативности, построенные для фактических показателей деятельности клиента R_t , с матрицами результативности для нормативных показателей (эталонных) R_t^* .

Получаем матрицы сравнения, элементы которых содержат бинарные значения, Bt , $t=1,2..T$. Таким образом, получены двумерные изображения, которые характеризуют отличия изображений фактического и эталонного поведения клиентов. При этом учитывается следующее условие:

$$b_{ij} = \begin{cases} 1, \text{если } r_{ij} > r_{ij}^* & i, j = \overline{1, P}, \\ 0, \text{если } r_{ij} < r_{ij}^* \text{ или } r_{ij} = r_{ij}^* = 0. \end{cases} \quad (2)$$

В этом случае на изображении Bt элементы со значением 1 относятся к объекту, а элементы со значением 0 к фону. Под объектом понимают состояние клиента (его деятельность). Если состояние клиента представляет собой проблемную ситуацию, то Bt представляет собой изображение этой проблемной ситуации. Таким образом проблемная ситуация может быть представлена бинарным изображением. И такие изображения проблемных ситуаций в дальнейшем при управлении взаимоотношениями с клиентами могут быть использованы для диагностирования поведения клиентов (распознавания состояния клиентов) с помощью средств и методов теории распознавания образов.

Прежде чем использовать какой-либо подход для определения решающих правил, которые порождают в пространстве образов границы, отделяющие образы, принадлежащие различным классам, необходимо определить эти классы. Как один из подходов к решению данной задачи может быть использован метод K -внутригрупповых средних определения кластеров [4], общая схема которого приведена на рис.1.

После процедуры определения кластеров и их состава, необходимо построить систему решающих функций, которая обеспечит отнесение, представляемого к распознаванию, образа к одному из кластеров. То есть определение, к какой проблемной ситуации относится состояние распознаваемого образа.

При использовании подхода, основанного на использовании потенциальных функций Решающие функции для классификации образов можно получить из потенциальных функций для векторов, представляющие выборочные образы x_k , $k=1,2,3\dots$, в пространстве образов [5]. Следовательно, первоочередной задачей является выбор потенциальной функции.



Рисунок 1 – Схема процесса определения кластеров

При обсуждении математических свойств алгоритмов метода потенциальных функций часто используется разложение в бесконечный ряд, очевидно, что с практической точки зрения это бесполезно. Обычно при реальном построении потенциальных функций пользуются двумя основными методами. Первый заключается в применении усеченных рядов. Второй метод использует некую симметричную функцию двух переменных x и x_k в качестве потенциальной функции. Требуется, чтобы выбранные функции допускали разложение в бесконечный ряд. Например, при диагностике состояния клиентов в частности, можно использовать следующую функцию:

$$K(x, x_k) = \exp\{-\alpha \|x - x_k\|^2\}, \quad (3)$$

где α - положительная константа, а $\|x - x_k\|$ - норма вектора $(x - x_k)$.

На этапе обучения выборочные образы предъявляются системе, которая последовательно вычисляет значения соответствующих потенциальных функций. Кумулятивный потенциал на k -м шаге итераций определяется совокупностью значений отдельных потенциальных функций. Этот кумулятивный потенциал, который обозначаем через $K_k(x)$, определен таким образом, чтобы при неправильной классификации образа обучающей выборки x_{k+1} производилась коррекция значения кумулятивного потенциала.

Если же этот образ классифицируется правильно, то на данном шаге итерации значение кумулятивного потенциала не изменяется.

$$K_{k+1}(x) = K_k(x) + r_{k+1}K(x, x_{k+1}), k = \overline{1, W-1}, \quad (4)$$

где W – количество образов обучающей выборки (количество клиентов);

r_{k+1} – коэффициенты при корректирующем члене определяются соотношениями:

$$r_{k+1} = \begin{cases} 0 & \text{при } x_{k+1} \in \omega_1 \text{ и } K_k(x_{k+1}) > 0 \text{ или } x_{k+1} \in \omega_2 \text{ и } K_k(x_{k+1}) < 0, \\ 1 & \text{при } x_{k+1} \in \omega_1 \text{ и } K_k(x_{k+1}) \leq 0, \\ -1 & \text{при } x_{k+1} \in \omega_2 \text{ и } K_k(x_{k+1}) \geq 0. \end{cases} \quad (5)$$

Так как рассматриваемый подход предполагает разделение образов на два класса - ω_1, ω_2 , то в случае нескольких классов (кластеров) воспользуемся последовательным применением алгоритма, обеспечивающего разделение двух классов, в результате чего получаем систему решающих функций. Для этого последовательно будем разделять множество кластеров на 2 класса, используя следующее правило:

$$\omega_1 = S_i, \quad i = \overline{1, K}, \quad \omega_2 = \bigcup_{j=1, K} S_j, \quad j \neq i, \quad (6)$$

где K – число кластеров.

Следовательно после выполнения K раз алгоритма, получаем систему из K решающих функций, что говорит о том что каждый кластер отделяется от всех остальных отдельной решающей функцией. При чем решающая функция может быть получена лишь в том случае, если получен цикл итераций, в котором ошибки отсутствовали (не проводились коррекции кумулятивного потенциала). Решающая функция при этом представляет собой: $d_i(x) = K_w(x)$, $i = \overline{1, K}$. В результате, распознавание образа осуществляется по следующей схеме (рис. 2).

Получен объект нового кластера, если функция $d_i(x)$ больше нуля при более чем одном значении i . Это верно и при $d_i(x) < 0$ для всех i .

Информационное обеспечение решения задачи. Структура программного обеспечения, реализующего решение задачи диагностики состояния клиента, приведена на рис. 3. Выделяется 3 основных модуля для решения задачи диагностики поведения клиентов. Модуль, отвечающий за работу с данными, обеспечивает обновление данных о деятельности клиента (покупках, заказах и т.д.).



Рисунок 2 – Схема процесса распознавания образов

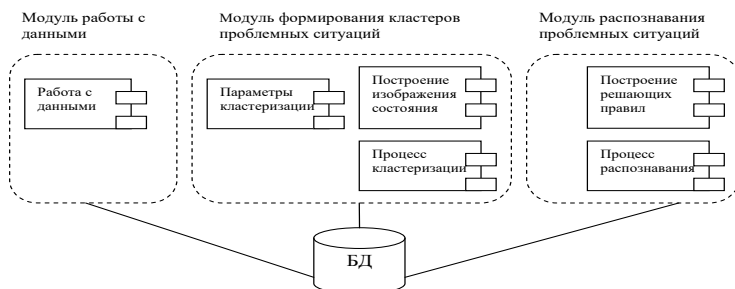


Рисунок 3 – Общая структура программного обеспечения

При формировании кластеров проблемных ситуаций реализуются модули построения изображения состояния клиента, процесс кластеризации. Результаты кластеризации добавляются в базу данных. Непосредственно распознавание обеспечивается модулем распознавание проблемных ситуаций.

Заключение. Результаты, полученные при проведении контрольных расчетов, показали возможность представления состояния клиента в виде бинарных изображений, которые в свою очередь могут быть использованы для распознавания состояния на основе использования методов распознавания образов.

Список литературы: 1. *Поспелов Д.А.* Ситуационное управление теория и практика.– М.: «Наука»,1986. 2. *Вартанов А.С.* Экономическая диагностика деятельности предприятия: организация и методология. - М.:Финансы и статистика,1991. 3. *Миркин Б.Г.* Анализ качественных признаков и структур.— М.: Статистика, 1980. 4. *Ванник В.Н., Червоненкис А.Я.* Теория распознавания образов. М.: Наука, 1974. 5. *Ту Дж., Гонсалес Р.К.* Принципы распознавания образов. – М.: Мир, 1978.

Поступила в редколлегию 20.11.07

Л. Ф. НИКОЛАЕНКО, канд. техн. наук, профессор, Международный Славянский университет, г. Харьков

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПЕРСОНАЛА В РЕГИОНЕ

Сформульовані основні напрямки вдосконалення системи управління персоналом, внесені основні зміни в модель системи, а також сформульовані критерії оцінки ефективності для наступного вибору найбільш прийнятних управлінських рішень.

Сформулированы основные направления совершенствования системы управления персоналом, внесены основные изменения в модель системы, а также сформулированы критерии оценки эффективности для последующего выбора наиболее приемлемых управленческих решений.

There are basic ways for personal management system improving formulated, basic changes into the model of the system included, and the criteria of effectiveness evaluation formulated for the further choice of the most acceptable management.

Общая постановка задачи. Персонал региона как объект статистического исследования может быть рассмотрен, на наш взгляд, с нескольких сторон: во-первых, может быть исследован количественно-качественный состав персонала, во-вторых, эффективность управления персоналом [1, 2]. При выборе критериев оценки количественно-качественного состава региона, следует учитывать несколько факторов:

- во-первых, для решения каких конкретных задач используются результаты оценки;
- во-вторых, для какой категории работников устанавливаются Критерии, учитывая, что они будут дифференцироваться в зависимости от сложности, ответственности и характера деятельности.

Способ и методы решения поставленной задачи. В отдельных работах по статистике авторы предлагают использовать следующую систему частных показателей эффективности управления персоналом (табл. 1). Мы присоединяемся к их мнению и, принимая во внимание комплексность структуры регионов, считаем, что на основе данных групп факторов с несколькими уточнениями у руководителей региона появляется возможность оценить объем продукции, произведенный имеющимся персоналом в соответствии с определенной классификацией [3].

Для этого можно представить динамический ряд несколькими уровнями результативного показателя, в частности, показателями объема дохода за несколько лет, а также среднегодовой численностью персонала и среднегодовой выработкой. Возникает необходимость определить влияние изменения отдельных факторов на прирост результативного показателя с помощью индексной факторной модели [4].

Система частных показателей эффективности управления персоналом

Направление анализа		Показатели
1	2	3
Показатели состава персонала	Состав по квалификации	Средний взвешенный тарифный разряд работников
		Удельный вес работников соответствующей квалификации, %
	Состав по образованию	Доля работников имеющих: среднее; неполное высшее; высшее образование, %
		Доля мужчин (женщин) в общей численности персонала, %
	Состав персонала по семейному положению	Доля состоящих (не состоящих) в браке работников, %
		Доля работников, имеющих детей, %
		Доля не состоящих в браке работников имеющих детей, %
	Состав работников по возрасту	Доля работающих в возрасте: моложе 20 лет; 20-35 лет; 36-50 лет; старше 50 лет в общей численности работников, %
Средний возраст работников, лет		
Состав работников по стажу работы	Средний взвешенный стаж работы в компании, лет	
	Доля работающих на фирме: менее 1 года; 1-3 года; 3-5 лет; 5-10 лет; свыше 10 лет, %	
Состав работников по вредным привычкам	Доля курящих работников в общей численности персонала, %	
	Доля работников употребляющих алкоголь: менее 50 г/нед.; 50-200 г/нед.; более 200 г/нед. в численности персонала, %	
Социальные показатели	Уровень оплаты труда	Средняя заработная плата, грн
		Задержки заработной платы, дн.
		Расходы на социальные выплаты и льготы, грн.
		Средняя заработная плата руководителей, грн.
	Условия труда	Удельный вес работающих во вредных условиях труда, %
		Средний размер площади на одного работника, м ²
		Уровень заболеваемости, чел.
		Расходы на содержание социальной инфраструктуры, грн.
Организационно-структурные показатели	Состав персонала по категориям	Расходы на выплату льгот и компенсаций за неблагоприятные условия труда, грн.
		Удельный вес соответствующей категории в общей численности персонала, %
		Число основных работников на одного работника аппарата управления, чел.
	Обеспеченность персоналом	Доля работников аппарата управления в общей численности персонала, %
		Численность персонала, чел.
		Количество вакантных мест, единиц
		Количество претендентов на одно вакантное место, чел.

	Режим работы	Доля работников работающих в режиме гибкого графика в общей численности персонала, % Продолжительность рабочего дня, час.	
	Использование персонала	Коэффициент использования персонала, % Величина простоев, час. Среднее время, затрачиваемое работниками на дорогу на работу и с работы, час.	
Показатели развития персонала		Статистика профессионального обучения	Доля работников, прошедших профессиональное обучение в течение периода, % Доля часов, затраченных на профессиональное обучение, в общем балансе времени фирмы, % Среднее число часов профессионального обучения на одного обученного, час. Величина издержек на профессиональное обучение, грн.
			Квалификационное продвижение

В частности, по консорциуму "Альфа-групп" имеется динамический ряд данных за базисный год (2003 г.) и за последующие годы работы (табл. 2).

Таблица 2

Динамика объема реализации, численности персонала и выработки в регионе "Альфа-групп" за 2003-2006 гг.

Годы	2006	2005	2004	2003
Выручка от реализации, млн. долл.	138352,9	37763,2	6405,2	3163,2
Среднегодовая численность, чел.	18 900	18 300	18 600	17 700
Среднегодовая производительность, млн. долл. / чел.	7,320	2,064	0,344	0,179

Влияние изменений каждого из перечисленных факторов на динамику средней производительности можно оценить обычными индексами

фиксированного состава и структурных сдвигов. Исходная для анализа модель будет иметь вид:

$$W_{\text{БН}} = \sum W_0 d_0 ,$$

$$W_x = \sum W_{\text{БН}} d_{\text{БН}} = \sum \left(\sum W_0 d_0 \right) d_{\text{БН}} ,$$

где W_0 - уровень производительности труда в каждом предприятии бизнес-направления региона;

$W_{\text{БН}}$ – средняя по бизнес-направлению региона производительность труда;

W_x – средняя производительность по региону;

d_0 – доля предприятия в общем объеме численности персонала бизнес-направления;

$d_{\text{БН}}$ – доля бизнес-направления в общем объеме численности персонала региона.

Таким образом, динамика средней по региону производительности труда может быть окончательно представлена следующей системой индексов:

$$\frac{W_{\text{ДКО1}}}{W_{\text{ДКО0}}} = \frac{W_{\text{ДКО1}}}{\sum W_{00} d_{01} d_{\text{БН1}}} * \frac{\sum W_{00} d_{01} d_{\text{БН1}}}{\sum W_{\text{БН0}} d_{\text{БН1}}} * \frac{\sum W_{\text{БН0}} d_{\text{БН1}}}{W_{\text{ДКО0}}} .$$

На основе расчета факторов данной модели можно выявить влияние каждого из них на динамику производительности персонала региона. Рассмотрим подробнее теорию мотивации.

По нашему мнению, теория Вроома, относящаяся к так называемым теориям инструментария, или ожидания, наиболее близка к системам регионов. Она имеет немаловажное значение для мотивации труда и поэтому занимает существенное место в теории управления. Основу этой теории составляют три компонента мотивационного процесса:

Валентность (V):

Она выражает степень предпочтения индивидом определенных объектов или действий по отношению к заданной цели или конечному результату.

Инструментальность (I):

Она является эталоном субъективной оценки достигнутого результата со стороны индивида. Значение инструментальное может лежать в интервале между -1 (т.е. исходное действие не ведет к достижению цели) и +1 (т.е. исходное действие ведет к достижению цели).

Ожидание (E):

Вероятность конкретного исходного действия находится в интервале между 0 и 1. Ожидание выражает в данном случае вероятность достижения этого определенного результата.

Валентность результата действия (V) зависит при этом от валентности конечного результата и инструментальности действия. Это можно выразить с помощью следующего уравнения:

$$V_j = f_j * \left[\sum_{k=1}^n (V_k I_{jk}) \right], \quad j = 1, 2, \dots, n,$$

где V_j - валентность результата действия j ;

V_k - валентность результата k ;

I_{jk} - инструментальность результата действия j , необходимого для достижения конечной цели k .

Величина усилия, необходимого для совершения действия, ведущего к достижению результата, выводится из следующего уравнения:

$$F_i = f_i * \left[\sum_{j=1}^n (E_{ij} V_j) \right], \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

где F_j – величина усилия, необходимого для совершения действия, ведущего к достижению результата;

E_{ij} – субъективная вероятность ожидания, что действие i приведет к результату j ;

V_j – валентность результата действия j .

Это уравнение показывает, что усилие индивида достичь своих целей представляет собой функцию его ожидания и валентности ожидаемого результата. Таким образом, работник будет стремиться к достижению высокой производительности труда в том случае, если он:

1) достаточно уверен в том, что его личные усилия окажутся небесполезными для достижения высокой производительности труда;

2) достаточно уверен в том, что высокая производительность труда ведет к достижению желаемых целей и результатов;

3) эти цели и результаты, например оплата, являются для него позитивными и привлекательными.

При эмпирической проверке теории VIE особую трудность представляет определение величины значений валентности и ожиданий. Практическое применение этой методики ограничено по той причине, что у работника фактически нет альтернатив при выборе значений валентности и ожидания, поскольку в конкретных производственных ситуациях возможности выбора ограничены.

Статистика кадровой структуры дает сведения о составе коллектива. При этом она подразделяется по различным признакам, например на рабочих и служащих, количество трудящихся мужчин и женщин, обученных, необученных и получивших квалификацию без отрыва от производства, на рабочем месте, отдельных специальностей, семейное положение, длительность работы

на производстве. Информационная статистика информирует о развитии коллектива в течение ряда лет, о возрастном и кадровом составе. Примерный список структурных данных (структурных квот) приведен в табл. 3.

Таблица 3

Сводная таблица структурных квот

Наименование показателя	Формула	Условные обозначения
Рабочая квота (КВ ₁)	$KB_1 = \frac{N_W}{N_j} * 100\%$	N_W – число рабочих; N_j – общее количество кадров
Квота служащих (КВ ₂)	$KB_2 = \frac{N_s}{N_j} * 100\%$	N_s – число служащих
Иностранная квота (КВ ₃)	$KB_3 = \frac{N_P}{N_j} * 100\%$	N_P – число иностранных рабочих
Квота специалистов (КВ ₄)	$KB_4 = \frac{N_{SP}}{N_j} * 100\%$	N_{SP} – число специалистов
Потребность в замене	$KB_5 = \frac{\overline{N_T}}{T_w} * 100\%$	$\overline{N_T}$ – среднее количество кадров; T_w – средний срок работы

Производственный возрастной состав – это важная деталь в планировании, касающаяся сотрудников, которые по достижении возрастной границы в следующие плановые периоды должны покинуть предприятие или быть заменены. Этот инструмент приобретает особое значение для набора кадров и планирования смены.

Для того чтобы получить более глубокое представление о возрастной структуре коллектива, можно составить отдельные возрастные пирамиды раздельно для различных групп необученных или обученных на рабочем месте сотрудников, специалистов, технических и коммерческих служащих, руководящих служащих и т.д.

Статистика кадрового состава показывает избыток или недостаток в сравнении с плановой потребностью в кадрах в отдельных организационных единицах.

Статистика движения кадров показывает приход и уход кадров. Особый интерес здесь представляют определение текучести рабочей силы и учет несчастных случаев на производстве.

Текучесть рабочей силы выражена цифровым показателем, при котором убыль (отток) за какой-то период ставится в соотношение с общим количеством работников. К оттоку работников причисляются не только добровольная

или недобровольная смена рабочего места, но и ранняя инвалидность, смерть, начало учебы или совершенствование профессии, а также призыв на военную службу.

Приведенные цифры текучести различны по величине по отношению к оттоку. Наиболее известны формулы, приведенные Шлютером и Федеральным объединением немецких рабочих союзов.

Формула Шлютера:

$$K_{\text{КАДРЫ}}^1 = \frac{\text{Число уходов}}{\text{Первоначальное количество} + \text{приход}} * 100\% .$$

В формуле Шлютера знаменатель увеличен за счет прихода и отсюда показатель становится меньше, т.е. текучесть становится слишком низкой. Формула Федерального объединения немецких рабочих союзов:

$$K_{\text{КАДРЫ}}^1 = \frac{\text{Число уходов}}{\text{Среднее число занятых}} * 100\% .$$

Поскольку в подсчете потребности в кадрах исключается плановый кадровый состав, то кажется целесообразным привести уход в соотношение со средним плановым составом:

$$K_{\text{КАДРЫ}}^1 = \frac{\text{Число уходов}}{\text{Средний плановый кадровый состав}} * 100\% .$$

При этом средний плановый кадровый состав взят из штатного расписания. Для того чтобы можно было провести мероприятия по ограничению текучести, целесообразно подсчитать цифровые данные по текучести, например по отделам, цехам, профгруппам, возрастным группам, среди трудящихся мужчин и женщин, чтобы определить виды текучести рабочей силы . Цифры для всего коллектива мало о чем говорят, т.к. нельзя определить текучесть в отдельных частях. Истинные причины не всегда можно распознать также при наличии цифровых данных по отдельным разделам. Формула Шлютера:

$$K_{\text{КАДРЫ}}^1 = \frac{8 * 100}{100 + 13} = 7,08\% .$$

Формула Федерального объединения немецких рабочих союзов:

$$K_{\text{КАДРЫ}}^2 = \frac{8 * 100}{102,5} = 7,8\% ;$$

$$K_{\text{КАДРЫ}}^2 = \frac{8 * 100}{106} = 7,55\% .$$

В связи с тем, что вышеназванные три отношения приводят к различным результатам, решающим для их применения является систематическое использование однажды избранной формулы для того, чтобы сохранить возможность сравнения различных периодов. Для сравнения различных

предприятий также надо, чтобы в основу были положены одни и те же формулы.

Изменение рабочего времени является следующей информацией статистики рабочего времени. К изменениям рабочего времени относятся будущие законные, тарифные и производственные правила не только дневного и недельного рабочего времени, но также и годового, в том числе с учетом отпусков и выходных.

Выводы. Статистика вознаграждения за труд дает разъяснения по вопросам средних заработков и уровня зарплаты по сравнению с другими предприятиями, а также по эффективному тарифному развитию оплаты за труд. Статистика социального процесса дает сведения об обеспечении по старости, гратификации, отпускных выплатах и социальных льготах. Важнейшим инструментом для получения актуальной информации является ежедневное кадровое сообщение.

Сравнительные данные могут быть получены также для других целевых групп (например, служащих, тарифных служащих и внетарифных служащих, обучающихся). Исходя из этих групп, можно выделить долю расходов на различные группы.

Данные в расчете на каждого «работника предприятия» могут быть разделены на различные кадровые группы. Различные другие группы: средний заработок на рабочего; средний заработок на служащего согласно тарифу или на внетарифного служащего; сверхурочные на каждого занятого; часы простоя на каждого занятого; расходы на приобретение на каждого занятого; расходы на образование на каждого занятого.

Почти все перечисленные данные особенно выразительны, когда определены некоторые периоды и когда возможно сравнение по времени. В этом случае можно заметить изменения. Некоторые данные применимы для сравнения компаний внутри региона. При этом речь идет о том, чтобы можно было в сопоставляемых компаниях сравнить одинаковые данные, виды расходов, исходные величины. Представляют интерес другие статистические величины для сравнения их по времени.

Таким образом, сформулированы основные направления совершенствования системы управления персоналом, внесены основные изменения в модель системы, а также сформулированы критерии оценки эффективности для последующего выбора наиболее приемлемых управленческих решений.

Список литературы: 1. Загоруйко И., Федоров В. Как управлять персоналом коммерческой организации // Человек и труд. – 1993. – №1. – С. 101-106. 2. Яковлев Р. Реформирование оплаты труда, возрождение ее основных функций // Человек и труд. – 1996. – №7. – С. 67-70. 3. Дмитренко Г.А., Шаранатова Е.А., Максименко Т.М. Мотивация и оценка персонала: Учеб. пособ. – К.: МАУП, 2002. – 248 с. 4. Кочиева Т.Б., Новиков Д.А. Базовые системы стимулирования. – М.: "Апостроф", 2000.

Поступила в редколлегию 01.12.07

И. В. ЛЮТЕНКО, ст. преп. каф. АСУ,
В. Ю. ГЛЯДКОВСКИЙ, студент НТУ «ХПИ»

ВОПРОСЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДСТВ ИНВЕСТИЦИОННОГО ФОНДА В СИСТЕМЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ ПРИ НЕЧЕТКОЙ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ

В статті розглядається задача вибору інвестиційних проектів вищих учбових закладів при розподілі коштів на рівні фонду. Пропонується підхід до визначення привабливості проектів за нефінансовими показниками для різних споживачів на підставі нечіткого логічного виводу.

В статье рассматривается задача выбора инвестиционных проектов высших учебных заведений при распределении средств на уровне фонда. Предлагается подход к определению привлекательности проектов по нефинансовым показателям для различных потребителей на основании нечеткого логического вывода.

In the article the task of choice of investment projects of higher educational establishments is examined at distributing of facilities at the level of fund. Offered approach to determination of attractiveness of projects on unfinancial indexes for different users on the basis of indistinct logical conclusion.

Введение. В настоящее время состояние высшего образования на Украине определяется острым дефицитом финансовых и материальных ресурсов. В то же время наблюдается ситуация растущего спроса на услуги высшего образования [1].

Финансовое обеспечение деятельности ВУЗов осуществляется как за счёт бюджетных средств, так и за счёт привлечения дополнительных источников финансирования, в том числе и инвестиций.

Проекты развития ВУЗов требуют больших материальных и финансовых затрат, которые не могут быть предоставлены одним инвестором. Поэтому модель инвестирования рассматривается как трехуровневую система «инвесторы – инвестиционный фонд – ВУЗы» [2].

Проблема распределения инвестиций между альтернативными проектами – это задача принятия решений, которая рассматривается, чаще всего, как задача многокритериальной оптимизации. Она состоит в отыскании проектов, максимально соответствующих общей цели, определяемой экспертами [3].

Поскольку выбор альтернативных проектов сопряжен с различного рода неопределенностями оценок множества возможных альтернатив, неточностями, недостаточной обоснованностью суждения лиц, принимающих решения, то для описания неопределенностей, часто используют теорию нечетких множеств, которая успешно используется для решения задач моделирования, прогнозирования и управления в самых различных областях.

Постановка задачи. Рассмотрим задачу выбора инвестиционных проектов ВУЗов при распределении средств на уровне фонда с учетом оценок привлекательности проектов ВУЗов.

Обозначим множество ВУЗов N . Каждый n -й ВУЗ ($n \in N$) формирует множество проектов I_n . Предположим, что рассматриваются только проекты одного временного масштаба. Проект может охватывать несколько специальностей $j, (j \in J_n)$ (где J_n – множество специальностей n -го ВУЗа, J – множество всех специальностей, $J_n \subset J$). Каждый i -й проект n -го ВУЗа для фонда имеет стоимость r_i^n . Проект может быть либо принят фондом, либо отклонен. Флаг принятия или отклонения i -го проекта n -го ВУЗа - x_i^n . Для каждого ВУЗа может быть принят только один проект для одного временного интервала. Сумма всех инвестиционных средств фонда – R . Средства могут быть израсходованы как полностью, так и частично. Финансирование i -го проекта позволяет n -му ВУЗу подготовить Δu_{ij}^n количество специалистов по j -й специальности ($n \in N, i \in I_n, j \in J_n$). Таким образом, требуется найти вектор $\vec{x} = \{x_i^n : x_i^n \in \{0,1\}, i \in I_n, n \in N\}$ при заданных ресурсных ограничениях. Привлекательность каждой j -й специальности можно рассматривать с точки зрения потребителей всех трех уровней:

γ_j^n - привлекательность j -й специальности n -го ВУЗа с точки зрения физических лиц (престиж ВУЗа);

ρ_j^n - привлекательность j -й специальности n -го ВУЗа с точки зрения юридических лиц;

δ_j - привлекательность j -й специальности с точки зрения государства.

Модель задачи будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} F_1 &= \sum_{j \in J} \delta_j \left(\sum_{n \in N} \sum_{i \in I_n} (\Delta A_{ij}^n x_i^n) \right) \rightarrow \max, \\ F_2 &= \sum_{j \in J} \sum_{n \in N} \rho_j^n \sum_{i \in I_n} (\Delta A_{ij}^n x_i^n) \rightarrow \max, \\ F_3 &= \sum_{j \in J} \sum_{n \in N} \gamma_j^n \sum_{i \in I_n} (\Delta A_{ij}^n x_i^n) \rightarrow \max, \end{aligned} \quad (1)$$

$$\sum_{n \in N} \sum_{i \in I_n} r_i^n x_i^n \leq R, \quad (2)$$

$$x_i^n \in \{0,1\}, i \in I_n, n \in N. \quad (3)$$

Рассмотрим решение задачи выбора инвестиционных проектов ВУЗов при распределении ресурсов инвестиционного фонда на основании нечеткого

логического вывода (НЛВ). Для наглядности – задачу с одним ЛПР D , участвующего в решении задачи выбора проектов и распределения ограниченных ресурсов. Пусть $P = \{P_i, i = \overline{1, n}\}$ – множество предложенных проектов; $R = \{R_j, j = \overline{1, m}\}$ – набор ограничений. Требуется распределить инвестиции между проектами P при удовлетворении ограничениям R .

При решении поставленной задачи аппарат НЛВ применим к каждому проекту $P_i, i = \overline{1, n}$. Для проектов P на основе экспертных оценок определим набор значимых критериев $C = \{C_l, l = \overline{1, h}\}$. Таким образом, в данной постановке задачи используем НЛВ с h входами и одним выходом.

Входные величины – это частные четкие оценки \bar{S}_l ЛПР для проекта P по каждому критерию C_l , где $l = \overline{1, h}$. Наиболее удобно в данной ситуации простое ранжирование параметров проектов ЛПР на непрерывном числовом отрезке. Для поставленной задачи такими критериями являются важность подготовки специалистов по некоторой специальности для субъектов инвестиционной деятельности, и эффективность инвестиционных проектов. При этом оценки по критерию важность могут даваться самими участниками инвестиционного процесса, а оценки по критерию эффективность могут быть выработаны экспертами на основании анализа результатов, полученных при формировании механизмов финансирования проектов.

Выходные величины – четкая степень \bar{A} привлекательности проекта P . Степень привлекательности проекта \bar{A} может принимать значение от 0 до 1.

Определение привлекательности проекта. Рассмотрим один из возможных подходов к решению этой задачи, в основу которого положена система НЛВ, а также теория нечетких множеств.

НЛВ определяет нелинейное отображение вектора входных данных в скалярное выходное значение с помощью нечетких правил. НЛВ с многомерным выходом рассматривается как набор независимых НЛВ с многомерным входом и одномерным выходом.

НЛВ состоит из трех компонентов: фаззификатора, механизма логического вывода и дефаззификатора.

Фаззификатор определяет степень принадлежности входных значений нечетким множествам входа – лингвистическим переменным. Данная процедура вызвана необходимостью использования лингвистических правил.

Ядром механизма логического вывода является база правил, содержащая лингвистические правила, определенные экспертами, или правила, полученные из числовых статических данных. Механизм логического вывода отображает входные нечеткие множества в выходные. Правила выполняются параллельно. Порядок их выполнения не влияет на результат – это отличительная особенность НЛВ. Выходные нечеткие множества каждого правила агрегируются в одно нечеткое множество выхода.

Дефаззификатор отображает нечеткое множество выхода в нечеткое множество, содержащее диапазон выходных значений, дефаззификатор преобразует в одно числовое значение, удобное для дальнейшего использования.

Фаззификатор. Оценки \bar{S}_l на этапе фаззификатора ранжируются на шкале лингвистических переменных $T_{xl} = \{T_{xl}^1, T_{xl}^2, \dots, T_{xl}^{m_x}, l = \overline{1, h}\}$, и далее уже используются получаемые таким образом нечеткие оценки \bar{S}_l [3]. Например, ранжирование по такому критерию, как важность специальности может происходить по пятизначной шкале лингвистических переменных: {очень не важный, не важный, средней важности, важный, очень важный}.

Механизм логического вывода – база правил. Аналогично входным значениям определяется набор лингвистических переменных и для результатов правил $T_y = \{T_y^1, T_y^2, \dots, T_y^{m_y}\}$: степень привлекательности проекта = {не привлекателен, мало привлекателен, привлекателен, очень привлекателен}.

Рассмотрим НЛВ с двумя входами ($h=2$) и одним выходом. Пусть два входа – это x_1 важность и x_2 эффективность проекта, определяемые в диапазоне от 0 до 10. Выход – y привлекательность проекта, принимающая значения в диапазоне от 0 до 1. Важность описывается следующим набором лингвистических переменных: $x_1 = \{\text{низкая, средняя, высокая}\}$; эффективность $x_2 = \{\text{низкая, средняя, высокая}\}$; привлекательность $y = \{\text{очень низкая, низкая, средняя, высокая, очень высокая}\}$.

База правил *Rules* состоит из набора правил в формате: *Rule* = ”если x_1 есть T_{x1}^{any} и x_2 есть T_{x2}^{any} ... и x_h есть T_{xh}^{any} , то y есть T_y^{any} ”

Для рассматриваемой задачи база правил выглядит следующим образом.

Rule1 = если важность: низкая и эффективность: низкая, то привлекательность: очень низкая;

Rule2 = если важность: низкая и эффективность: средняя, то привлекательность: низкая;

Rule3 = если важность: низкая и эффективность: высокая, то привлекательность: средняя;

Rule4 = если важность: средняя и эффективность: низкая, то привлекательность: низкая;

Rule5 = если важность: средняя и эффективность: средняя, то привлекательность: средняя;

Rule6 = если важность: средняя и эффективность: высокая, то привлекательность: высокая;

Rule7 = если важность: высокая и эффективность: низкая, то привлекательность: средняя;

Rule8 = если важность: высокая и эффективность: средняя, то привлекательность: высокая;

Rule9 = если важность: высокая и эффективность: высокая, то привлекательность: очень высокая;

Если правило в части «если» содержит более одного условия, то необходимо воспользоваться нечетким оператором для определения одного числа – результата применения данного правила. Другими словами, необходимо получить степень исполнения данного правила – степень принадлежности для нечеткого множества выхода: значения из части правила, относящейся к «то».

На практике обычно используют операторы минимума и произведения.

$$\mu(y) = \min(\mu(x_1), \mu(x_2), \dots, \mu(x_h)), \mu(y) = \mu(x_1) * \mu(x_2) * \dots * \mu(x_h), \quad (4)$$

где $\mu(x_1), \mu(x_2), \dots, \mu(x_h)$ - степень принадлежности значений входов и результата применения к соответствующим нечетким множествам лингвистических переменных.

Для нашего случая операции (4) принимают следующий вид:

$$\mu(y) = \min(\mu(x_1), \mu(x_2)), \mu(y) = \mu(x_1) * \mu(x_2). \quad (5)$$

После того, как станут известны степени срабатывания всех правил, необходимо произвести агрегацию выходных нечетких множеств всех сработавших правил. Результатом агрегации будет одно нечеткое множество, представляющее выход механизма логического вывода. Наиболее часто используется агрегация методом максимума:

$$\mu_y = \max(\mu^1(y), \mu^2(y), \dots, \mu^k(y)), \quad (6)$$

где k – количество сработавших правил.

Дефаззификатор. Для получения окончательного выхода НЛВ воспользуемся процедурой дефаззификации. На данном этапе агрегированное после выполнения правил нечеткое множество выхода отображается в четкое число [3].

Центроидный метод дефаззификации. Определяется центр тяжести (центроид), который и является результатом \bar{y} . Для непрерывно и дискретно заданных нечетких чисел множества соответственно:

$$\bar{y} = \frac{\int y \mu(y) dy}{\int \mu(y) dy}, \quad \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \mu(y_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(y_i)}. \quad (7)$$

Метод максимума. Определяется выход \bar{y} , для которого степень принадлежности $\mu(y)$ принимает наибольшее значение. Если несколькими значениями y соответствует максимальная степень принадлежности, то, как правило, в качестве выхода \bar{y} берется среднее. Следует заметить, что выход данного метода очень чувствителен к доминирующему правилу в базе правил.

Метод центра максимумов. Выходом \bar{y} является средняя точка между центрами наибольших значений в функции принадлежности $\mu(y)$.

Итак, по описанной выше схеме аппарат НЛВ в задаче выбора инвестиционных проектов при распределении инвестиций применяется для каждого проекта $P_i, i = \overline{1, n}$ и в результате получаем четкие степени привлекательности \bar{A} каждого проекта.

Выводы. Основным результатом исследования является разработка алгоритма решения задачи оценки привлекательности проектов, который может быть использован для решения задачи выбора инвестиционных проектов высших учебных заведений при распределении средств на уровне фонда.

Решение задачи оценки степени привлекательности проектов было получено на основании нечеткого логического вывода и теории нечетких множеств.

Данный подход к решению задачи по сравнению с другими имеет ряд преимуществ: доступность, удовлетворительный результат, простота вычислений, достижение баланса между интересами различных групп. Кроме того, подход, основанный на теории нечетких множеств, можно достаточно успешно использовать для решения реальных задач распределения инвестиций в условиях неопределенностей и неточной информации.

Исследуемые процессы управления инвестиционной деятельностью в системе высшего образования могут быть успешно использованы практически для всех предприятий социальной сферы.

Список литературы: 1. *Годлевский М.Д., Чердниченко О.Ю., Лютенко И.В.* Инвестиции в сфере высшего образования // Вестник национального технического университета «ХПИ» Тематический выпуск «Системный анализ, управление и информационные технологии» – 2005. – №59. – С.135-139 2. *Чердниченко О.Ю., Лютенко И.В.* Классификация задач управления инвестициями в системе высшего образования. XIII Міжнародна конференція з автоматичного управління (Автоматика - 2006). Тези доповідей тринадцятої міжнародної науково-технічної конференції. м. Вінниця, 25-28 вересня 2006 року. – Вінниця, УНІРСУМ-Вінниця, 2006. 3. *Коршевнюк Л.А., Бирюк П.И.* Решение задачи распределения инвестиций на основе нечеткого логического вывода // системные исследования и информационные технологии. – 2003. – №2. С.34 – 42. 4. *Стародубов А.В.* Разработка инструментального средства и нечетких моделей для многокритериального выбора рациональных инвестиционных решений. – Волгоград: Математические и инструментальные методы экономики, 2007.

Поступила в редколлегию 15.11.07

И. В. ЛЮТЕНКО, ст. преп. каф. АСУ,
Н. К. БАБИЧ, студент НТУ «ХПИ»

ОЦЕНКА ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ В СФЕРЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

В статті розглядається проблема фінансування вищої освіти та інвестування – як один із додаткових джерел фінансування. Пропонується здійснити оцінку інвестиційних проектів за допомогою метода експертних оцінок. В якості одного із можливих методів обробки експертної інформації обирається метод упорядочення багатознакових об'єктів, заснований на теорії мультимножин.

В статье рассматривается проблема финансирования высшего образования и инвестирование – как один из дополнительных источников финансирования. Предлагается осуществить оценку инвестиционных проектов с помощью метода экспертных оценок. В качестве одного из возможных методов обработки экспертной информации выбирается метод упорядочения многопризнаковых объектов, основанный на теории мультимножеств.

In the article the problem of financing of higher education and investment, like one of additional sources of financing is considered. The estimation of investment projects is offered to use a method of expert estimations. One of possible methods of processing the expert information is the method of ordering muchindication objects, based on the theory of multisets.

Введение. Признаками процветающего государства являются мощные трудовые ресурсы, экономический рост и благосостояние населения, развитая инфраструктура, стабильность, высокий культурный и нравственный потенциал. Важнейшим фактором для развития государства является образование. Системе высшего образования принадлежит ведущая роль в формировании конкурентоспособного специалиста и совершенствованию управления этой важнейшей сферой организации общества надо уделить особое внимание.

Совершенствование системы образования является основой будущего экономического и социального развития страны. В сфере профессиональной подготовки процесс модернизации предполагает следующие направления развития: создание эффективной системы дополнительного профессионального образования; налаживание более тесных связей между образовательными учреждениями и коммерческими предприятиями; более активное участие в образовательных процессах работодателей, государства и других социальных партнеров [1].

Зарубежный и отечественный опыт свидетельствует, что образование не может в полной мере развиваться на коммерческих началах. Существенное бремя расходов на образование должно нести государство, поскольку процесс выполнения вузом своих уставных функций обладает свойствами общественного блага, потребление которого является всеобщим.

Для Украины вопросы совершенствования высшего образования являются достаточно актуальными. Прежде всего, в рамках развития системы высшего образования необходимо решить главную проблему – финансирование. Нехватка государственных средств вынуждает придерживаться принципа многоканального финансирования образования с привлечением внебюджетных источников. К таким источникам относят не только средства физических и юридических лиц за счет контрактной системы обучения, но и средства различных общественных и международных организаций в рамках программы помощи и содействия развитию, гранты, инвестиции. В данной статье рассматривается инвестиционный аспект финансирования высшего образования.

Постановка задачи. В работе [2] предлагается модель внутрисистемного финансирования, в которой определяются два взаимодействия «инвесторы – фонд» и «фонд – ВУЗы». Для решения задачи распределения средств инвестиционного фонда между ВУЗами необходимо осуществить отбор и оценку предлагаемых проектов, с целью выбора наиболее эффективных для системы высшего образования.

Под эффективностью проектов для системы высшего образования подразумевается отношение экономического и социального эффекта (результата) к затратам на его достижение или применяемые ресурсы [3].

Социальные результаты включают:

- Создание условий, гарантирующих адекватную подготовку для всех;
- Организация условий подготовки специалистов, необходимых для различных секторов экономики;
- Обеспечение условий для гармоничного развития личности и соответствия ее требованиям технического прогресса, новых методов производства, социального и экономического развития;
- Обеспечение непрерывного общественного и профессионального образования;
- Возможность повышения квалификации и подготовки граждан на всех этапах их карьеры.

Для оценки и отбора инвестиционных проектов могут использоваться следующие методы:

- Методы, связанные с выбором проекта по наилучшему значению какого-либо одного показателя экономической эффективности инвестиций (чистого дисконтированного дохода, внутренней нормы доходности, индекса доходности, периода окупаемости);
- Выбор наилучшего проекта при помощи какой-либо разновидности метода экспертных оценок;
- Выбор наилучшего проекта при помощи методов векторной оптимизации.

Таким образом, необходимо оценить инвестиционные проекты в сфере высшего образования с точки зрения их максимальной эффективности для данной сферы, чтобы впоследствии финансировать наилучшие из них и в будущем получить социальный результат.

Решение задачи. В данной работе рассматривается выбор проектов с помощью метода экспертных оценок, т. к. он позволяет всесторонне оценить, проанализировать предлагаемые проекты и впоследствии формально обработать полученные результаты.

Экспертная деятельность в области образования – система действий, выполняемых с привлечением экспертов, для анализа и оценки инвестиционных проектов с целью повышения обоснованности принимаемых решений в условиях частичной неопределенности, противоречий [4].

Процедура экспертизы проводится в несколько этапов, она схематично изображена на рис. 1.

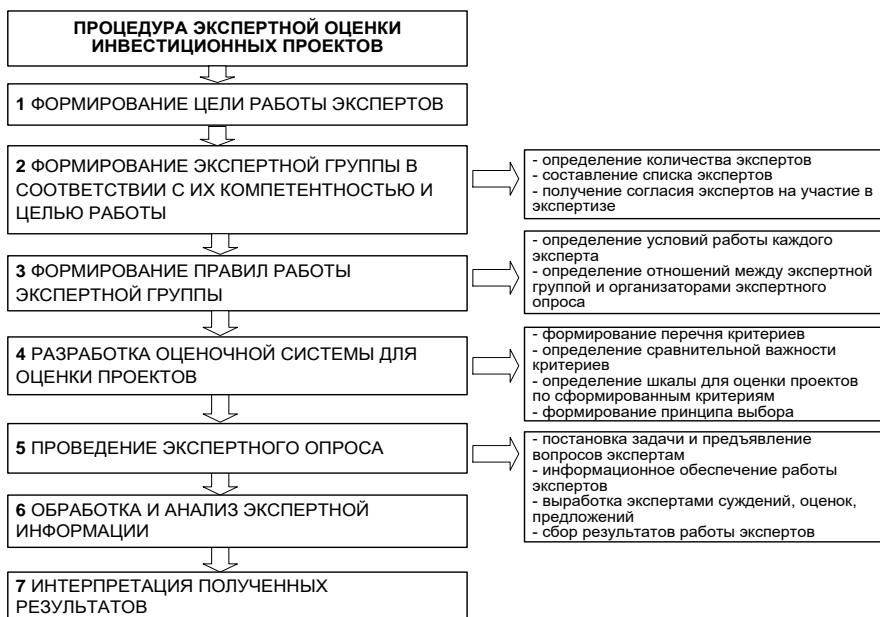


Рисунок 1 – Процедура экспертной оценки

Важным этапом экспертного оценивания является формирование группы экспертов, а именно, формирование системы характеристик эксперта, существенно влияющих на ход и результаты экспертизы. Эти характеристики должны описывать специфические свойства специалиста и возможные отношения между людьми, влияющие на экспертизу [5].

Проекты оцениваются экспертами по нескольким критериям, которые должны формулироваться на четвертом этапе экспертного опроса, на этом же этапе также: определяется сравнительная важность критериев; шкалы для оценки проектов по сформированным критериям и формируется принцип выбора.

Перечень критериев, характеризующих сравнительную предпочтительность объектов принятия управленческого решения должен удовлетворять ряду естественных требований: совокупность критериев должна определять основные характеристики объекта экспертизы; критерии должны быть измеримыми, т. е. должна быть возможна оценка любого рассматриваемого инвестиционного проекта по каждому из критериев [6].

В качестве примера сформированных критериев оценки проектов в области высшего образования могут выступать следующие: перспективность проекта; квалификация исполнителей проекта; новизна подхода к решению задачи повышения эффективности функционирования высшей школы; необходимые затраты для реализации проекта на практике; теоретическая база проекта; ресурсное обеспечение - степень обеспеченности ВУЗа собственными ресурсами для реализации проекта (техническое, методическое, кадровое, информационное, программное и др. обеспечение) и другие.

Центральным этапом экспертизы является опрос. Организация опроса предусматривает обеспечение максимума информации и максимума творческой активности, самостоятельности эксперта. Необходимо стремиться довести до каждого эксперта по возможности всю информацию, относящуюся к анализируемому явлению, которой располагают как эксперты, так и организаторы опроса, не лишая в то же время эксперта творческой самостоятельности и активности.

Процедура опроса проводится анонимно в несколько этапов. Эксперт назначает оценки, как на основании собственного опыта, так и на основании объективных данных об инвестиционных проектах. В процессе работы информация о предмете экспертизы пополняется, не существует «главного» эксперта и мнения всех экспертов одинаково важны, экспертные оценки независимы.

При использовании экспертного метода особое внимание уделяют этапу обработки экспертной информации. При этом возможно использование метода упорядочения многопризнаковых объектов, предложенного Петровским А. Б. Этот метод основан на теории множеств.

Выбор метода обусловлен тем, что проекты описываются многими повторяющимися критериями, следовательно, необходимо одновременно учитывать большое количество вербальных и числовых данных и обрабатывать их. Это можно сделать, не прибегая к дополнительным преобразованиям типа усреднения, смешивания, взвешивания, которые могут привести к необоснованным и необратимым искажениям исходных данных.

Допустим $A = \{A_1, A_2, \dots, A_k\}$ – совокупность проектов, которые оцениваются n экспертами по m критериям Q_1, \dots, Q_m . Каждый критерий Q_s имеет порядковую шкалу количественных или качественных оценок $\{q_s^{e_s}\}$, $e_s = 1, \dots, h_s$, $s = 1, \dots, m$, которые упорядочены от лучшего значения к худшему $q_s^1 \succ q_s^2 \succ q_s^3 \succ \dots \succ q_s^{h_s}$. Предполагается, что разные критерии могут иметь различную относительную важность, но значения оценок, относящихся к одному и тому же критерию, равноценны. Будем считать, что каждый объект оценивается всеми n экспертами по всем m критериям.

Проект A_i представляется как мультимножество вида:

$$A_i = \{k_{Ai}(q_1^1) \bullet q_1^1, \dots, k_{Ai}(q_1^{h_1}) \bullet q_1^{h_1}, \dots, k_{Ai}(q_m^1) \bullet q_m^1, \dots, k_{Ai}(q_m^{h_m}) \bullet q_m^{h_m}\}.$$

Данное множество над доменом $G = \{Q_1, \dots, Q_m\}$ является множеством критериальных оценок, где функция кратности $k_{Ai}(q_s^{e_s})$ мультимножества характеризует количество экспертов, давших объекту A_i оценку $(q_s^{e_s})$. Задача упорядочения инвестиционных проектов будет сведена к упорядочению мультимножеств.

В предложенном методе выделяется, наилучший объект, т. е. проект, которым все эксперты дали наивысшие оценки по всем критериям. Сравнивая проекты, мы будем сравнивать расстояния между наилучшим объектом и объектом, соответствующим какому-либо проекту и упорядочивать в зависимости от дальности расположения объекта от идеала. Естественно, чем ближе проект к наилучшему решению, тем предпочтительней проект. В случае если объекты несравнимы или имеют одинаковое расстояние, то пользуются вторыми оценками, выставленными экспертами и осуществляется упорядочение между этими объектами и так далее до полного упорядочения.

Условие сравнения многопризнаковых объектов представляется как сравнение взвешенных сумм – объект A_i лучше объекта A_j , если выполняется следующее условие:

$$\sum_{s=1}^m w_s k_{Ai}(q_s^1) > \sum_{s=1}^m w_s k_{Aj}(q_s^1).$$

Таким образом, взвешенная сумма первых оценок объектов по всем критериям Q_s представляется как $S_{Ai}^1 = \sum_s w_s k_{Ai}(q_s^1)$, взвешенная сумма вторых оценок по всем критериям – $S_{Air}^2 = \sum_s w_s k_{Air}(q_s^2)$ и т. д.

Сформированная схема алгоритма метода упорядочения инвестиционных проектов представлена на рис. 2.

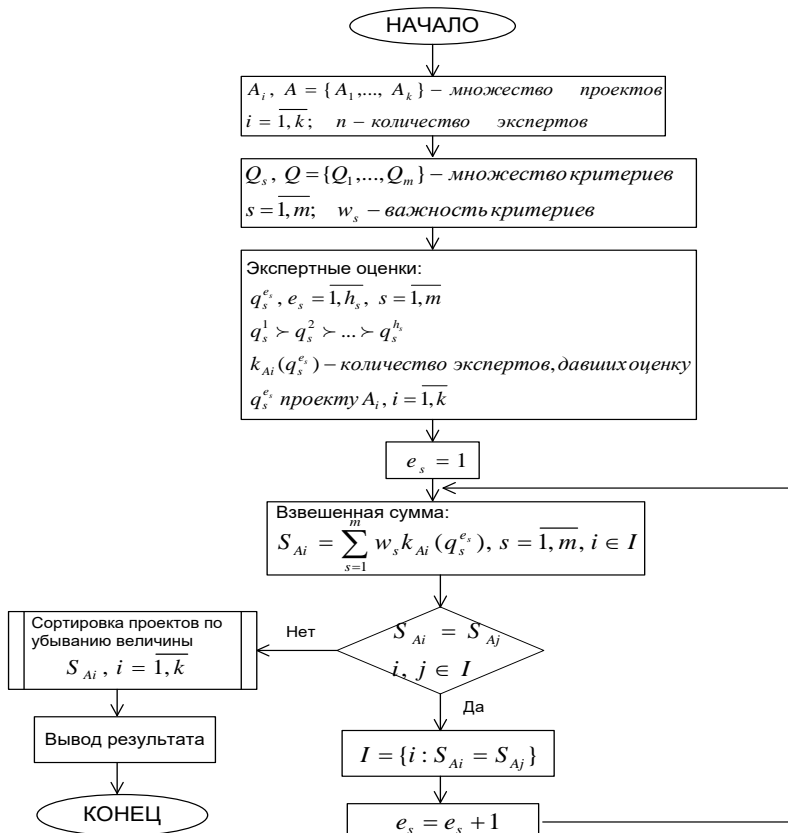


Рисунок 2 – Схема алгоритма упорядочения объектов

Выводы. В результате применения представленного метода происходит упорядочение инвестиционных проектов, что позволит в дальнейшем решать задачу выбора наиболее привлекательных проектов для финансирования.

Список литературы: 1. Гибсон, Мартин, Афонин А.Ю. Бизнес и высшее образование: опыт взаимодействия в Великобритании // Университетское управление.– 2004.– №4.– С.53-66. 2. Годлевский М.Д., Чередниченко О.Ю., Лютенко И.В. Инвестиции в сфере высшего образования // Вестник НТУ «ХПИ».– 2005.– №59.– С. 135-139. 3. Вахрин П.И. Инвестиции: Учебник.– М.: Дашков и Ко, 2004. 4. Берестнева О.Г., Марухина О.В. Компьютерная система принятия решений по результатам экспертного оценивания в задачах оценки качества образования // Образовательная технология и общество.– 2002.– №5.– С.216-230. 5. Евланов Л.Г., Кутузов В.А. Экспертные оценки в управлении.– М.: Экономика, 1978. 6. Китаев Н. Н. Групповые экспертные оценки.– М.: Знание, 1975. 7. Петровский А.Б. Основные понятия теории множеств.– М.: Едиториал УРСС, 2002.

Поступила в редколлегию 17.11.07

М. Н. МАЛЬКО, канд. техн. наук,
О. Ю. КРОПАЧЕК, канд. техн. наук,
В. Т. МИРОШНИК, студент НТУ «ХПИ»

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УЧЕБНЫМ ПРОЦЕССОМ КАФЕДРЫ

У статті розглядається задача проектування автоматизованої інформаційної системи керування навчальним процесом кафедри університету. Зроблено обґрунтування вибору програмної платформи, представлена схема спроектованої необхідної бази даних, описані перспективи розвитку інформаційної системи.

В статье рассматривается задача проектирования автоматизированной информационной системы управления учебным процессом кафедры университета. Сделаны обоснования выбора программной платформы, представлена схема спроектированной необходимой базы данных, описаны перспективы развития информационной системы.

In the article the task of the design of the automated information system of control of the education process of the department of university is examined. The substantiations of the selection of program platform are made, the diagram of the designed necessary data base is represented, the prospects for the development of information system are described.

В связи с бурным развитием компьютерной техники предоставляется возможность автоматизации многих задач, связанных с деятельностью человека в сфере обработки информации. Одной из них является задача управления учебным процессом в структурных подразделениях ВУЗа. В последнее время в данной области проводилось множество теоретических разработок по изучению и моделированию процессов и информационных потоков в сфере управления учебным процессом [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7].

Большинство практических разработок, как правило, сводилось к созданию локальных не распределенных информационных систем в виде типичных Windows-приложений в большинстве своем, построенных на основе баз данных dBase формата. Подобные системы, как правило, не обеспечивали возможности параллельного доступа к данным или же (для реализации данной возможности) требовали установки на удаленный компьютер специализированного программного обеспечения с последующей настройкой его подключения основной (в общей случае не серверной) базе данной.

Один из интересных и современных подходов к построению информационных систем для управления учебным процессом, построенных на основе сервис-ориентированной архитектуре, описано в [8].

Кроме всего, стоит отметить, что информационные системы управления учебным процессом, могут использоваться как базовый или как дополнительный компонент автоматизированных систем поддержки

принятии решений составления расписания занятий студенческих групп и потоков ВУЗа [9, 10].

Для решения задачи автоматизации управления учебным процессом кафедры, с возможностью удаленного доступа к данным многими пользователями разного типа, было принято решение о разработке информационной системы, которая представляла бы собой Web-приложение. Выбор в сторону Web-приложения был сделан потому, что по функциональности (в плане решения задач, связанных с учебным процессом), Web-приложения обладают рядом преимуществ по сравнению с обыкновенными Windows-приложениями.

Основными преимуществами являются:

- отсутствие необходимости разработки клиентских приложений, т.к. в роли клиента может выступать любой web-браузер, совместимый с Internet Explorer или Mozilla Firefox;
- доступ к Web-приложению может осуществляться сразу несколькими пользователями одновременно, причем вне зависимости от операционной системы, на которой работает пользователь (Windows, Unix, Mac);
- для получения доступа к Web-приложению нет необходимости в настройке клиентского ПО.

После определения типа разрабатываемого приложения стал вопрос о выборе технологии его разработки. Произведя анализ преимуществ и недостатков двух современных технологий разработки Web-приложений - PHP и ASP.NET, была выбрана ASP.NET. Выбор обуславливается тем, что ASP.NET обладает рядом существенных преимуществ по сравнению с PHP: приложения ASP.NET работают быстрее благодаря компиляции исполняемого кода, наличие удобной и мощной среды для разработки Microsoft Visual Studio, наличие множества встроенных web-элементов управления для решения широкого круга задач, в ASP.NET реализованы встроенные методы защиты приложения от неавторизованного доступа пользователей разного типа.

После определения технологии разработки стал вопрос о выборе СУБД для хранения и обработки данных будущего Web-приложения. На сегодняшний день существует множество СУБД – Oracle, Microsoft SQL Server, MySQL Server, Microsoft Access, FoxPro и др. В качестве критериев выбора СУБД были положены надежность хранения и скорость обработки больших объемов данных. Под данные требования подходили две СУБД из вышеперечисленных – это Oracle и Microsoft SQL Server. После анализа было принято решение использовать СУБД Microsoft SQL Server 2005 Express. Данный выбор обоснован тем, что систем Microsoft SQL Server более проста в настройке и администрировании, по сравнению с Oracle, а также тем, что в

ASP.NET встроены оптимизированные механизмы взаимодействия именно с этой СУБД.

Построенное приложение состоит из двух частей – базы данных с набором хранимых процедур и интерфейса пользователя. Структура первоначальной базы данных, разрабатываемой информационной системы предоставлена на рисунке 1. Ядро приложения, которое обеспечивает обработку данных, представляет собой набор хранимых процедур, написанных на языке Transact-SQL. Каждая из процедур выполняет определенные действия по обработке данных на основании запросов пользователя, а результаты представляет в том виде, который «понятен» приложению. Полученные результаты интерфейсная часть информационной системы отображает на экранных формах пользователя или производит печать результирующих документов. Такая архитектура организации информационной системы обладает рядом преимуществ, среди которых стоит отметить следующие:

- высокая скорость обработки данных, так как данные обрабатываются внутри СУБД, а лишь потом передаются приложению;
- в большинстве случаев нет необходимости перекомпиляции проекта для обновления или незначительного изменения функциональности системы.

Как упоминалось выше, приложение взаимодействует с СУБД Microsoft SQL Server 2005 Express. Данная версия СУБД имеет некоторые ограничения: общий размер базы данных не может превышать четырех гигабайт; нет поддержки использования более одного процессора; выделяемая память не может превышать одного гигабайта. Перечисленные ограничения могут стать препятствием обработки данных всех или некоторой части (например, для факультета) кафедр института на сервере базы данных.

В случае возникновения необходимости в увеличении масштабов построенной информационной системы, не возникнет никаких трудностей с переносом существующей базы данных из Microsoft SQL Server 2005 Express на более мощные СУБД этого же семейства. Так, можно без проблем перенести данные на СУБД Microsoft SQL Server 2005 Standard Edition или на Microsoft SQL Server 2005 Enterprise Edition, которые лишены ограничений, перечисленных для Microsoft SQL Server 2005 Express.

Для развертывания построенной информационной системы на сервере необходимы следующие программные продукты: Microsoft SQL Server 2005, Internet Information Services (IIS) 6.0 и Microsoft .NET Framework 2.0.50727 или более поздние версии. IIS – это набор служб, предоставляющих возможность организации Web-сервера под управлением ОС Microsoft Windows. IIS 6.0 входит в дистрибутив ОС Windows 2003, поэтому с его установкой не должно возникнуть никаких проблем.

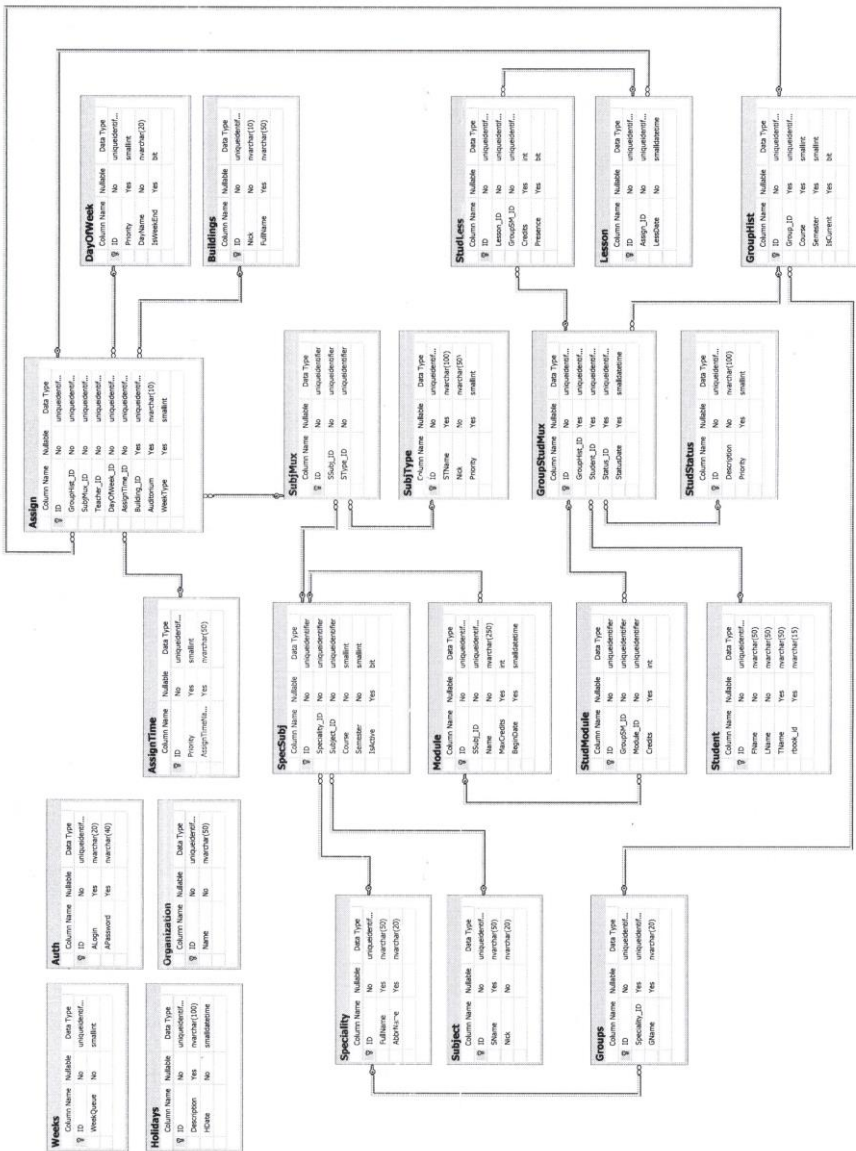


Рисунок 1 – Схема базы данных информационной системы

К настоящему времени построенная система еще не обладает в полном объеме той функциональностью, которая необходима (и была заложена в проект) для управления учебным процессом кафедры. В настоящий момент

идет работа по ее усовершенствованию, а также по увеличению и расширению функциональных возможностей.

На данный момент спроектированная и построенная база данных и приложение информационной системы способно предоставить пользователям следующие реализованные функциональные возможности:

- ввод и редактирование списка преподавателей, списка специальностей, списка студентов, списка групп, преподаваемых предметов и взаимосвязей между ними;
- защита данных от доступа неавторизованных пользователей (в настоящий момент существует 4 группы пользователей, включая администратора);
- формирование и подготовка к печати кафедрального расписания на основе введенных данных, сопоставляя каждому предмету дату в соответствии с введенным расписанием на весь семестр с учетом четности недель и праздничных дней;
- ввод данных о посещениях студентами занятий с возможностью проставления оценок как по отдельным занятиям, таки по группам занятий (модулям).

В будущем планируется разработать модули, которые будут способны проводить анализ успеваемости и посещаемости студентов, рассчитывать нагрузку преподавателей, генерировать дополнительные отчетные документы, проверять расписание на наличие ошибок и т.п.

Также предполагается создание отдельного OLAP модуля для создания подсистемы оценки качества образования студентов.

Список литературы: 1. <http://www.namip.ru/?id=214>. 2. <http://ais.stavsu.ru/?IdSec=17>
3. <http://www.microsoft.com/Rus/Education/Lg/Overview/Default.aspx>. 4. Актуальные проблемы организации и проведения учебного процесса. Ч. 2 : Сб. науч. тр./ КазНТУ. - Алматы: КазНТУ, 1996. -338 с. 5. Букалова Г.В. Процессно-ориентированная модель внутривузовской системы управления качеством образования //Иновации в образовании.- М., 2004 г., N 2, С.14-25. 6. Корнеева Л. Прикладные программные средства поддержки учебного процесса в системе открытого образования // Персонал. -Киев, 2004. -N10. - С. 84-90. 7. Денисенко В.А. Современной высшей школе нужны инженерные методы управления качеством учебного процесса // Открытое образование. -М., 2005. -N5. - С. 73-76. 8. Баженов В.Г., Кучук Я. Сервис-ориентированная архитектура информационных систем и опыт ее применения для систем автоматизации управления учебным процессом ВУЗа // Вісник національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірка наукових праць. – Харків: НТУ "ХПІ". -2005. – № 19. - С. 11-18. 9. Рассоха С.В. Поддержка принятия решений при синтезе расписаний занятий // Вісник національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірка наукових праць. – Харків: НТУ "ХПІ". -2005. – № 59. - С. 177-182. 10. Гужва В.А., Самсонов Б.В. Оценка взаимосвязи между основными переменными в задаче составления учебного расписания // Вісник національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірка наукових праць. – Харків: НТУ "ХПІ". -2005. – № 59. - С. 167-172.

Поступила в редколлегию 15.11.07

Н. И. БЕЗМЕНОВ, канд. техн. наук, **С. В. КОВАЛЕНКО**,
Р. Б. МАНЧЕНКО, магистрант НТУ «ХПИ»,
В. Г. БОРИСОВ, канд. техн. наук

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АВТОРСТВА ТЕКСТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БУКВЕННОЙ И ГРАММАТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Метод, описаний у даній статті для визначення авторства тексту, ґрунтується на формальній математичній моделі зустрічі послідовності елементів тексту. Як елементи тексту використовуються послідовності букв і послідовності граматичних класів слів. Частоти вживання граматичних класів у тексті є досить стійкою характеристикою автора, їх можна використовувати, щоб вирішувати проблеми спірного авторства тексту.

Описанный в данной статье метод для установления авторства текста, основывается на формальной математической модели появления последовательности элементов текста. В качестве элементов текста используются последовательности букв и последовательности грамматических классов слов. Частоты употребления грамматических классов в тексте являются достаточно устойчивой характеристикой автора, их можно использовать, чтобы решить проблемы спорного авторства текста.

The method described in the given article for an establishment of authorship of the text, is based on formal mathematical model of occurrence of sequence of elements of the text. As elements of the text sequences of letters and sequences of grammatical classes of words are used. Frequencies of the use of grammatical classes in the text are enough the steady characteristic of the author, they can be used to solve problems of disputable authorship of the text.

Введение. В последние десятилетия наметилась тенденция поиска и выявления характерных структур авторского языка путем применения формально-количественных, статистических методов. Первые пробные шаги на этом пути предпринял еще в начале XIX века Н.А. Морозов. Интересно, что тогда же известный математик А.А. Марков выступил с критикой его подхода, суть которой состояла в том, что автор не произвел тщательной статистической проверки утверждений относительно устойчивости некоторых элементов авторского стиля (например, частицы «не»).

В настоящий момент среди широко известных спорных моментов определения авторства можно назвать активно обсуждавшийся в последние десятилетия спор – был ли написан роман-эпопея «Тихий Дон» М.А. Шолоховым или же был использован текст другого автора [1]?

Постановка задачи. Задача определения авторства ставится следующим образом. Пусть имеются достаточно длинные фрагменты прозаических произведений ряда авторов на русском или ином языке, использующем неиероглифическую письменность. О некотором анонимном фрагменте известно, что он принадлежит одному из этих авторов, но кому именно – неизвестно. Требуется установить его автора.

С определенной, достаточно высокой степенью вероятности это представляется возможным. Представленный метод базируется на учете статистики употребления пар элементов любой природы, идущих друг за другом в тексте (букв, морфем, словоформ и т.п.).

Предлагаемый метод основывается на формальной математической модели последовательности букв (или любых других элементов) текста [2]. По тем произведениям автора, которые достоверно им созданы, вычисляется матрица переходных частот употребления пар элементов (букв, грамматических классов слов и т.п.). Она служит оценкой матрицы вероятности перехода из элемента в элемент. Матрица переходных частот строится для каждого автора, при этом оценивается вероятность того, что именно данный автор написал анонимный текст (или фрагмент текста). Автором анонимного текста полагается тот, у которого вычисленная оценка вероятности больше [3].

Метод определения авторства. Пусть имеется W писателей, у каждого из которых есть N_w текстов, где $w = 0, \overline{W-1}$. Введем такие обозначения:

$\{w\}$ – множество текстов автора w , $w = 0, \overline{W-1}$

$\{n\}$ – множество всех текстов автора, которому принадлежит текст n ;

\mathfrak{Z} – множество всех букв (для русского языка его мощность вместе с пробелами равна 32 – без буквы «ё»);

P_{ij}^w – вероятность перехода из буквы i в букву j в тексте автора w , $w = 0, \dots, W-1$, $i \in \mathfrak{Z}$, $j \in \mathfrak{Z}$.

Q_{ij}^{wn} – количество (частота) переходов из буквы i в букву j в каждом из текстов n автора w , $n \in \{w\}$, $w = 0, \dots, W-1$, $i \in \mathfrak{Z}$, $j \in \mathfrak{Z}$.

Степень неопределенности в переходе от одной буквы к другой для некоторого автора k можно определить с помощью энтропии:

$$H_k = - \sum_{i \in \mathfrak{Z}, j \in \mathfrak{Z}} P_{ij}^k \ln P_{ij}^k, \quad (1)$$

где P_{ij}^k – вероятность перехода из буквы i в букву j в текстах автора k .

Аналогичная характеристика при наличии информации о реализовавшемся переходе описывается следующей величиной [4]:

$$\tilde{H}_k = - \sum_{i \in \mathfrak{Z}} \left(\sum_{j \in \mathfrak{Z}} P_{ij}^k \right) \ln \sum_{j \in \mathfrak{Z}} P_{ij}^k = - \sum_{i \in \mathfrak{Z}, j \in \mathfrak{Z}} P_{ij}^k \ln \sum_{j \in \mathfrak{Z}} P_{ij}^k. \quad (2)$$

Поэтому связи между буквами в текстах автора k можно оценивать величиной Λ_k , определяемой как разность величин H_k и \tilde{H}_k :

$$\Lambda_k = - \left(\sum_{i \in \mathfrak{Z}, j \in \mathfrak{Z}} P_{ij}^k \ln P_{ij}^k - \sum_{i \in \mathfrak{Z}, j \in \mathfrak{Z}} P_{ij}^k \ln \sum_{j \in \mathfrak{Z}} P_{ij}^k \right) = - \sum_{i \in \mathfrak{Z}, j \in \mathfrak{Z}} P_{ij}^k \left(\ln P_{ij}^k - \ln P_{i\bullet}^k \right), \quad (3)$$

где $P_{i\bullet}^k = \sum_{j \in \mathfrak{Z}} P_{ij}^k$.

Таким образом,

$$\Lambda_k = - \sum_{i \in \mathfrak{Z}, j \in \mathfrak{Z}} P_{ij}^k \ln \frac{P_{ij}^k}{P_{i\bullet}^k}. \quad (4)$$

Поскольку в реальных условиях в наличии могут быть только оценки вероятностей P_{ij}^k , можно говорить только об оценке величины Λ_k . Если обозначить через C^Σ общее количество переходов от одной буквы к другой во всех текстах множества Σ и воспользоваться для оценивания вероятностей всеми текстами $\{w\}$ каждого из авторов w , то оценкой максимального правдоподобия для Λ_w можно признать следующую величину:

$$L_w(\{w\}) = - \frac{1}{C^{\{w\}}} \sum_{i \in \mathfrak{Z}, j \in \mathfrak{Z}} Q_{ij}^{\{w\}} \ln \frac{Q_{ij}^{\{w\}}}{Q_{i\bullet}^{\{w\}}}, \quad (5)$$

где $C^{\{w\}}$ – общее количество переходов от одной буквы к другой во всех текстах множества $\{w\}$.

Исключая нулевые частоты, получаем:

$$L_w(\{w\}) = - \frac{1}{C^{\{w\}}} \sum_{i \in \mathfrak{Z}: Q_{i\bullet}^{\{w\}} > 0} \sum_{j \in \mathfrak{Z}: Q_{ij}^{\{w\}} > 0} Q_{ij}^{\{w\}} \ln \frac{Q_{ij}^{\{w\}}}{Q_{i\bullet}^{\{w\}}}. \quad (6)$$

Естественным является предположение, что исключение из рассмотрения любого из текстов множества $\{w\}$ не должно оказать существенное влияние на оценку для Λ_w . Если же во множество $\{w\}$ случайно попадет текст другого автора, то исключение этого текста из рассмотрения при вычислении оценки величины Λ_w должно сказаться на вычисленном значении.

Обозначим через $L_w(\{w\}, n)$ оценку величины Λ_w по множеству $\{w\}$, из которого исключен текст n :

$$L_w(\{w\}, n) = - \frac{1}{C^{\{w\}n}} \sum_{i \in \mathfrak{Z}: Q_{i\bullet}^{\{w\}n} > 0} \sum_{j \in \mathfrak{Z}: Q_{ij}^{\{w\}n} > 0} Q_{ij}^{\{w\}n} \ln \frac{Q_{ij}^{\{w\}n}}{Q_{i\bullet}^{\{w\}n}}, \quad (7)$$

где $Q_{ij}^{\{w\}n}$ – величина Q_{ij}^{wn} , вычисленная по всем текстам множества $\{w\}$ без текста n .

Таким образом, для любого текста n и любого автора $\{w\}$ должно выполняться следующее условие:

$$L_w(\{w\}) = L_w(\{w\}, n), \text{ если } n \in \{w\}; \quad (8)$$

$$L_w(\{w\}) \neq L_w(\{w\}, n), \text{ если } n \notin \{w\}. \quad (9)$$

Для установления авторства текста n , будем поочередно включать текст в каждое из множеств $\{w\}$, $w = \overline{0, W-1}$, и осуществлять ранжирование потенциальных авторов, определяя ранг $R_w(\{w\}, n)$ каждого из них как отсчитываемый от нуля порядковый номер значения $|L_w(\{w\}) - L_w(\{w\}, n)|$ в итоговой последовательности, получаемой после упорядочивания по возрастанию элементов последовательности

$$|L_w(\{w\}) - L_w(\{w\}, n)|, \quad w = \overline{0, W-1}. \quad (10)$$

Тогда автором текста предлагается считать следующего автора $\{\bar{w}\}$:

$$R_{\bar{w}}(\{\bar{w}\}, n) = \min_{w=\overline{0, W-1}} R_w(\{w\}, n). \quad (11)$$

Развивая процедуру установления авторства, возможно выделение следующих единиц анализа [2]: а) пар букв в их естественных последовательностях в тексте (словах), а также пробелов между ними; б) пар букв в последовательностях букв в приведенных формах слов; в) пар наиболее обобщенных грамматических классов слов, частей речи, их последовательностей в предложениях текста (существительные, глаголы, прилагательные и т.п. з) пар менее обобщенных грамматических классов слов (а именно, таких семантико-грамматических разрядов, как одушевленные существительные, неодушевленные существительные и т.п.).

Применение алгоритмов сжатия данных в задаче определения авторства. Информационное расстояние между текстами можно посчитать с помощью программ сжатия, например *zip*, *rar* и др. Сжатый файл – это набор инструкций для разжимающей программы, позволяющий без потерь восстановить исходный текст. Хотя у разных пакетов набор инструкций в файлах разный, размеры файлов получаются приблизительно одинаковыми. Этот удивительный факт связан с тем, что современные компрессоры достигают почти максимальной степени сжатия текстов, оставляя минимальное количество информации, необходимой для того, чтобы буквально воспроизвести текст. Это минимальное количество называется сложностью по Колмогорову.

Чтобы определить сложность текста S относительно текста T нужно подклеить текст S к концу текста T и посмотреть, насколько хорошо сжимается эта добавка: $K(S|T) \approx K(TS) - K(T)$. Выполнив сжатие текстовой информации, по полученному набору символов в дальнейшем, также возможно проведение анализа, направленного на определение авторства текста.

Выводы. Основным результатом проведенного исследования является то, что использование грамматической информации при решении задачи определения действительного автора текста является не только осмысленным, но и достаточно эффективным, а в некоторых случаях сопоставимым с использованием информации о встречаемости пар букв в тексте.

Интересен тот факт, что использование такой, простой единицы, как пара подряд идущих в тексте букв, дает более точные результаты, чем использование таких языковых категорий, как одиночные грамматические классы слов и их пары. Вполне возможно, что в буквенных парных структурах в преобразованном и, конечно, в неполном виде отображаются полные структуры морфем словоформ текста – префиксальные, корневые, суффиксальные и флективные. Тем самым, довольно большой объем словоизменительной и словообразовательной информации о структуре слов оказывается отображенным в статистике парной встречаемости букв, что и определяет довольно высокий уровень эффективности использования этой статистики для определения авторства текста.

Таким образом, подсчет частот употребления пар букв позволяет в некотором виде учесть информацию о словаре, который используется автором и, косвенно, информацию о предпочитаемых им грамматических конструкциях. Несмотря на то, что различия в частотах употребления конкретных пар букв, скорее всего, несущественны, поскольку сходятся к частотам, средним по языку, при увеличении объема текстов, «правдоподобие», учитывающее «общий» эффект изменения употреблений пар букв позволяет все же с высокой степенью точности определить истинного автора произведения.

Список литературы: 1. Хмельев Д.В. Распознавание автора текста с использованием цепей А.А. Маркова // Вестн. МГУ. Сер. 9: Филология. – 2000, № 02. – С.115-126. 2. *От Нестора до Фонаизина*. Новые методы определения авторства. – М.: Издат. группа «Прогресс», 1994. 3. Фоменко В.П., Фоменко Т.Г. Авторский инвариант русских литературных текстов // Методы количественного анализа текстов нарративных источников. – М.: Ин-т истории СССР. – 1983. – С. 86-109. 4. Ивченко Г.И., Медведев Ю.И. Математическая статистика. – М.: Высш. шк., 1992.

Поступила в редакцию 15.11.07

В. А. КОЛБАСИН

ОБНАРУЖЕНИЕ ТОНАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ ТЕЛЕФОННОЙ СЕТИ В ПРИСУТСТВИИ РЕЧЕВОЙ ПОМЕХИ

У статті розглянуто метод розпізнавання тональних сигналів телефонної мережі загального користування (ТфЗК) у присутності мовної перешкоди. Метод дозволяє для ряду застосувань комп'ютерної телефонії обійтися без використання модуля придушення луни. Для визначення моменту початку тональної послілки пропонується використовувати відношення середньої оцінки спектральної щільності міцності (СЩМ) на частоті тональних сигналів на попередньому інтервалі аналізу до мінімальної оцінки СЩМ на поточному інтервалі.

В статье рассмотрен метод распознавания тональных сигналов телефонной сети общего пользования (ТфОП) в присутствии речевой помехи. Метод позволяет для ряда приложений компьютерной телефонии обойтись без использования модуля подавления эха. Для определения момента начала тональной посылки предлагается использовать отношение средней оценки спектральной плотности мощности (СПМ) на частоте тональных сигналов на предыдущем интервале анализа к минимальной оценке СПМ на текущем интервале.

In the article tone signals of public switched telephone network (PSTN) recognition method that robust to speech interference is proposed. The method makes possible to several computer-telephony integration applications to omit using the echo canceller. Tonal packet start is detected by ratio of average power spectral density (PSD) in the previous analysis interval to minimal PSD in the current analysis interval.

Введение. Большинство систем компьютерной телефонии (СКТ) содержат модуль подавления эха, удаляющий из принимаемого СКТ сигнала выданный ею в линию сигнал и его отражение. Для систем, поддерживающих дуплексный режим взаимодействия с пользователем, этот модуль является необходимым, Однако, большинство СКТ взаимодействует с пользователем полудуплексно, т.е. информация передается либо СКТ, либо пользователем. В этом случае модуль подавления эха необходим только лишь для обнаружения асинхронно (по отношению к процессу диалога между пользователем и СКТ) появляющихся тональных сигналов телефонной сети общего пользования (ТфОП). Иными словами, в приложениях автоматического оповещения по телефону и автоответчика модуль подавления эха нужен только для отделения тональных сигналов ТфОП от выдаваемого СКТ в линию сигнала.

При построении СКТ на базе универсального аппаратного обеспечения, в составе которого уже присутствует модуль подавления эха, имеет смысл использовать предоставляемые им возможности. Однако если СКТ создается на базе специализированного аппаратного обеспечения, то включение в состав СКТ модуля компенсации эха будет излишним, если тональные сигналы ТфОП можно будет обнаружить на фоне речевого сигнала, выдаваемого СКТ в линию. Что позволит удешевить и упростить аппаратное обеспечение СКТ.

Таким образом, целью данной работы является построение методики распознавания тональных сигналов ТФОП на фоне речевой помехи.

Характеристики сигнала и помехи. Тональные сигналы ТФОП используются для оповещения оконечного оборудования ТФОП и абонента о состоянии соединения. Они представляют собой пакетные сигналы, состоящие из посылок гармонического сигнала частотой 425 Гц. Длительность посылок определяет тип сигнала.

Нормированный по уровню тональный сигнал ТФОП определяется как:

$$s(t) = \begin{cases} \sin(f \cdot t) & t \in [nT_{\text{имп}}, nT_{\text{имп}} + T_{\text{посылки}}] \\ 0 & t \in [nT_{\text{имп}} + T_{\text{посылки}}, (n+1)T_{\text{имп}}] \end{cases}. \quad (1)$$

Существует три основных типа тональных сигналов:

- 1) готовность АТС (постоянный сигнал, $T_{\text{имп}} = T_{\text{посылки}}$);
- 2) контроль посылки вызова ($0,6 \leq T_{\text{посылки}} \leq 1,37$, $6 \leq T_{\text{имп}} \leq 7,6$ секунд);
- 3) занятость ($250 \leq T_{\text{посылки}} \leq 400$, $250 \leq T_{\text{имп}} \leq 400$ миллисекунд).

Для речевой помехи характерно распределение энергии сигнала по 8-10 основным гармоникам речевого сигнала. Длительность интервала стационарности речевого сигнала принято считать равной 20 миллисекундам.

Существующие методы обнаружения. В литературе [1, 2] приведено достаточно много методов обнаружения гармонического сигнала на фоне помех, но эти методы рассматривают помеху как стационарный сигнал с известными параметрами распределения. Речевой же сигнал является кусочно-стационарным, причем параметры распределения для различных участков стационарности априорно неизвестны, что не позволяет использовать данные классические методы для решения поставленной задачи.

Достаточно часто в технике для определения тональных сигналов сравнивают оценку СПМ на частоте тональных сигналов (далее, оценка СПМ) с некоторым порогом для определения моментов начала и завершения тональной посылки. И далее на их основании проверяют, является ли анализируемый сигнал тональным сигналом ТФОП. Однако в данном случае этот способ непосредственно применить нельзя, т.к. в нем величина порога фиксирована. Вследствие этого речевая помеха может поднять уровень оценки СПМ на некотором коротком интервале выше порога, исказив тем самым оценку временных параметров тонального сигнала.

Идея метода. Рассмотрим изменение оценки СПМ на частоте тональных сигналов на участках тональной посылки и паузы. Поскольку речевая помеха смешивается с тональным сигналом аддитивно, то на протяжении всей тональной посылки оценка СПМ на частоте тонального сигнала будет больше мощности тонального сигнала. На участке паузы между тональными послылками оценка СПМ будет меняться с интервалом, равным длительности интервала стационарности речевого сигнала (20 мс) и в среднем будет

достаточно маленькой в силу рассредоточенности энергии речевого сигнала. Тогда решающее правило для определения начала и конца тональной посылки может быть построено на основе сравнения минимального и среднего значений оценки СПМ, полученных на соседних участках (интервалах анализа) длительность которых равняется минимальной длительности посылки тонального сигнала.

На основе всего вышеизложенного, для обнаружения моментов начала и завершения тональной посылки предлагается следующая методика. Принимаемый сигнал разбивается на перекрывающиеся окна анализа с шагом 10 мс, длиной 20 мс. Для каждого окна вычисляется оценка СПМ на частоте 425 Гц при помощи метода, предложенного в [3]. Затем по интервалу анализа, состоящему из K окон, вычисляются оценка мощностей тонального сигнала:

$$V_i = \min_{j=1, K, S_{i+j} > m_1} S_{i+j}, \quad m_1 = \min_{j=1, K} S_{i+j} \quad (2)$$

и мощности помехи:

$$N_i = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K S_{i+j}, \quad (3)$$

где S_i - оценка СПМ на частоте тонального сигнала в окне i .

Найденные значения N запоминаются в кольцевом буфере объемом K значений. Начало тональной посылки находится из условия:

$$\left(\frac{V_i}{N_{i-K}} > L_{front} \right) \cup (V_i > L_{abs}), \quad (4)$$

где L_{abs} - минимальная мощность посылки тонального сигнала;

L_{front} - минимальное отношение мощности тонального сигнала к мощности помехи.

При обнаружении момента начала тональной посылки мощность тонального сигнала запоминается $V' = V_i$.

Завершение тональной посылки определяется исходя из условия:

$$V_j < V' \cdot L_{down}. \quad (5)$$

где L_{down} - коэффициент постоянства мощности сигнала.

После обнаружения факта завершения тональной посылки следующие K окон анализа пропускаются и не обрабатываются.

Схема работы описанной методики проиллюстрирована на рисунках.

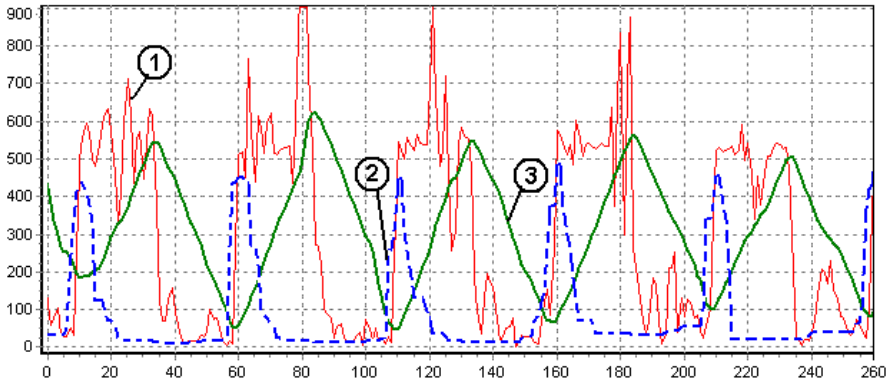


Рисунок 1. График изменения оценок СПМ (1), мощности сигнала (2) и мощности помехи (3) для участка тонального сигнала ТфОП

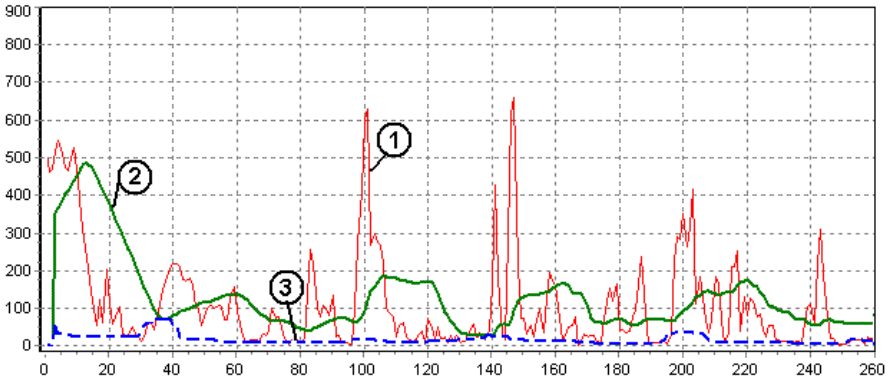


Рисунок 2. График изменения оценок СПМ (1), мощности сигнала (2) и мощности помехи (3) для участка речевой помехи

Далее, исходя из найденной оценки мощности тонального сигнала, выполняется проверка соответствия принятого сигнала шаблону тонального сигнала ТфОП. Проверка на соответствие шаблону может выполняться по различному количеству тональных посылок. Чем большее количество посылок требуется для определения сигнала ТфОП, тем точнее будет работать метод, но тем большая будет задержка между появлением сигнала в сети и его обнаружением СКТ.

Результаты. Для проверки работоспособности предложенного метода было выполнено обнаружение тональных сигналов занятости на участке речевого сигнала длительностью 1 час. Качество обнаружения тонального сигнала проверялось следующим образом: 1000 тональных сигналов были

зашумлены речевой/музыкальной помехой, уровень которой совпадал с уровнем сигнала. Затем определялось, какое количество сигналов занятости было обнаружено. Результаты тестирования приведены в таблице.

Результаты тестирования метода

Тип помехи	Сравнение с порогом	Проверка по 2 посылкам	Проверка по 3 посылкам	Проверка по 4 посылкам
Количество ложно определенных цифр за 1 час				
Музыка	58	5	1	1
Речь	43	4	3	2
Количество пропущенных последовательностей за 1 час				
Музыка	3	1	2	3
Речь	7	2	3	4

Таким образом, предложенный метод позволяет существенно улучшить качество распознавания тональных сигналов ТфОП при наличии речевой помехи и может быть использован при создании СКТ на базе специального оборудования, не содержащего модуля подавления эха.

Список литературы: 1. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – М.: Радио и связь, 1989 г. 2. Прокис Д. "Цифровая связь". Пер. с англ./Под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 2000 г. 3. Куценко А.С., Колбасин В.А. Модифицированный алгоритм вычисления спектральной плотности мощности для задачи распознавания двухтональных сигналов // Хмельницький: Вісник Технологічного університету Поділля, 2003. – № 4, ч. 2. – с. 217 - 220.

Поступила в редколлегию 23.05.07

УДК 519.816

В. В. МОСКАЛЕНКО, канд. техн. наук, доц. каф. АСУ НТУ «ХПИ»,
Е. В. КОРОЛЕВА, студент НТУ «ХПИ»

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОЕКТНОГО ПОРТФЕЛЯ В РАМКАХ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПОЛИТИКИ ПРЕДПРИЯТИЯ

В статті розглядається проблема розробки інвестиційної політики, в рамках котрої вирішується питання формування інвестиційного портфеля. Пропонується здійснити вибір напрямку інвестиційної діяльності, користуючись многофакторною експертною моделлю оцінки, а також розрахувати агреговані показники ризику та ефективності інвестиційних проєктів. Та користуючись отриманими даними сформувані інвестиційний портфель.

В статье рассматривается проблема разработки инвестиционной политики, в рамках которой решается вопрос формирования инвестиционного портфеля. Предлагается осуществить выбор направления инвестиционной деятельности, используя многофакторную экспертную модель

оценки, а также рассчитать агрегированные показатели риска и эффективности инвестиционных проектов. И используя полученные данные сформировать инвестиционный портфель.

In the article the problem of development of investment policy and the question of forming the investment case is considered. The choice of directions of investment activity is offered to use a multifactor expert model of estimations and expert aggregated indexes of investment risk and of efficiency of investment projects. And using the findings data, forms the investment case.

Введение. Инвестиционная деятельность представляет собой один из наиболее важных аспектов функционирования любой коммерческой организации. Сегодня от эффективности инвестиционной политики зависят состояние производства, положение и уровень технической оснащенности основных фондов предприятий, решение социальных и экологических проблем. Инвестиции являются основой для развития предприятий, отдельных отраслей и экономики в целом. Для разработки и осуществления инвестиционной политики предприятия необходимо учитывать множество факторов: риск, эффективность, прибыльность проектов. В рамках разработки инвестиционной политики необходимо принимать управленческие решения, связанные с выбором стратегии предприятия, осуществлением выбора проектов. В этой работе будут рассмотрены основные этапы разработки инвестиционной политики и способы их реализации.

Постановка задачи. В данной статье рассмотрим коммерческое предприятие, которое занимается вопросами инвестирования. Для этого предприятию необходимо разработать инвестиционную политику. Для ее разработки поэтапно решаются следующие вопросы:

- выбор направлений инвестиционной деятельности;
- выбор инвестиционных проектов.

При выборе инвестиционных проектов рассматривается два критерия:

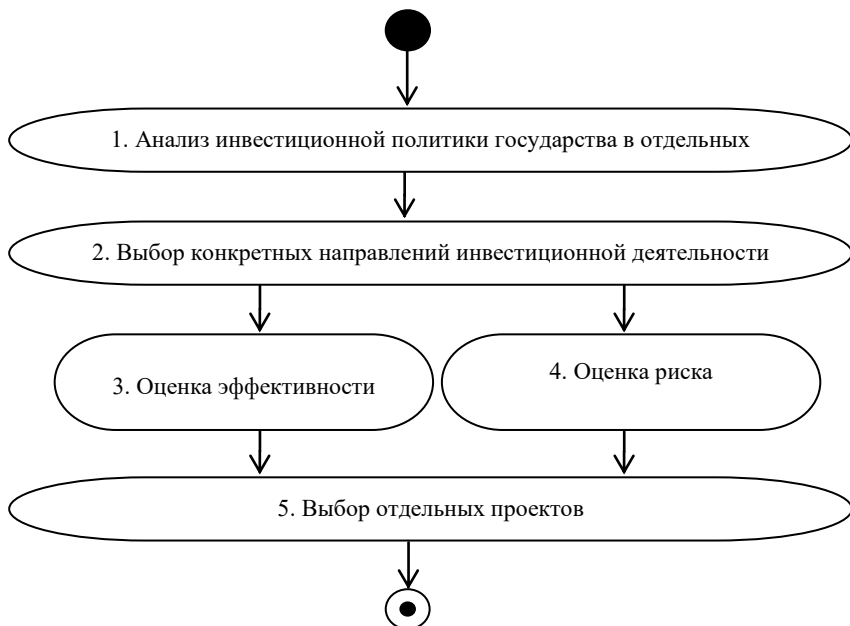
- максимизация прибыли;
- минимизация риска.

Возможными методами для решения этих вопросов являются:

- методы, связанные с выбором проекта по наилучшему значению какого-либо показателя экономической эффективности инвестиций (чистой приведенной стоимости, внутренней нормы доходности, индекса доходности, периода окупаемости);
- методы, связанные с выбором проекта по наилучшему значению показателя риска (стандартное отклонение чистой приведенной стоимости, коэффициент вариации рентабельности инвестиций);
- выбор наилучшего проекта или направления инвестиционной деятельности при помощи методов экспертных оценок.

Решение задачи. В основу формирования инвестиционной политики положим алгоритм, рассмотренный в работе Воробьевой [1] (см. рисунок).

Рассмотрим более подробно данный алгоритм.



Алгоритм разработки инвестиционной политики предприятия

1. Анализ инвестиционной политики государства в отдельных отраслях производится для того, чтобы потом на его основе, было возможно осуществить выбор конкретных направлений для инвестирования. Этот анализ производится на основании многофакторной экспертной модели оценки, предложенной в работе [2]. Рассмотрим основные этапы данного подхода.

На начальном этапе лицо, принимающее решение, определяет факторы, которые влияют на инвестиционную политику в различных отраслях:

позиция отрасли в отношении развития деловой активности;

состояния отрасли на сегодняшний момент;

перспектива развития отрасли.

Каждый эксперт присваивает удельный вес каждому i -критерию, а также оценивает каждую отрасль по i -критерию. Затем k -эксперт вычисляет интегральную оценку j -отрасли:

$$Y_j^k = \sum_{i=1}^m w_i \cdot c_i^j, \quad (1)$$

где w_i – удельный вес i -критерию, причем $\sum_{i=1}^m w_i = 1$;

c_i^j – оценка j -отрасли по i -критерию;

m – количество критериев.

Для реализации согласованности экспертов результаты интегрального оценивания усредняются методом среднего арифметического:

$$Y_j = \frac{\sum_{k=1}^p I_j^k}{p}, \quad (2)$$

где Y_j – интегральная оценка j -отрасли;

p – количество экспертов.

Стоит отметить, что w_i и c_i^j изменяются от 0 до 1 и от 1 до 100 соответственно. Таким образом, интегральный показатель будет изменяться в пределах от 0 до 100.

2. Выбор конкретных направлений инвестиционной деятельности производится на основе рассчитанной в предыдущем пункте интегральной оценки. Для осуществления инвестиционной деятельности выбирается та отрасль, интегральная оценка которой выше.

3. На этом этапе производится оценка эффективности различных проектов из выбранной отрасли деятельности.

Для этого рассчитываются следующие показатели:

- чистая приведенная стоимость

$$NPV = \sum_{i=1}^T \frac{CF_i}{(1+r_f)^i} - \sum_{j=1}^k \frac{I_j}{(1+r_f)^j}, \quad (3)$$

где CF_i - денежные доходы за i -период;

I_j - инвестиции в j -периоде;

r_f – безрисковая дисконтная ставка.

- индекс рентабельности инвестиций

$$PI = \sum_{i=1}^T \frac{CF_i}{(1+r_f)^i} / I; \quad (4)$$

- срок окупаемости проекта

$$PB = \frac{I_0}{CF}. \quad (5)$$

Дробная часть этого показателя определяется так:

$$d = \frac{I_0 - \sum_{i=1}^T CF_i}{CF_{i+1}}, \quad (6)$$

где CF_j – денежный поток в j -периоде;

I_0 – начальные инвестиции.

Далее определяется наиболее эффективный проект с учетом трех показателей эффективности. Для этого используется экспертный метод – метод попарного сравнения [3].

Эксперт по строкам матрицы, начиная с первой, последовательно сравнивает проекты a_1 с a_2, a_3, \dots, a_n ; далее a_2 с a_3, a_4, \dots, a_n и так до a_{n-1} . Сравнение производится по каждому рассчитанному показателю отдельно.

Таким образом, получаем три матрицы. Результаты сравнений y_{ij} проставляются в соответствующие клетки матриц парных сравнений.

Таблица 1

Матрица парных сравнений

Проекты	a_1	a_1	...	a_n
	Результаты сравнений			
a_1	y_{11}	y_{12}	...	y_{1n}
...
a_n	y_{n1}	y_{n2}	...	y_{nn}

Значения элементов матрицы определяются следующим образом:

$y_{ij} = 1$, если i -проект предпочтительнее j -проекта;

$y_{ij} = 0$, если j -проект предпочтительнее i -проекта;

$y_{ij} = 0,5$, если i -проект эквивалентен j -проекту.

Затем проекты ранжируются, для каждого матрицы, по убыванию весов, которые рассчитываются по формуле:

$$w_i = \sum_{j=1}^n y_{ij}, \quad (7)$$

где w_i - вес i -проекта;

y_{ij} - результат сравнения i и j -проектов;

n – количество проектов.

Веса формируются на единицу

$$w'_i = \frac{w_i}{\sum_{k=1}^n w_k}. \quad (8)$$

Таким образом, получаем для каждого проекта три нормированных веса:

- по показателю чистой приведенной стоимости ($w_i^{NPV'}$);
- по показателю индекса рентабельности инвестиций ($w_i^{PI'}$);
- по показателю срока окупаемости ($w_i^{PB'}$).

Рассчитывается для каждого проекта агрегированный показатель эффективности:

$$u_i = \frac{w_i^{NPV'} + w_i^{PI'} + w_i^{PB'}}{3}, \quad (9)$$

Чем больше агрегированный показатель, тем более эффективным является проект.

4. На этом этапе в рамках оценки рисков рассчитываются показатели:
 стандартное отклонение чистой приведенной стоимости;
 коэффициент вариации рентабельности инвестиций.

Для оценки степени рискованности различных вариантов капиталовложений используется способ анализа проектного риска на основе субъективных вероятностных оценок происхождения экономических явлений. В рамках этого анализа вычисляются вероятностные оценки рентабельности инвестиций и денежных потоков. Для этого вычислим следующие показатели.

Стандартное отклонение показателя рентабельности

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (CF_i - ECF)^2 \cdot P_i}, \quad (10)$$

где σ - стандартное отклонение рентабельности инвестиций;

P_i - вероятность происхождения i -го случая;

ECF - ожидаемая величина денежного потока, причем $ECF = \sum_{i=1}^n CF_i \cdot P_i$

Для определения CF_i и P_i используются экспертные оценки. Каждому эксперту ставится в соответствие некоторый коэффициент, который характеризует его компетентность в данном вопросе b_j . Эксперты оценивают показатели рентабельности и их значения вероятностей по каждому проекту, затем эти значения обрабатываются с учетом уровня компетентности экспертов.

Тогда соответствующие значения денежные потоки для P_i будут равны

$$CF_i = \sum_{j=1}^m CF_{ij} \cdot b_j, \quad (11)$$

где b_j - коэффициент компетентности j -го эксперта, $\sum_{j=1}^m b_j = 1$;

m – количество экспертов.

Стандартное отклонение чистой настоящей стоимости рассчитывается по формуле:

$$\sigma_{NPV} = \sqrt{\sum_{t=0}^T \frac{\sigma_t^2}{(1+r)^{2t}}}, \quad (12)$$

где σ_t^2 - вариация проектного денежного потока в t – периоде.

Коэффициент вариации рентабельности инвестиций:

$$CV = \frac{\sigma}{ECF}. \quad (13)$$

Чем больше значения коэффициента вариации, тем выше риск данного проекта

Для определения менее рискованных проектов воспользуемся методом попарного сравнения, применяя его так же, как и в предыдущем пункте.

То есть, необходимо заполнить матрицу сравнений сначала для показателя σ_{NPV} (см. табл.1). Более предпочтительным является тот проект, который характеризуется меньшим значением σ_{NPV} . Затем проекты ранжируются, для каждой матрицы, по убыванию весов, которые рассчитываются по формуле (7) и производится нормирование весов по формуле (8).

В результате чего получим нормированные веса проектов для показателя среднеквадратического отклонения чистой приведенной стоимости ($w_i^{\sigma'}$). Затем процедура повторяется для коэффициента вариации рентабельности инвестиций. В результате получаем нормированные веса проектов для этого показателя ($w_i^{CV'}$).

В результате вычисляется агрегированный показатель для оценки риска:

$$v_i = \frac{w_i^{CV'} + w_i^{\sigma'}}{2}. \quad (14)$$

Чем больше этот показатель, тем менее рискованным является проект.

5. На этом этапе осуществляется выбор проектов, исходя из двух критериев:

- максимизация эффективности (F_1);
- минимизация рисков (F_2).

Будем считать эти критерии равнозначными. Тогда для выбора проектов воспользуемся принципом справедливого компромисса.

Сравниваем два проекта a_1 и a_2 , сопоставляя их веса, рассчитанные в п.3 п.4 данного алгоритма.

Выбирается проект, значения которого предпочтительнее по обоим критериям.

Если же складывается ситуация, при которой проект a_1 предпочтительней проекта a_2 по критерию F_1 , но уступает ему по критерию F_2 , то необходимо вычислить цену уступки по каждому критерию:

$$x_1 = \frac{\Delta F_1}{\max_{i=1,2}(u_i)}, \Delta F_1 = u_1 - u_2, \quad (15)$$

$$x_2 = \frac{\Delta F_2}{\max_{i=1,2}(v_i)}, \Delta F_2 = v_1 - v_2, \quad (16)$$

где $x_{1,2}$ - цена уступки по первому и второму критериям;

$\Delta F_{1,2}$ - абсолютные снижения уровня критериев при переходе от проекта a_1 к проекту a_2 (для первого критерия) и при обратном переходе (для второго критерия).

Выбор проекта осуществляется по следующей схеме:

- если $x_1 > x_2$, то выбираем проект a_1 ;
- если $x_1 < x_2$, то выбираем проект a_2 .

Затем худший проект отбрасывается, и для сравнения с лучшим берем следующий проект a_3 . Процедура продолжается до тех пор, пока не будут сравнены все n -проектов.

Когда лучший проект определен, он выбирается и сравнение начинается снова уже без него. Процедура повторяется, пока не будут выбраны лучшие m -проектов. Число m определяется инвестором. Конец алгоритма.

Результатом реализации разработанного алгоритма является формирование инвестиционного портфеля, который будет соответствовать определенной инвестиционной политике. Недостатком метода является то, что его использование подразумевает наличие статистической информации.

Заключение. В дальнейшем будут предложены алгоритмы, которые реализовывают другие подходы к решению данной задачи. В частности, алгоритмы, которые не предполагают использования статистических данных.

Список литературы: 1. Воробьева Е.И. Инвестиционная политика предпринимательских структур в переходной экономике //http/ invest.cci.zp.ua/article/knp13_7.doc. 2. Корчагин А.В. Отбор проектов для финансирования: экспертные методы. //

УДК 004.8

Т. І. ЗАВАЛІЙ, аспірант кафедри ІСМ, НУ «Львівська політехніка»,
Ю. В. НІКОЛЬСЬКИЙ, канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри ІСМ,
НУ «Львівська політехніка»

ЯКІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДЕЛЕЙ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ, ОТРИМАНИХ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ НАБЛИЖЕНИХ МНОЖИН

Предметом дослідження є результати психологічного тестування, які використовують для прийняття рішень щодо допуску до роботи операторів енергетичних мереж. Описано підхід, який використовує набліжені множини для пошуку у таблицях даних правил, за якими приймають відповідні рішення. Виведені правила використано для класифікації нових прикладів. Розглянуто питання оцінювання якості класифікаторів за допомогою ROC-кривих і коефіцієнта успішності. Аналіз здійснено програмною системою Rosetta.

Предметом исследований являются результаты психологического тестирования, которые используют при принятии решения о допуске к работе операторов энергетических сетей. Для поиска правил принятия решений в таблицах данных предлагается использовать приближенные множества. С помощью полученных правил выполнена классификация новых примеров. Рассматривается оценивание качества классификаторов с помощью ROC-кривых и коэффициента успешности. Анализ произведен программной системой Rosetta.

The authors analyzed psychological testing results, which were used for a decision-making about admitting the power engineering specialists to work. The rough sets approach and its application for mining rules from data tables is described. These rules were used to classify new examples. The role of success rate and ROC-curve in a classifier's evaluation is considered. All of the analysis work was done with Rosetta software.

Вступ. Методи машинного навчання та інтелектуального аналізу даних широко використовують для пошуку закономірностей в даних, побудови моделей прийняття рішень, класифікації та кластеризації прикладів. Інтелектуальний аналіз – це процес побудови моделей прийняття рішень на основі даних, або виведення шаблонів з даних. Побудовані моделі відіграють роль корисного знання, викристалізованого з даних. Більшість методів інтелектуального аналізу базуються на методах машинного навчання, розпізнавання образів, математичної статистики. Еволюція та використання цих методів на даний час є областю активних досліджень [1, 2].

Одними з найпоширеніших в інтелектуальному аналізі є м'які обчислення [3] у складі нечітких множин, наближених множин, генетичних алгоритмів, нейронних мереж тощо. Вони оперують такими поняттями, як неточність, шум, надлишковість, непевність, наближене логічне виведення. Методи м'яких обчислень показують хороші результати у вирішенні реальних задач, обробці великих обсягів зашумлених даних, моделюванні складних предметних областей.

Проблема, результати вирішення якої наведено у цій статті, полягає в аналізі даних психологічних тестувань. Ці дані використано для побудови правил прийняття рішень. Відповідні тестування проводились на підприємствах енергетичної галузі з метою моніторингу та покращення роботи персоналу. Особливістю аналізованих даних є те, що емпіричні дані тестувань, зібрані психологами, доповнені суб'єктивними оцінками керівництва. В зв'язку з цим, виникає проблема об'єктивного оцінювання й оптимізації тестування персоналу, яку вирішено аналізом і застосуванням побудованих моделей прийняття рішень.

Наближені множини. Теорія *наближених множин* (rough sets) [4, 5, 6] вперше була сформульована Ж. Павлаком (Z. Pawlak). Вона є математичним інструментом подолання шуму та надлишковості в даних на основі використання понять верхнього та нижнього наближень, граничної області, розрізненості прикладів тощо. Цю теорію застосовують в поєднанні з іншими методами на всіх етапах видобування знань.

Алгоритми на базі теорії наближених множин використовують для зменшення кількості атрибутів у таблицях даних та побудови правил вигляду "якщо-то". Для цього спочатку формують таблицю прийняття рішень $A=(U, A \cup \{d\})$, де U – непорожня скінченна множина прикладів, A – непорожня скінченна множина умовних атрибутів, d – атрибут прийняття рішення з доменом V_d , $|V_d| = k$. Значення v_i атрибута d відносить кожний приклад $x \in U$ до класу прийняття рішення X_i , де $i = 1, 2, \dots, k$. Із таблиці A застосуванням спеціальних методів аналізу видаляють зайві атрибути та знаходять *редукт* – мінімальну множину атрибутів, яка зберігає початкову розрізненість прикладів і залежності, наявні в таблиці. Одним з методів пошуку редукта є *логічне виведення* (boolean reasoning). Цей метод дозволяє шукати наближені розв'язки шляхом регулювання *ступеня підтримки* (HF, hitting fraction) редукта. Використання ступеня підтримки є одним із механізмів боротьби з шумом в даних та подолання проблеми *перенавчання* (overfitting), оскільки наближений редукт містить лише найважливіші атрибути та відображає найсильніші залежності в таблиці прийняття рішень. Однією з реалізацій логічного виведення є алгоритм Джонсона [7]. Після знаходження редукта генерують правила прийняття рішень та обчислюють їхні якісні характеристики. Правила утворюють модель прийняття рішень, яку використовують для класифікації нових прикладів. Цю модель назвемо класифікатором.

Класифікація. Класифікатор – це четвірка $C = \langle RUL, P, HF, \tau \rangle$, де RUL – множина правил, P – характеристики правил, τ – порогове значення, яке є дійсним числом, $\tau \in [0, 1]$. У загальному випадку класифікацію виконують за методом голосування [8]. За цим методом на основі параметрів P розраховують коефіцієнти впевненості в належності приклада до кожного з наявних класів. Клас із найбільшим значенням коефіцієнта впевненості "перемагає" в класифікації приклада. У разі бінарної класифікації, якщо коефіцієнт впевненості для одного з двох наявних класів перевищує задане порогове значення τ , то приклад відносять саме до цього класу.

Якість правила $\alpha \rightarrow \beta$ (якщо α , то β) оцінюють за такими числовими характеристиками [8]:

1. Підтримка, $support(\alpha \rightarrow \beta)$ – кількість навчальних прикладів, для яких виконуються як умова α правила, так і його наслідок β .
2. Точність, $accuracy(\alpha \rightarrow \beta)$ – відношення кількості навчальних прикладів, для яких виконується все правило, до кількості навчальних прикладів, для яких виконується умова правила

$$accuracy(\alpha \rightarrow \beta) = \frac{support(\alpha \rightarrow \beta)}{support(\alpha)}.$$

3. Покриття, $coverage(\alpha \rightarrow \beta)$ – відношення кількості навчальних прикладів, для яких виконується все правило, до кількості навчальних прикладів, для яких виконується наслідок правила

$$coverage(\alpha \rightarrow \beta) = \frac{support(\alpha \rightarrow \beta)}{support(\beta)}.$$

4. Допоміжні показники, наприклад $coverage(\alpha)$ – частина навчальних прикладів, для яких виконується умова правила

$$coverage(\alpha) = \frac{support(\alpha)}{|U|}.$$

Результати класифікації нових прикладів подають *матрицею помилок*, у якій $True(X)$ є кількістю прикладів, правильно віднесених класифікатором до класу X , а $False(X)$ – неправильно. На основі цих оцінок розраховують коефіцієнт успішності (KU) класифікації

$$KU = \frac{\sum_{i=1}^k True(X_i)}{\sum_{i=1}^k True(X_i) + \sum_{i=1}^k False(X_i)},$$

де $k = |V_d|$ – кількість класів у таблиці прийняття рішень. Для покращення результату класифікації в процесі навчання додатково використовують методи *cross-validation*, *bootstrap* і *bagging* [9, 10].

Якість розрізнення класифікатором класів X_1 та X_2 можна оцінити з допомогою ROC-кривої (ROC, receiver operating characteristic) [11]. Ця крива показує поведінку класифікатора для різних порогових значень τ . У разі небінарної класифікації один з класів вважають класом X_1 , а решту об'єднують у клас X_2 . Для побудови ROC-кривої для кожного значення τ обчислюють матрицю помилок розмірів 2×2 та розраховують частину прикладів правильно (TPR , true positive rate) та неправильно (FPR , false positive rate) віднесених класифікатором до класу X_1 за формулами

$$TPR(\tau) = \frac{True(X_1)}{True(X_1) + False(X_2)}, \quad FPR(\tau) = \frac{False(X_1)}{False(X_1) + True(X_2)}.$$

Частину правильно класифікованих прикладів відкладають на осі ординат, а неправильно – на осі абсцис. Площа AUC (area under curve) під ROC-кривою є показником якості розрізнення класифікатором прикладів класів X_1 та X_2 . Значення $AUC = 0.5$ відповідає відсутності у класифікатора здатності розрізняти класи, а $AUC = 1$ означає ідеальну класифікаційну здатність [8].

Цілі дослідження. Мета досліджень полягала в аналізі таблиці даних з результатами психологічних тестів. Для цього з використанням наближених множин побудовано та порівняно декілька класифікаторів. Приділено особливу увагу питанням оцінювання якості класифікаторів. Побудовано та досліджено якість класифікаторів на основі наближених ($HF < 1$) та точних редуктів ($HF = 1$). Порівняння класифікаторів за допомогою ROC-кривих, значення AUC та коефіцієнта успішності виявило найкращий з них. Це дало змогу зробити висновки щодо якості оцінювання персоналу шляхом проведення тестувань і надати рекомендації для покращення наявної процедури прийняття рішень.

Експериментальна частина. Таблиця даних з результатами тестувань містить 188 прикладів та 38 атрибутів і не має невідомих значень. Домени умовних атрибутів містять дані про професію, місце праці, вік, досвід працівника, а також результати вимірювання швидкості реакції, об'єму пам'яті, здатності до концентрації, професійних навичок, мотивації тощо. Атрибутами прийняття рішень у таблиці є "профпридатність", яку розраховують психологи на основі результатів тестів, а також "успішність" та "надійність", які оцінюють керівники працівника, що проходить тестування. Оцінки v_1 ="відмінно", v_2 ="добре", v_3 ="задовільно" та v_4 ="незадовільно" є мітками класів X_i , до яких належать приклади таблиці, $X_i = \{x \in U \mid d(x) = v_i\}$, $i = 1, \dots, 4$. В процесі побудови класифікаторів навчальною множиною є 94 приклади, а решта 94 приклади утворюють тестову множину. Останню

використано для тестування та оцінювання якості класифікації. Для різних атрибутів прийняття рішення та різних значень *HF* проведено дві групи експериментів. У першій групі на основі 35 умовних атрибутів побудовано класифікатори №1–3 для атрибута прийняття рішення "профпридатність". У другій групі експериментів на основі 37 умовних атрибутів побудовано класифікатори №4–6 для атрибута прийняття рішення "надійність".

У табл. 1 наведено параметри класифікаторів і результати їх застосування для класифікації 94 тестових прикладів. З наведених даних видно, що для класифікатора №1 застосуванням алгоритму Джонсона кількість умовних атрибутів скорочена з 35 до 4, а для класифікатора №4 – з 37 до 5. У першій групі експериментів для заданого найменшого значення *HF* алгоритм зменшив кількість атрибутів редукта до двох – "вікова група" та "оцінка інтегрального показника". У другій групі експериментів до атрибутів редукта з найменшим значенням *HF* увійшли "місце роботи" та "оцінка обсягу уваги". Також видно, що зі зменшенням ступеня підтримки *HF* збільшується коефіцієнт успішності класифікації. Для класифікаторів №4–5 значення площі під ROC-кривою не наведено, оскільки через низьку успішність класифікації (0.05 та 0.35) ROC-крива не дозволяє отримати змістовні результати.

Таблиця 1

Якісні характеристики класифікаторів

Атрибут прийняття рішення	Номер класифікатора	Ступінь підтримки, <i>HF</i>	Кількість атрибутів редукта	Кількість правил	Коефіцієнт успішності, КУ	Площа, AUC
проф-придатність	1	1.0	4	60	0.6	0.68
	2	0.99	3	32	0.78	-
	3	0.96	2	13	0.82	0.81
надійність	4	1.0	5	86	0.05	-
	5	0.98	3	45	0.35	-
	6	0.91	2	16	0.5	0.54

На основі інформації з табл. 1 побудовано графіки, зображені на рис. 1. Значення успішності класифікації для атрибута прийняття рішення "профпридатність" об'єднані однією лінією, а для атрибута "надійність" – іншою. Ці лінії показують, як залежить успішність класифікаторів від значення ступеня підтримки. З його збільшенням успішність класифікації зменшується від 0.82 до 0.68 у першій групі експериментів, і від 0.5 до 0.05 – у другій. Класифікатор №3 показує найкращу успішність класифікації – 0.82, що відповідає 82% правильно класифікованих тестових прикладів. У табл. 2 наведено результати роботи класифікатора №1. Цей класифікатор визначив

клас 72 тестових прикладів, з них 56 прикладів класифіковані правильно. Кількість правильно класифікованих прикладів подана на головній діагоналі таблиці для кожного з класів. Решта 22 приклади не класифіковано, оскільки класифікатор не містив правил, які виконуються для цих прикладів. У табл. 3 показано результати роботи класифікатора №3, який правильно класифікував 77 прикладів і не зміг класифікувати лише один приклад. Отже, 13 правил класифікатора №3, згенеровані на основі редукта з двома атрибутами, виконуються для більшої кількості прикладів і показують найкращий результат успішності класифікації. Ці правила є більш загальними, ніж 60 правил класифікатора №1, які побудовані на основі редукта з 4 атрибутами.

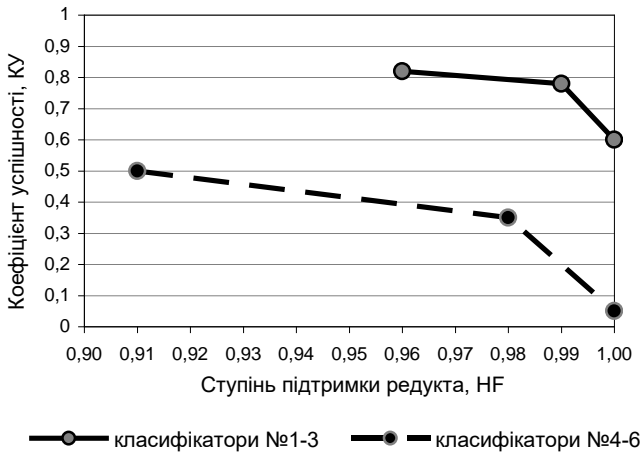


Рисунок 1 – Порівняння класифікаторів за показником КУ

Таблиця 2

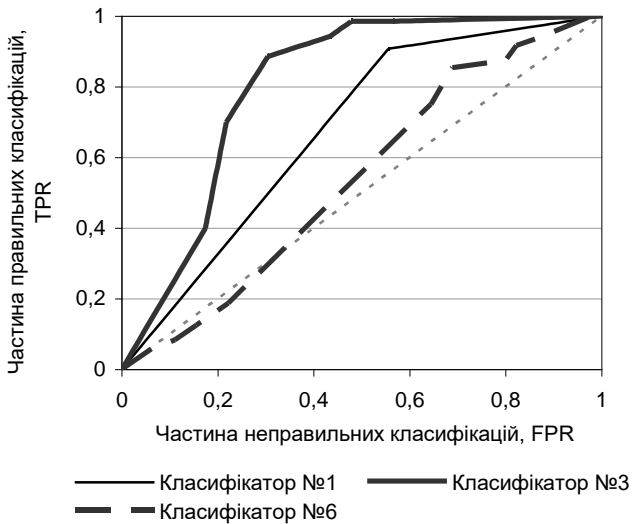
Матриця помилок класифікатора №1

Справжній клас	Прогнозований клас			
	X_1	X_2	X_3	X_4
X_1	2	2	0	0
X_2	3	49	2	0
X_3	1	7	5	0
X_4	0	1	0	0

Класифікатори також порівняно за допомогою ROC-кривих, які показують співвідношення між кількостями прикладів, правильно і неправильно віднесених до класу X_2 за різних порогових значень τ . На рис. 2 зображено три ROC-криві для класифікаторів №1, №3 та №6, відповідно.

Матриця помилок класифікатора №3

Справжній клас	Прогнозований клас			
	X_1	X_2	X_3	X_4
X_1	1	4	0	0
X_2	3	66	1	0
X_3	0	6	10	1
X_4	0	0	1	0

Рисунок 2 – ROC-криві, які показують здатність класифікаторів визначати клас X_2 з міткою "добре"

З рисунку видно, що класифікатор №3 краще від інших розпізнає приклади класу X_2 : лінія класифікатора №3 домінує над лінією класифікатора №1 й має більше значення площі під кривою $AUC = 0.81$. Для лінії класифікатора №1 площа $AUC = 0.68$ (див. табл. 1). Найменшу класифікаційну здатність ($AUC = 0.54$) показує класифікатор №6, побудований для атрибуту прийняття рішення "надійність". Це можна пояснити тим, що значення цього атрибуту визначають керівники працівника суб'єктивно і не використовують при цьому об'єктивних закономірностей, які містить таблиця з даними тестування. Результати, отримані для класифікаторів №4–6, підтверджують, що цей атрибут не впливає на залежності у таблиці даних. Ці класифікатори, побудовані для атрибуту прийняття рішення "надійність", у найкращому випадку показують

успішність класифікації лише 50%, що не можна вважати прийнятним результатом. Найкращі результати показали класифікатори №1–3, які побудовано для атрибута прийняття рішення "профпридатність". Це свідчить про те, що цей показник отримано на основі якісно підготовлених даних, які містили реальні закономірності. Такі закономірності були виявлені під час аналізу даних, вони дозволили побудувати класифікатори, результати застосування яких до тестових прикладів показали хороше узгодження із рішеннями, що були прийняті психологами.

Висновки. Результати проведених досліджень показали, що використання наближених множин у задачах класифікації є виправданим для побудови класифікаторів та прийняття рішень на їх основі. Частина опрацьованих даних була отримана в результаті суб'єктивного оцінювання ситуацій. З допомогою якісних характеристик класифікаторів вдалось оцінити вплив суб'єктивного фактора в даних на прийняття рішень. Це надає можливості для реорганізації методики проведення тестування, у якій потрібно зменшити суб'єктивний вплив на результати прийняття рішень. Показано, що результати навчання можна покращити зменшенням кількості атрибутів і побудовою наближених редуктів, на основі яких формують правила прийняття рішень. В проведених експериментах досягнуто 82% успішності класифікації тестових прикладів зі зменшенням кількості атрибутів з 37 до 2. Порівняння класифікаторів за допомогою ROC-кривих та за значеннями параметрів *AUC* і *KV* дозволило оцінити їхню якість на тестових прикладах та виявити серед них класифікатор №3 як найкращий. Проведені дослідження також дозволили виявити серед атрибутів прийняття рішення атрибут "профпридатність", значення якого найбільше враховує залежності в даних. Отримані результати використано для покращення методики тестування та моніторингу роботи персоналу підприємств енергетичної галузі. Для забезпечення більшої незалежності результатів від вибору навчальних і тестових прикладів надалі варто застосувати додаткові методи навчання і тестування класифікаторів.

Список літератури: 1. Mitra S., Pal S. K., Mitra P. Data mining in soft computing framework: a survey // IEEE Transactions on Neural Networks. – 2002. – Vol. 13. – P. 3–14. 2. Wang G., Liu Q., Yao Y., Skowron A. (Eds.). Rough Sets, Fuzzy Sets, Data Mining, and Granular Computing. // Proc. of 9th Int. Conference, RSFDGrC-2003. – Springer. – 2003. 3. Заде Л. А. Роль мягких вычислений и нечеткой логики в понимании, конструировании и развитии информационных/интеллектуальных систем. // Новости Искусственного Интеллекта. РАИИ. – 2001. – №2–3. С. 7–11. 4. Komorowski J., Polkowski L., Skowron A. Rough Sets: A Tutorial. // Eds. S. K. Pal and A. Skowron. Rough Fuzzy Hybridization: A New Trend in Decision-Making. – Springer-Verlag. – 1998. – P. 3–98. 5. Polkowski L. Rough Sets: Mathematical Foundations. – Physica-Verlag. – Heidelberg. – 2002. 6. Pawlak Z. Rough Sets – Theoretical Aspects of Reasoning about Data. – Kluwer Academic Publishers. – Dordrecht. – 1991. 7. Øhm A. ROSETTA Technical Reference Manual. – 2001. <http://www.idi.ntnu.no/~aleks/>. 8. Øhm A. Discernibility and Rough Sets in Medicine: Tools and Applications, PhD thesis. Norwegian Univ. of Science and Technology, Dep. of Computer and Information Science. – 2000. 9. Efron B., Tibshirani R. An Introduction to the Bootstrap. – Chapman Hall. – New York. – 1993. 10. Bauer E., Kohavi R. An empirical comparison of voting classification algorithms: Bagging, boosting, and variants.

УДК 007.681

О. Я. ЛАЗАРЕВА, канд. техн. наук

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗАЦИИ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИХ СЛОВАРЕЙ

В статті пропонується один з підходів до створення термінологічних словників. Основою реєстру термінологічного словника може бути частотний список словосполучень певної граматичної структури, автоматично виділених з текстів деякої предметної галузі. Напевно, що такий словник буде надмірним і буде потребувати коригування експертом.

В статье предлагается один из подходов к созданию терминологических словарей. Основой словаря терминологического словаря может служить частотный список словосочетаний определенной грамматической структуры, автоматически выделенных из текстов определенной предметной области. Естественно, что такой словарь будет избыточным и требует корректирования экспертом.

The paper suggests an approach to creation of the vocabulary of terminological dictionaries. Word combinations of definite grammar structures being automatically extracted from the texts of some domain and arranged in a frequency list may constitute the basis for a terminological dictionary. The obtained vocabulary is sure to be excessive and should be edited by an expert.

Современное состояние «инфосферы», пронизывающей все виды человеческой деятельности, характеризуется лавинообразным увеличением потоков информации, все большим слиянием и взаимопроникновением отдельных областей знаний, что вызывает потребность в создании и обновлении словарей, обслуживающих данные предметные области. В связи с этим возникает необходимость пересмотра подходов к самому процессу создания или пополнения словарей. Традиционно специалисты-предметники, часто в сотрудничестве с лингвистами, составляли такие словари - и словари на бумажных носителях, и словари, использующиеся в автоматизированных информационных системах (классификаторы, рубрикаторы, информационно-поисковые тезаурусы) - на основе анализа достаточно большой коллекции документов по некоторой тематике. И совершенно очевидно, что сам процесс накопления массива лексических единиц был и остается чрезвычайно трудоемкой операцией. Кроме того, учитывая стремительное развитие практически всех отраслей науки и технологий, с одной стороны, и достаточно длительный процесс подготовки или модернизации словарей, с

другой, такие словари всегда будут отставать по составу лексики от современного состояния отрасли, то есть не отвечать требованиям полноты.

Эти проблемы и послужили причиной поиска методики, позволяющей автоматизировать процесс первичного накопления базы терминологической единиц некоторой предметной области, которая позволит существенно сократить время и трудозатраты на создание словарей.

Основопологающим принципом такой методики служит предположение, что необходимым и достаточным источником терминологической лексики являются специальные тексты, или, другими словами, достаточно большой массив специальных текстов может практически полностью покрывать лексический и терминологический состав некоторого терминологического подъязыка. Другим важным принципом методики является предположение, что потенциально любое именованное словосочетание может быть термином или может содержать термин. Таким образом, для решения поставленной задачи необходимо разработать методы, которые позволяли бы автоматизировать процесс выделения из текстов таких именных словосочетаний, структура которых соответствует структуре термина. Сформированный таким образом словарь, естественно, будет избыточным и будет требовать постредактирования. Однако, трудозатраты, связанные с постредактированием, будут несоизмеримо меньшими по сравнению с трудозатратами на создание словарей традиционными методами. Точное определение корпуса текстов, необходимых для создания словаря, представляет отдельную задачу и не рассматривается в данной работе. Однако, приблизительную оценку можно сделать эмпирически – в процессе создания словаря следить за скоростью его роста. Если поступление новых слов или словосочетаний практически прекращается, то есть процент новых поступлений относительно, например, общего количества слов в тексте составляет меньше некоторого достаточно малого значения, то пополнение словаря можно прекратить.

Прежде всего, определимся, какие же словосочетания следует искать в текстах. Исследователи терминологии [6] выделяют достаточно много синтаксических структур терминов, которые включают, прежде всего, наиболее распространенную модель «единичное существительное», а также двух-, трех- или многокомпонентные словосочетания, содержащие прилагательные, причастия, наречия и даже глаголы. Однако, наиболее продуктивными [4] являются субстантивированные словосочетания с прилагательным или причастием (адъективный тип): *программное обеспечение, обратимый термодинамический процесс*, а также субстантивированные словосочетания с существительным (или их последовательностью) в родительном падеже (атрибутивный тип): *главный момент инерции, цепь переменного тока*. Оценки, приведенные в работе [5], показывают, что термины другой структуры, например, с предлогами или наречиями, составляют меньше одного процента от общего числа терминов.

Часто исследователи, работающие над аналогичными задачами [1], вводят ограничение на длину словосочетания, включаемого в словарь – не более 3 слов. С одной стороны, действительно – длина большинства терминов не превышает трех элементов. Однако существуют и намного более длинные термины, например: *многокомпонентная мелкодисперсная сухая смесь, линейное бесконечномерное евклидово полное сепарабельное пространство, область управления программными средствами, поворот плоскости поляризации световой волны* и пр., поэтому в предлагаемой методике мы снимаем все ограничения на длину выделяемого словосочетания.

Основой для автоматического выделения в тексте словосочетаний заданной структуры является, прежде всего, морфологический анализ текста, т.е. определение грамматических характеристик слов. Наиболее приемлемым для решения поставленной задачи считаем метод морфологического анализа с использованием словаря квазифлексий [2, 3]. Преимущество такого метода состоит в том, что он использует общие словоизменительные закономерности языка и тем самым обеспечивает достаточную точность, а также независимость применяемых методов автоматизации от тематики анализируемых текстов.

Схематично типы наиболее продуктивных терминологических конструкций можно представить следующим образом:

$$S_1 := [\langle \text{аде́ктив} \rangle] \dots \langle \text{существительное} \rangle \text{ или } [A_i] \dots N;$$

$$S_2 := S_1 \{ S_1 \}^p \dots ,$$

где квадратные скобки содержат необязательный элемент, а фигурные – обязательный.

Совершенно очевидно, что не все словосочетания такой структуры будут терминами: это и общеупотребительные слова, и свободные словосочетания, и словосочетания, в которых термин является их составной частью. Но что же можно считать критерием для включения или не включения выделенного словосочетания в словарь? Это, прежде всего, его принадлежность предметной области и еще целый перечень критериев, которые определяют свойства лексической единицы как элемента терминосистемы. А это уже экстралингвистическая информация, формализация которой представляется маловероятной сегодня. Поэтому мы ставим задачу выделения всех слов и словосочетания данной структуры по формальным признакам, а затем предлагаем предоставить специалисту возможность редактировать полученный список.

Если проанализировать расположение терминов в предложении с учетом их структуры, то оказывается, что термин (в частности структуры типа S_1 или S_2) могут быть как самостоятельной синтаксической единицей предложения, так и входить в состав словосочетания аналогичной или другой структуры. Поэтому предлагается выявленные в тексте начальные словосочетания

разделять на компоненты и формировать из них все возможные сочетания – производные дескрипторы, структура которых также должна соответствовать структуре термина.

Производные дескрипторы для конструкции S_1 формируются путем генерации всех возможных комбинаций адективов с существительным. При этом заведомо исключаются инвертированные цепочки типа $A_{i+k}A_iN$. Это объясняется тем, что порядок следования адективов носит не случайный характер, а обусловлен семантическими отношениями. Так, например, из цепочки *незатухающее гармоническое колебание* будет сформировано 3 производных дескриптора: *колебание; незатухающее колебание и гармоническое колебание*, которые вместе с начальным будут занесены в словарь.

Для атрибутивных конструкций (тип S_2) процесс генерации производных дескрипторов носит несколько иной характер, исходя из того, что отношения между компонентами этой конструкции линейные, то есть направление синтаксических связей направлено от предшествующего элемента к последующему без скачков: $S_1^1 \rightarrow S_1^2 \rightarrow \dots \rightarrow S_1^3$. Генерация состоит в формировании всех допустимых линейных цепочек адективных компонентов длиной от 1 до n , где n - число адективных компонентов атрибутивной конструкции. Таким образом, из начального словосочетания этого вида, например, *закон сохранения энергии взаимодействующих частиц*, будет сформировано 9 производных единиц: *закон; сохранения; энергии; взаимодействующих частиц; закон сохранения; сохранения энергии; энергии взаимодействующих частиц; закон сохранения энергии; сохранения энергии взаимодействующих частиц*, и они также будут занесены в словарь. Кроме того, в соответствии с правилами обработки адективных словосочетаний в словарь будут включены также элементы *частиц; энергии частиц; сохранения энергии частиц; закон сохранения энергии частиц*. Некоторые из производных дескрипторов (а, возможно, и многие) не будут являться терминами, а иногда и вообще не будут иметь смысла для данной предметной области. Тем не менее, подобная процедура позволит не пропустить термины, являющиеся составной частью свободного словосочетания.

Полученные в результате описанных преобразований словосочетания дополнительно подвергаются процедуре инвертирования, т.е. расположения элементов таким образом, чтобы главное слово – первое существительное – оказалось на первой позиции. Это дает возможность при сортировке полученного списка по алфавиту получить интересную картину лексико-семантических гнезд, объединенных общим главным словом.

Кроме того, во избежание повторения одних и тех же слов и словосочетаний, которые в текстах встречаются в различных падежно-числовых формах, дескрипторы необходимо нормализовать, т.е. привести к

начальной форме главное существительное и согласованные с ним прилагательные.

Важным критерием для включения полученных дескрипторов в тематический словарь является показатель частоты употребления этого слова или словосочетания. Очевидно, что вероятность того, что некоторый дескриптор действительно является термином данной предметной области, прямо пропорциональна его частоте и тем выше, чем больше слов входит в него. Таким образом, показатель

$$K = (F-1)*Q,$$

где K – вероятностный коэффициент, F - частота дескриптора, Q - количество слов в словосочетании, можно использовать как оценочный для принятия решения о включении данного слова или словосочетания в словарь. Сортировка полученного словаря по частоте, или по описанному выше показателю, несмотря на кажущуюся простоту такого подхода, дает неплохую вершину списка на достаточно больших объемах текстов. Конечно, наиболее частотными будут однословные дескрипторы, в особенности общеупотребительные и общенаучные слова типа *система, метод* и т.п. Однако мы уже отмечали, что данная методика не учитывает прагматику и семантику, а использует лишь формальные методы для отбора слов-претендентов на включение в словарь, а решающее слово всегда предоставляется эксперту.

Описанная методика автоматизации первичного отбора дескрипторов из текстов некоторой предметной области позволит существенно сократить время на разработку терминологических словарей и избавит эксперта от рутинной и чрезвычайно трудоемкой работы по обработке текстов.

Список литературы: 1. Антонов А.В. Информационно-поисковая система Galaktika-ZOOM с элементами анализа на гипермассивах информации // НТИ. Сер. 1. – 2001. – № 8. – С.12–21. 2. Белоногов Г.Г., Новоселов А.П. Автоматизация процессов накопления, поиска и обобщения информации. - М., 1979. - 253 с. 3. Грязнухина Т.А., Дарчук Н.П., Клименко Н.Ф. Использование ЭВМ в лингвистических исследованиях. - К., 1990. - 223 с. 4. Лазарева О.Я. Про деякі продуктивні моделі науково-технічних термінів // Українська термінологія і сучасність: Зб.наук.праць. Вип. 4. – К: КНЕУ, 2001. – С.185-188. 5. Лукашевич Н.В. Автоматизированное формирование информационно-поискового тезауруса по общественно-политической жизни России//НТИ. Сер.2. - 1995. - №3. - С.21-24. 6. Суперанская А.В., Подольская Н.В., Васильева Н.В. Общая терминология. Вопросы теории. – М.: УРСС – 2003.

Поступила в редколлегию 27.11.07

О. И. СИНЕЛЬНИКОВА, канд. техн. наук, ХНУРЭ

Е. Е. ДАШЕВСКАЯ, аспирант ХНАГХ

МЕТОДОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОДОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫМИ СЕТЯМИ

У статті розглядається питання розробки методології побудови експертної системи, що дозволяє автоматизувати процес прийняття рішень по попередженню аварій на водорозподільних мережах, оптимальному вибору ремонтно-відбудовчих робіт зі складанням ефективного розкладу їхнього проведення при наявності обмеженості ресурсів.

В статье рассматривается вопрос разработки методологии построения экспертной системы, которая позволяет автоматизировать процесс принятия решений по предупреждению аварий на водораспределительных сетях, оптимальному выбору ремонтно-восстановительных работ с составлением эффективного расписания их проведения при наличии ограниченности ресурсов.

In the article it is being considered the question of development of methodology of building an expert system that allows to automate the process of decision-making on accident prevention on water-distributing system, and on optimal option of repair-and-renewal operations with making an effective schedule on their conducting under scarcity of resources.

Введение. Особенность управления предприятием водоснабжения состоит в реализации функций производства, транспортирования, распределения и контроля качества воды. Требование эффективного управления любым технологическим процессом предприятия состоит в необходимости оперативной, точной и объективной оценки ситуации и принятия управленческого решения. Особенно остро решение этих задач стоит при экстремальных ситуациях, угрожающих целостности функционирования систем водоснабжения, влияющих на ресурсо- и энергопотребление, экологическое состояние окружающей среды [1].

Связь между системами добычи и подготовки воды с потребителем осуществляется посредством водораспределительной сети (ВРС). Одним из условий выполнения основного функционального назначения ВРС – обеспечение потребителей требуемым количеством воды под давлением не меньше заданного – является её техническое состояние. Особое значение в задаче эффективного управления ВРС уделяется вопросу целостности и санитарного состояния трубопроводной системы, соблюдение требований и норм эксплуатации. «Для существующих сетей и водоводов при необходимости следует предусматривать мероприятия по восстановлению и сохранению пропускной способности путем очистки внутренней поверхности стальных труб и нанесения антикоррозийного защитного покрытия» [2, стр.57]. С этой целью необходимо вести постоянный контроль за состоянием ВРС для выявления аварийных участков водораспределительной сети и выполнения работ по обновлению или восстановлению, а также выбора

эффективного способа реконструкции. Многофакторный характер технологической информации, её многокритериальность, необходимость постоянного контроля и анализа меняющихся характеристик процессов требует использования новых методов автоматизированного управления ВРС.

Одним из методов моделирования неформализованных задач в области принятия решений является построение систем управления на основе использования метода группового учета аргументов (МГУА)[3]. Метод МГУА относится к технологии искусственного интеллекта и характеризуется способностью автоматически решать задачи управления путем приобретения, запоминания и преобразования знаний в конкретной предметной области в процессе обучения на опыте и адаптации к внешним воздействиям. Методологической основой решения такого класса задач является построение экспертных систем (ЭС).

Актуальность и необходимость использования ЭС в системе управления ВРС объясняется специфичностью и повышенной технологической сложностью управления, высокой ценой ошибочных действий. Для выработки оперативных и долгосрочных управленческих решений необходимы постоянно действующие системы обработки исходных данных с последующей выдачей управленческих решений [4]. Поэтому при построении таких систем наряду с традиционными методами и моделями математического программирования, статистического анализа, теории принятия решения, необходимо использовать методы искусственного интеллекта (ИИ), обеспечивающие адаптивность и обучение самой системы. Методы ИИ позволяют в условиях неполноты исходной информации, используя вероятностно-статистические методы, вырабатывать суждения и объяснения, выдаваемые в качестве советов (рекомендаций).

Поэтому основной целью данной работы является разработка новой информационной системы, которая бы учитывала указанные моменты и гибко бы реагировала на динамику данных, а также позволяла бы пользоваться данной системой специалистам разного профиля.

Задачи исследования: анализ существующих проблем процесса автоматизированного управления водораспределительными сетями; разработка экспертной системы управления процессами ремонта участков водораспределительной системы.

Функциональные возможности. Существенную роль в выборе способа обработки и представления данных играет специфика информации. В основном для характеристики процессов в ВРС используются описательные данные (так называемые лингвистические переменные), которые требуют первичной экспертной обработки. Для построения автоматизированного управления ВРС необходима разработка математических моделей и методов решения задач с помощью универсальных инструментов, обладающих большой информационной емкостью, а также обладающих достаточной

гибкостью при эксплуатации, не требующих специальных знаний в области специфических математических теорий.

Сформулируем основные требования, которым должны удовлетворять такие системы [5]:

- гибридность. Возможность совместного применения различных моделей и методов для обработки информации об одном и том же объекте;
- гибкость системы. Способность менять структуру и параметры моделей за счет коррекции обучающей выборки;
- отсутствие категоричности. Многовариантность принимаемых решений с определенной степенью достоверности;
- автономность ЭС. Способность на основе накопленного опыта и знаний при изменении условий задачи моделировать искомое решение.

Все эти свойства наиболее полно иллюстрирует современное направление искусственного интеллекта, основанное на применении искусственных нейронных сетей (ИНС), а также подходы на основе метода группового учета аргументов (МГУА). Собственно, указанные подходы и были опробованы для построения моделей, которые могут создаваться и модифицироваться в соответствии с изменяющимися данными, что позволяет, не снижая качества управления, повысить оперативность задач планирования и организации работ по обновлению и восстановлению ВРС [6].

Итак, перейдем к непосредственному рассмотрению задач требующих первоочередного решения, при управлении ВРС, и в частности, повышения качества принимаемых решений по предупреждению аварий и проведению ремонтно-восстановительных работ.

В комплексе задач повышения эффективности автоматизированных систем управления водораспределительными сетями необходимо решать вопросы, связанные с контролем эксплуатации трубопроводов, оптимизации стратегии их восстановления и обновления. К числу рассматриваемых вопросов относятся:

- обеспечение специалистов полной, оперативной, достоверной информацией;
- наличие комплекса эффективных методов обработки информации;
- представление информации в удобном виде для анализа и принятия решений (оперативных, стратегических).

Рассмотрим вопрос создания ЭС управления работами по обновлению или восстановлению ВРС на примере предприятия водоснабжения г. Харькова. В настоящее время в коммунальном предприятии «Производственно-технологическом предприятии «Вода» эксплуатируется программное обеспечение, предназначенное для автоматизации рабочего

места диспетчера аварийно-восстановительных работ (АРМ «Диспетчер АВР»). Созданные электронные базы данных обеспечивают учет и контроль разного рода эксплуатационных показателей, выполняя справочную, статистическую и следящую функции управления. Однако эти учетные данные отражают прошлое состояние объекта управления и не позволяют оценить перспективы его развития; форма представления данных для анализа и принятия решений запрограммирована заранее и не может меняться пользователем; большие и постоянно растущие объемы баз данных требуют поиска новых методов обработки.

Место экспертной системы в общем контуре системы управления водораспределительной системы представлена на рис. 1.

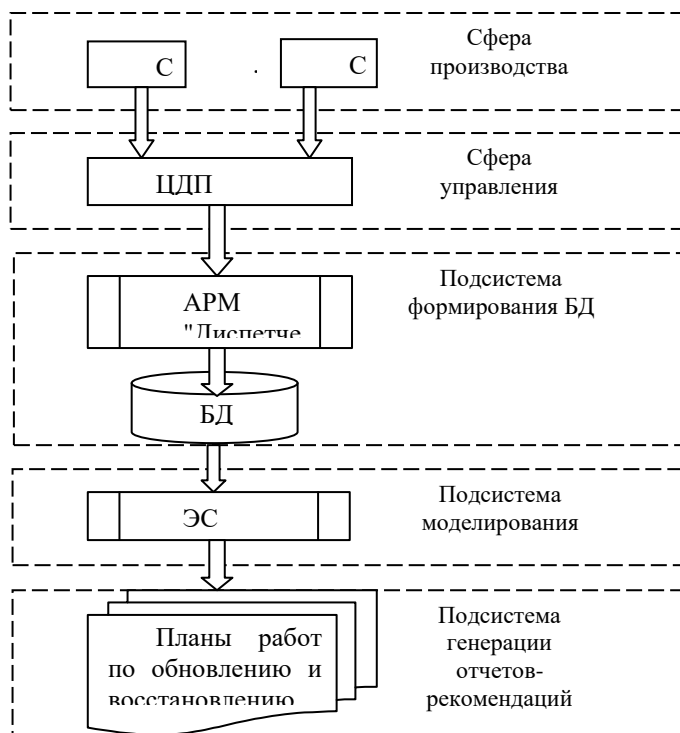


Рисунок 1 – Схема функционирования экспертной системы

В центральной диспетчерской службе предприятия (ЦДП) собираются технические и статистические показатели состояния ВРС, которые поступают от служб водопроводных сетей (СВС) города. Основное назначение подсистемы формирования баз данных является обеспечение функций учета баз данных (БД) повреждений, ведение и составление принятых форм

отчетности. Экспертная система предназначена для моделирования производственных планов построения ремонтно-восстановительных работ на основе технических, накопленных статистических, расчетных и экспертных данных.

Описание структуры блока и технологий реализации. Итак, на основе рассмотренных замечаний, а также, исходя из предложенных подходов [7] к решению задач прогнозирования времени безаварийной работы участка водораспределительной системы, а также метода идентификации способа реконструкции был разработан программный продукт. Программа написана в среде программирования Delphi 7, представляющая собой интегрированную среду разработки (Integrated Development Environment, IDE).

Все данные о водораспределительной сети хранятся в базе данных Data.mdb. Приложение обеспечивает логическое соединение с наборами данных и выбор информации из наборов данных, заключенных в хранилище ADO. Физический доступ к базе данных обеспечивают 32-разрядные драйверы ODBC. Все имеющаяся информация о системе, хранящаяся в этой базе данных, отображается в таблицах, представленных в окнах приложения.

Информационная модель предлагаемой программы имеет вид, представленный на рис. 2.

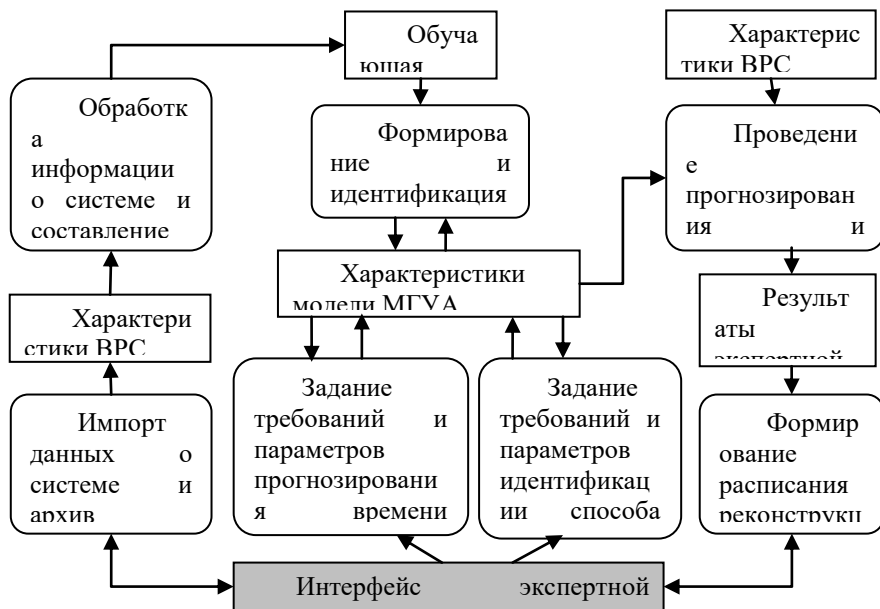


Рисунок 2 – Информационная модель программного продукта

Рассмотрим подробнее некоторые из функциональных блоков приведенной модели:

- импорт данных. В рамках данной задачи решается проблема импорта данных из форматов, которые поддерживают в виде отчетов других приложений, задействованных при управлении ВРС.
- формирование и идентификация модели методом группового учета аргументов [7]. Указанный модуль реализует алгоритм выбора наилучшей модели из множества моделей Колмогорова-Габбора второго и первого порядка, при этом идентификация модели осуществляется по методу наименьших квадратов.
- формирование расписания реконструкции участков ВРС. В модуле происходит формирование рекомендаций по принятию решений.

Далее (на рис. 3) представлена технологическая модель предложенного метода поддержки принятия решений при управлении функционированием водораспределительной сетью в сфере ремонтно-восстановительных работ.

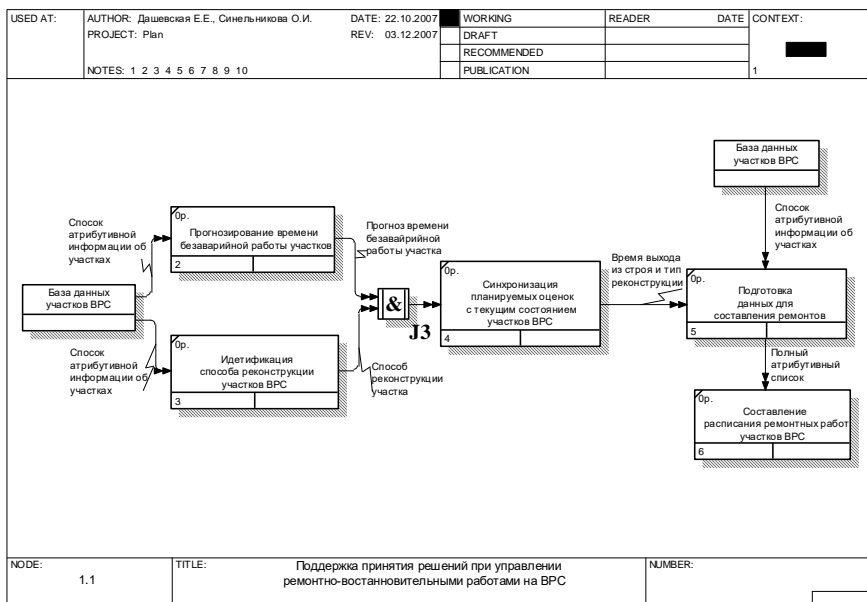


Рисунок 3 – Технологическая модель предлагаемого подхода

На рис. 4 представлено дерево задач, решаемых в процессе реализации метода принятия решений при автоматизированном управлении ремонтно-восстановительными работами.



Рисунок 4 – Дерево задач автоматизированного управления ВРС

Далее приведены экранные формы разработанного программного продукта.

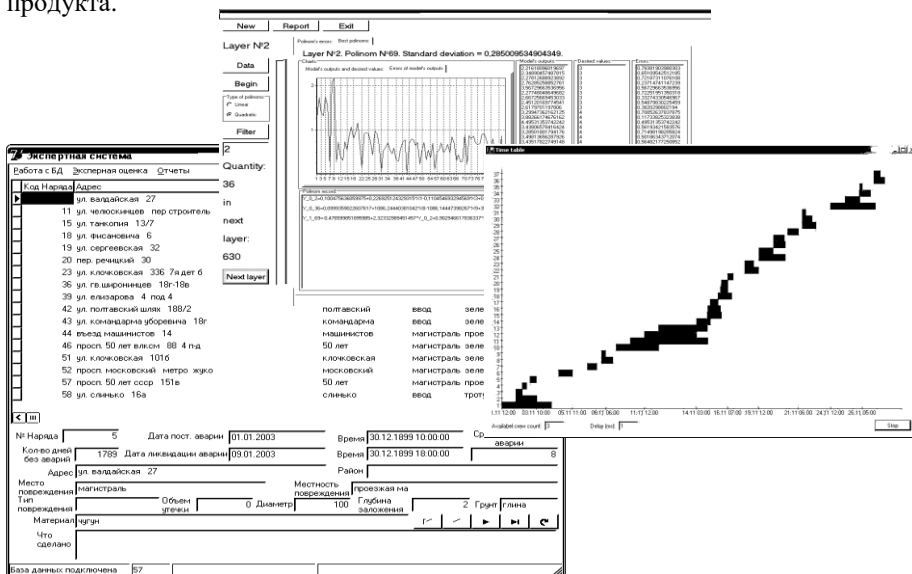


Рисунок 5 – Основные экранные формы разработанной экспертной системы

Заключение. В результате исследований разработан алгоритм поддержки принятия решений, положенный в основу экспертной системы, позволяющей

повысить эффективность автоматизированного управления на этапе восстановления и обновления ВРС.

Впервые разработана методология построения экспертной системы, которая позволяет автоматизировать процесс принятия решений по предупреждению аварий на водораспределительных сетях, с идентификацией способа ремонтно-восстановительных работ на основе метода группового учета аргументов и составлением эффективного расписания их проведения при наличии ограниченности времени и ресурсов с помощью диаграммы Ганта.

Разработанная методология построения экспертной системы позволит в практической деятельности предприятий водоснабжения автоматизировать

Для дальнейшего развития информационных технологий на предприятиях водоснабжения требуются организационные и технические изменения в управлении. «Недоучет взаимосвязи технологических и организационных структур влечет за собой существенные нарушения в производственной деятельности» [8, с.257]. Без заинтересованности руководителей разных уровней управления невозможно повысить качество и эффективность системы управления

Список литературы: 1. Евдокимов А. В., Петросов В. А. Информационно-аналитические системы управления инженерными сетями жизнеобеспечения населения. Учебное пособие. - Харьков: ХТУРЭ, 1998. – 412 с. 2. СНиП 2.04.02.-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения/Гострой СССР. - М.:Стройиздат, 1985. – 136 с. 3. Ивахненко А. Г., Юрачковский Ю. П. Моделирование сложных систем по экспериментальным данным. – М.:Радио и связь, 1986. – 118 с. 4. Богомазов О. А., Иваненко Б. Н., и др. Интегрированные компьютерные технологии управления системами водоснабжения. – Харьков: Основа, 1998. – 272 с. 5. Элти Дж., Кумбс М. Экспертные системы: концепции и примеры. – М.: Финансы и статистика, 1987. – 192 с. 6. Самойленко Н. И., Синельникова О. И., Дашевская Е. Е. Сравнение свойств моделей прогноза повреждений на водораспределительной сети методами множественной регрессии, нейронных сетей и группового учета аргументов. "Восточно-Европейский журнал передовых технологий". – № 4/5 (28) 2007 – с. 15-20. 7. Самойленко Н. И. Синельникова О. И., Дашевская Е. Е. Моделирование задач контроля и управления техническим состоянием водораспределительной сети методом группового учета аргументов. "Восточно-Европейский журнал передовых технологий". - № 5/3 (29) 2007. – с. 13-16. 8. Пряжинская В. Г., Ярошевская Д. М., Левит-Гуревич Л. К. Компьютерное моделирование в управлении водными ресурсами. – М.:Физматлит, 2002. – 494 с.

Поступила в редколлегию 13.12.07

В. А. ШЕХОВЦОВ, канд. техн. наук, НТУ «ХПИ»

ОБРАБОТКА ТРЕБОВАНИЙ КАЧЕСТВА НА РАННИХ СТАДИЯХ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

У статті розглянуто підхід до аналізу вимог якості на перших стадіях розробки програмного забезпечення. Підхід базується на моделі Клагенфуртського концептуального предпроектуювання (КСРМ), розширюючи її для обробки семантики вимог якості. Ці вимоги трактуються як наскрізні інтереси. Представлені розширення моделі КСРМ та нові правила відображення при використанні асиметричного аспектно-орієнтованого підходу.

В статье рассматривается подход к анализу требований качества на первых этапах разработки программного обеспечения. Подход основан на модели Клагенфуртского концептуального предпроектирования (КСРМ), расширяя ее для обработки семантики требований качества. Эти требования трактуются как сквозные интересы. Представлены расширения модели КСРМ и новые правила отображения при использовании асимметричного аспектно-ориентированного подхода.

This paper presents an approach for processing the quality requirements on early development stages. It is based on Klagenfurt Conceptual Predesign Model (КСРМ) allowing taking into account the semantics of quality requirements. These requirements are treated as crosscutting concerns. The extensions of the КСРМ schema and the new mapping rules are introduced for the case of asymmetric aspect-oriented approach.

1. Введение. В настоящее время при разработке программного обеспечения всё более актуальной становится проблема корректного учета требований качества, под которыми понимаются требования к таким характеристикам системы, как производительность, надёжность, эффективность, применимость, переносимость, тестируемость, воспринимаемость, модифицируемость и т.д. [1]. Это обусловлено увеличивающейся сложностью создаваемых систем, временными ограничениями и повышением требований к самим программным продуктам вследствие быстроты изменения окружающего мира. Проблема определения и обработки требований качества достаточно сложна и не до конца исследована. Некоторые работы (в частности, [2-4]) содержат попытки описать подходы к решению данной проблемы, но вопрос об универсальной концепции обработки таких требований остается открытым.

В данной статье будет описана технология преобразования требований качества к программной системе в промежуточную семантическую модель с последующим построением на её основе концептуальной модели системы. В качестве основы для промежуточной модели используется модель Клагенфуртского концептуального предпроектирования (Klagenfurt Conceptual Predesign Model, КСРМ) [5-7].

Дальнейшее изложение будет организовано следующим образом. В разделе 2 будет приведено описание основных используемых концепций, раздел 3 посвящен постановке задачи, раздел 4 – описанию предложенного подхода,

в заключительном разделе приводятся выводы и программа дальнейших исследований.

2. Предварительная информация. В данном разделе мы приведем основные сведения об используемых нами базовых подходах - аспектно-ориентированной разработке программного обеспечения (АОРПО) и Клагенфуртском концептуальном проектировании.

2.1. Аспектно-ориентированная разработка программного обеспечения. Основной целью методологии АОРПО является реализация средств систематической идентификации, разделения, представления и компоновки сквозных интересов на различных этапах разработки программного обеспечения. *Интерес* представляет собой цель или концепцию, которая реализована в компоненте системы.

Основным принципом АОРПО является *разделение интересов* [8]. При этом программное обеспечение рассматривается как реализация сложного взаимодействия различных базовых и системных интересов. Базовые интересы связаны с основной функциональностью системы, системные интересы – с обеспечением взаимодействия между компонентами системы. Например, для системы обеспечения продаж основными интересами могут быть управление прайс-листами и обработка заказов. Системные интересы в данном случае могут включать протоколирование операций, обеспечение целостности и непротиворечивости данных, резервное копирование информации.

Разделение интересов означает, что различные виды или типы интересов должны быть идентифицированы и разграничены с тем, чтобы понизить сложность разрабатываемой системы. Это разделение может проводиться на различных этапах разработки программного обеспечения - при анализе требований, проектировании и реализации. Наиболее приемлемым решением является осуществление этого процесса на всех стадиях разработки – от анализа требований к реализации.

Системные интересы, как правило, затрагивают различные компоненты системы, принято говорить, что такие интересы отражают *сквозное поведение* – поведение, которое присутствует во многих компонентах системы, возможно, не связанных друг с другом. Так, например, протоколирование (сохранение информации в системном журнале) должно быть реализовано в любом компоненте системы, поведение которого необходимо отслеживать. Интересы, связанные со сквозным поведением, называются сквозными интересами или аспектами. Сквозное поведение обладает рядом свойств: его реализация не является основной задачей компонентов системы; схема его организации не зависит от основной функциональности компонентов; такое поведение требуется во многих классах компонентов и во многих методах этих классов.

С реализацией сквозных интересов системы связан ряд проблем. Рассмотрим их симптомы:

1. *Запутанность кода.* Если код содержит фрагменты реализации нескольких интересов, разобраться в его организации становится сложно.

2. *Разбросанность кода*. Невозможно выделить отдельный модуль, реализующий сквозной интерес – соответствующая реализация распределена по многим модулям системы.

Выделяют два основных класса подходов к реализации систем на основе АОРПО: асимметричные и симметричные подходы. Основным принципом асимметричных подходов является то, что базовые и сквозные интересы выделяются отдельно и реализуются различным образом. При этом правила компоновки интересов задаются внутри реализации сквозных интересов (аспектов). Наиболее известным подходом этого класса является аспектно-ориентированное программирование (АОП) [9].

Основным принципом симметричных подходов является то, что все интересы рассматриваются и реализуются единообразно. Правила компоновки интересов задаются отдельно от их реализации. Наиболее известным подходом этого класса является многомерное разделение интересов (МРИ) [10].

АОП реализует чёткое разделение между базовыми классами и аспектами, при этом как те, так и другие собираются в конечную систему в ходе процесса композиции аспектов. Рассмотрим основные конструкции АОП, которые мы будем использовать в дальнейшем:

1. Аспекты (aspects) – модули, реализующие сквозное поведение. При этом каждый из аспектов разрабатывается отдельно, а на конечном этапе для получения завершённой системы производится композиция аспектов.
2. Точки соединения (join points) – точно определённые позиции в базовых классах (вызов метода, доступ к свойству и т.д.), в которых их выполнение может быть прервано для запуска сквозного кода. Модель точек соединения определяет допустимое множество таких позиций.
3. Срезы (pointcuts) – правила, определяющие набор точек соединения. Они определяют места, где сквозной код перехватывает выполнение базовых классов. Например, срез может охватывать точки вызова всех методов некоторого класса.
4. Уведомления (advices) – блоки сквозного кода аспекта, которые запускаются в точках соединения, определённых срезом. Примером уведомления может служить код записи в системный журнал, выполняемый перед всеми вызовами методов класса. На стадии композиции код уведомления внедряется в код базовых классов в местах, определённых срезом.

Наиболее известной реализацией АОП является AspectJ [11]. Это – среда программирования, поддерживающая расширение языка Java, в котором определены конструкции для описания сквозного поведения и средства композиции аспектов.

2.2. Модель Клагенфуртского концептуального предпроектирования.

Традиционный процесс разработки программного обеспечения на начальном этапе включает в себя стадии анализа требований и концептуального

моделирования или проектирования. При этом происходит резкий переход от первой стадии ко второй. Подразумевается, что информация о предметной области может быть легко извлечена из спецификаций требований, после чего на ее основе легко построить концептуальную модель системы. Практика, однако, показывает, что реализация такого подхода достаточно сложна и приводит к многочисленным ошибкам. Причиной является несоответствие спецификаций требований и концептуальной модели. Одним из подходов к решению данной проблемы является Клагенфуртское концептуальное предпроектирование [5-7]. Основной целью этого подхода является реализация такой процедуры сбора и анализа требований, которая допускает всесторонний контроль со стороны заказчика программного обеспечения.

Данная цель достигается с помощью модели Клагенфуртского концептуального предпроектирования (КСРМ) – промежуточной семантической модели, которая строится после стадии сбора требований, но перед построением концептуальной модели. Данная модель содержит семантические понятия, которые обладают большей общностью по сравнению с понятиями концептуального моделирования. Они более понятны и доступны конечному пользователю (заказчику) и могут быть легко проверены им. В качестве таких понятий выступают, в частности:

1. Тип-вещь (thing-type) – обобщение понятий объекта, класса и атрибута.
2. Тип-связь (connection-type) – обобщение связей в системе.
3. Тип-операция (operation-type) – обобщение действий, выполняемых в системе.

Данная модель может быть представлена в табличной (шаблонной) форме или в виде семантической сети. В дальнейшем мы будем использовать шаблонное представление. После проверки пользователем, модель предпроектирования может быть преобразована в концептуальную модель. Это преобразование осуществляется с помощью специальных правил. Мы рассмотрим шаблонное представление и правила преобразования в следующих разделах.

Данная модель может быть построена на основе спецификации требований, при этом стандартная ее реализация [5-7] позволяет использовать для этого исключительно функциональные требования. Существует два способа построения модели: непосредственно аналитиком и из текста спецификации с использованием обработки естественного языка. Используя второй подход, возможно построение концептуальной модели на основании текста спецификации. Этому посвящён проект NIBA [12], частью которого является проект по разработке КСРМ.

3. Постановка задачи. Проанализировав текущую ситуацию, можно видеть, что при обработке требований качества на начальных этапах разработки программного обеспечения возникает несколько проблем, требующих своего решения:

1. Модель концептуального предпроектирования на настоящий момент реализует сбор семантики и преобразование функциональных требований [7]. Для поддержки обработки требований качества данную модель необходимо модифицировать.
2. Процесс аспектно-ориентированной разработки программного обеспечения не содержит этапа, аналогичного по своей функциональной нагрузке концептуальному предпроектированию (для него не определена промежуточная семантическая модель).

В данном случае представляется целесообразным совместить преимущества АОРПО с возможностями, предоставляемыми КСРМ. Только в этом случае можно получить законченную технологию сбора семантики и преобразования требований качества. Целью данной статьи является освещение первых шагов при создании подхода, позволяющего решить эту задачу.

4. Аспектное предпроектирование. Рассмотрим вопрос представления и преобразования требований качества с использованием расширенной модели предпроектирования. Для обработки этих требований будем следовать аспектному подходу, который определяет их как сквозные интересы (аспекты) системы. Для обозначения происхождения требований, с которыми предполагается работать, предложенный подход назван *аспектным предпроектированием* [13, 14].

Как описано в работе [5], процесс предпроектирования, не учитывающий требования качества, состоит из двух этапов:

1. Заполнение обобщённой КСРМ-схемы (набора шаблонов) на основе требований и верификация информации данной схемы пользователем (заинтересованным лицом).
2. Осуществление преобразования данных из КСРМ-схемы в концептуальную модель.

Для учета необходимости представления требований качества необходимо произвести определенные изменения этих этапов.

4.1. Расширение модели концептуального предпроектирования. Основной проблемой аспектного предпроектирования является необходимость определения семантических понятий, которые бы адекватно представляли сквозные интересы в системе. При этом эти понятия должны оставаться доступными для конечного пользователя, который осуществляет проверку данных.

Одновременно удовлетворить двум этим требованиям достаточно просто. Главной причиной является терминология АОРПО, которая представляется сложной для восприятия конечным пользователем. Особенно это касается использования таких понятий как аспекты, точки соединения, срезы, уведомления и т.д. Данный факт вызван следующими причинами:

1. АОП было создано профессиональными программистами, проблемы которых в значительной степени отличаются от проблем обычных пользователей.

2. Полностью разобраться в технологии сквозных интересов достаточно сложно даже для опытных разработчиков и аналитиков.

Проблема сложной терминологии распространяется не только на конечных пользователей, но и на аналитиков. Например, для того чтобы промоделировать точки соединения с помощью UML, необходимо изменить их определение в терминологии AspectJ “принципиальные точки выполнения программы” [11] на более общее - ”места для добавления расширений”. В данной статье мы рассмотрим первые шаги для решения описанной проблемы. Наш подход является упрощённым, так как мы не рассматриваем сложные определения срезов, представление семантики таких определений является темой для дальнейших исследований.

Перед тем, как перейти к описанию подхода, нам необходимо привести пример спецификации требований, который будет использоваться при дальнейшем изложении. Рассмотрим систему поддержки работы банка. Фрагмент описания требований к данной системе выглядит следующим образом: *Система поддержки работы банка работает с клиентами и счетами (П1). Все операции со счетами необходимо протоколировать (П2). При попытке клиента снять средства со счёта, система обязана запросить у него пароль (П3).*

4.2. Моделирование семантики интересов. Семантическим понятием, представляющим сквозной интерес, является тип-вещь. Для того, чтобы отличать аспектные типы-вещи от стандартных, колонка шаблона «классификация» для них будет содержать значение «интерес». Данное значение устанавливает проектировщик. Пример шаблона, учитывающего семантику сквозных интересов, представлен на рис. 1. В предметной области приведенного выше примера в качестве таких интересов выступают *Безопасность* и *Протоколирование*.

Предметная область: банковская система				
Код#	Название	Классификация		Источник
V001	Безопасность	интерес		П3
V002	Протоколирование	интерес		П2
V003	Счёт	тип-вещь		П1, П2, П3
V004	Клиент	тип-вещь		П1, П3
...				

Рисунок 1 – Фрагмент шаблона моделирования семантики сквозных интересов

4.3. Моделирование семантики уведомлений. Семантика уведомления достаточно сходна с семантикой типа-операции, основное отличие заключается в механизме вызова, так как уведомление вызывается неявно в точках соединения, связанных с ним посредством среза. В нашей модели мы определяем следующее:

1. Тип-вещь, на который ссылается уведомление, является аспектом;
2. Колонка шаблона для описания вида вызова должна содержать значение «автовывоз».

Для обеспечения возможности вызова уведомлений необходима дополнительная информация, обеспечиваемая срезами, которая будет описана ниже. Рис. 2 содержит фрагмент шаблона для типов-операций с учётом семантики уведомлений, представляющий приведенный выше пример спецификации требований.

Предметная область: банковская система					
Код#	Название	Вид вызова	...	Выполняющий тип	Источник
O001	Снятие средств	явный		B004	ПЗ
O002	Запрос пароля	автовывоз		B001	ПЗ
O003	Протоколировании	автовывоз		B002	П2
...					

Рисунок 2 – Фрагмент шаблона моделирования семантики уведомлений

4.4. Моделирование семантики точек соединения. Семантика большинства точек соединения в спецификациях требований относится к двум категориям:

1. Вызов типа-операции.
2. Доступ к типу-вещи.

Соответствующие категории в АОП, применяемые на следующих этапах разработки, также могут иметь две различные реализации:

1. Доступ к соответствующему полю или классу.
2. Вызов всех методов соответствующего класса.

Таким образом, можно утверждать следующее: в большинстве случаев точки соединения могут быть представлены или типом-операцией, или типом-вещью. Далее мы опишем способ применения такого представления.

4.5. Моделирование семантики срезов. Срез представляет собой связь между уведомлением и точкой соединения, таким образом, он может быть определён как тип-связь. Чтобы позволить типу-связи представлять срез, необходимо изменить структуру шаблона для него. Нам необходимо обеспечить для среза возможность ссылаться не только на типы-вещи, но и на уведомления, с которыми он связан. Для этого необходимо разделить колонку «связанный тип-вещь» [7] на две:

1. «Связанный тип» - код типа, на который ссылается тип-связь.
2. «Связанная концепция» - обозначение общей семантической концепции для связанного понятия («тип-операция» или «тип-вещь»).

На рис. 3 представлен фрагмент шаблона типов-связей с учетом семантики срезов, соответствующий нашему примеру спецификации требований.

Срез С001 соединяет уведомление для запроса пароля с вызовом операции снятия средств. Срез С002 соединяет уведомление протоколирования со всеми операциями типа-вещи *Счет*.

Предметная область: банковская система						
Код#	Название	Перспективы				Источник
		Код перспект.	Связан. тип	Связан. концепция	Название	
С001	Пароль для операции	ПС001-1	О002	тип-операция	Запрос пароля	ПЗ
		ПС001-2	О001	тип-операция	Снятие средств	
С002	Протокол-ир. всех операций	ПС002-1	О003	тип-операция	Протоколирование	П2
		ПС002-2	В003	тип-вещь	Счёт	
...						

Рисунок 3 – Фрагмент шаблона моделирования семантики срезов

4.6. Расширение процесса преобразования. Для описания процесса преобразования необходимо выбрать конечную модель или нотацию. В данной работе мы рассмотрим преобразование модели аспектного предпроектирования в набор стандартных понятий асимметричного АОРПО-подхода, имеющих прямое соответствие в таких системах, как AspectJ. (аспект, уведомление, срез и точка соединения). Такой выбор позволяет добиться определенной общности решения, т.к. многие модели концептуального представления сквозных интересов предлагают свое соответствие каждому из этих понятий, поэтому для преобразования описанной модели в модель одного из этих подходов достаточно привести результат применения рассмотренных ниже правил в соответствие этому представлению.

Преобразование сводится к применению следующих правил:

1. *Правило аспекта.* Тип-вещь T преобразуется в аспект A_T в случае задания аналитиком для T значения «интерес» в поле «Классификация». После применения данного правила, все операции, связанные с данным типом-вещью, будут преобразованы в уведомления.
2. *Правило уведомления.* Тип-операция O преобразуется в уведомление AD_O , если O ссылается на тип-вещь, преобразованный в аспект и в колонке «вид вызова» содержит значение «автовызов».
3. *Правило среза.* Тип-связь C преобразуется в срез P_C , если C ссылается на тип-операцию, уже преобразованный в уведомление.
4. *Правило точки соединения № 1.* Тип-операция O преобразуется в точку соединения J_O , если O уже преобразован в метод M_O и связан с типом-связью, уже преобразованным в срез. В этом случае J_O представляет собой вызов метода M_O .

5. *Правило точки соединения № 2.* Тип-вещь T преобразуется в точку соединения J_T , если T уже преобразован в тип-значение V_T и связан с типом-связью, уже преобразованным в срез. В этом случае J_T представляет собой доступ к этому типу-значению (атрибуту).
6. *Правило точки соединения № 3.* Тип-вещь T преобразуется в точку соединения J_T , если T уже преобразован в класс C и связан с типом-связью, уже преобразованным в срез. В этом случае J_T представляет собой вызов любого метода класса C .

Для приведенного примера нужно применить следующие правила:

1. Правило аспекта для преобразования типов-вещей *Безопасность* (В001) и *Протоколирование* (В002) в аспекты.
2. Правило уведомления для преобразования типов-операций *Запрос пароля* (О002) и *Протоколирование* (О003) в уведомления.
3. Правило среза для преобразования типов-связей С001, С002 в срезы.
4. Правила точек соединения 1 и 3 для преобразования типа-операции *Снятие средств* (О001) и типа-вещи *Счёт* (В003) в точки соединения.

5. Заключение. В данной статье описаны первые шаги в направлении решения проблемы обработки требований качества на начальных стадиях разработки программного обеспечения. Для проверки применимости идей данной статьи необходимы реальные проекты и пользователи. Только после проверки в реальных условиях - как модели, так и правил преобразования - можно будет утверждать о законченности данного подхода.

Открытым также является вопрос об интеграции рассмотренного подхода в общий процесс управления качеством разработки программного обеспечения. Мы предполагаем, что семантическая модель, подобная рассмотренной в данной работе, может стать узловой для такого процесса.

Список литературы: 1. ISO/IEC 9126-1, Software Engineering – Product Quality – Part 1: Quality model, 2001. 2. *Chung, L., Nixon, B., et al.* Non-Functional Requirements in Software Engineering. Kluwer, 2000. 3. *Mylopoulos, J., Chung, L., Nixon, B.* Representing and Using Non-Functional Requirements: A Process-Oriented Approach. // IEEE Transactions on Software Engineering, Vol. 18, No. 6, pp. 483-497. 4. *Glinz, M.* On Non-Functional Requirements. // Proc.RE'07, IEEE, 2007. 5. *Mayr, H.C., Kop, Ch.* A User Centered Approach to Requirements Modeling. // Proc. Modellierung 2002. LNI P-12, GI-Edition, 2002, p. 75-86. 6. *Kop, Ch., Mayr, H.C., Zavinska, T.* Using KCPM for Defining and Integrating Domain Ontologies. // WISE 2004 Workshops, LNCS 3307, Springer, 2004, p. 190-200. 7. *Kop, Ch., Mayr, H.C.* Mapping Functional Requirements: From Natural Language to Conceptual Schemata. // Proc. SEA'02, 2002, p. 82-87. 8. *Дейкстра*, Э. Дисциплина программирования. М.: Мир, 1978. 9. *Kiczales, G., Lamping, J., et al.* Aspect-Oriented Programming. // Proc. ECOOP'97, 1997. 10. *Tarr, P., Ossher, H., et al.* N Degrees of Separation: Multi-Dimensional Separation of Concerns. // Proc. ICSE'99, 1999. 11. *Laddad, R.* AspectJ in Action. Manning. 2005. 12. *Niba, L.C.* The NIBA workflow: From textual requirements specifications to UML schemata. // Proc. ICSSEA'2002, Paris, 2002. 13. *Shekhovtsov, V., Kostanyan, A.* Aspectual Predesign. // Proc. ISTA'2005, LNI P-63, GI-Edition, 2005, p. 216-226. 14. *Shekhovtsov, V., Kostanyan, A., Grutskov, E., Litvinenko, Y.* Tool Supported Aspectual Predesign // Proc. ISTA'2006, LNI P-84, GI-Edition, 2006, p. 153-164.

Поступила в редколлегию 17.11.07

Л. Б. КАЩЕЕВ, канд. техн. наук,
А. Н. ТРУБИНА, студентка НТУ «ХПИ»

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЦИОНА ПИТАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

В статті пропонуються алгоритми оптимізації чисельних характеристик раціону харчування, тобто його калорійності, вартості, змісту поживних речовин, основу якого складає метод лінійного програмування.

В статье предлагаются алгоритмы оптимизации числовых характеристик рациона питания, т.е. его калорийности, стоимости, содержания питательных веществ, в основе которого лежит метод линейного программирования.

In the article have been proposed methods of optimization of numerical descriptions of ration of feed, the numerical characteristics is calorie content, cost, maintenance of nutritives, the method of the linear programming lies in basic of optimization.

Введение. В настоящее время линейное программирование с точки зрения уровня теоретических разработок и реализации вычислительных методов является одним из наиболее проработанных направлений в области решения оптимизационных задач. Начало этому направлению в исследовании операций положил Дж. Данцинг, разработавший в 1947 г. симплекс-метод, который встречается в литературе под названием «метод последовательного улучшения плана» [1].

Постановка задачи. Выбор пищевых продуктов для составления оптимального меню описывается линейной функцией и линейными ограничениями. В качестве целевой функции может рассматриваться минимизация энергетической ценности питания, минимизация общей стоимости продуктов, минимизация по отдельным составляющим питания (например, меню для диабетиков). Система ограничений должна гарантировать наличие в меню необходимого количества тех или иных веществ (например, «белков не менее чем ...»). Рассматривается программная реализация решения этой задачи.

Описание алгоритма. Укрупненная оценка диеты укладывается в задачу математического программирования – обеспечить человеку потребление суточных норм каждого из пищевых веществ. Включение в рацион того или иного продукта увеличивает некую интегральную характеристику меню (например, цену, калорийность). В математическом виде постановка задачи сводится к минимизации целевой функции [1,2]:

$$f(x) = \sum_i k_i x_i \rightarrow \min, \quad (1)$$

где k_i – весовой коэффициент, определяющий вклад в интегральную оценку меню (калорийность, стоимость, объем);

x_i – рассчитываемое количество i -го продукта;

i – номер продукта, $i=1, \dots, n$;

n – количество продуктов, участвующих в составлении диеты.

Исходными данными для разработки диеты является база данных [3,4], содержащая информацию об интересующих параметрах продуктов – содержании в них белков, жиров, углеводов, витаминов A, B_1, B_2, PP, C , минеральных веществ: натрия, кальция, калия, железа, магния и фосфора. Экранная форма фрагмента данной таблицы представлена на рисунке (приведен скрин-шот компонент DBGrid визуальной среды Delphi, отображающий числовые характеристики продуктов из группы связанных таблиц с характеристиками пищевой ценности продуктов; ключи для связи с другими таблицами, флажки наличия на складе и данные по остальным витаминам на рисунке не приведены).

№	Наименование продукта	Белки	Жиры	Углеводы	Кальц	Натрий	Калий	Кальций	Магний	Фосфор	Железо	Вит. В1	Вит.
79	Крупа гречневая	12,6	2,6	68	326	0	167	70	98	298	8	0,53	0
80	Крупа кукурузная	8,3	1,2	75	325	55	147	20	36	109	2,7	0,13	0,4
81	Крупа манная	11,3	0,7	73,3	326	22	0	20	30	84	2,3	0,14	0,4
82	Крупа овсяная	11,9	5,8	65,4	345	45	292	64	0	0	0	0	0
83	Крупа перловая	9,3	1,1	73,7	324	0	172	38	94	323	3,3	0,12	0,4
84	Крупа пшеничная	12,7	1,1	70,6	325	0	0	0	0	261	6,4	0,3	0
85	Крупа рисовая	7	0,6	77,3	323	26	54	24	21	97	1,8	0,08	0,4
86	Крупа ячневая	10,4	1,3	71,7	322	0	0	0	0	343	1,6	0,27	0,4

Пример данных из таблицы «Продукты»

Существует возможность дополнения информации о видах продуктов, обновления данных о содержании питательных и минеральных веществ.

Специфика задачи накладывает на решение ряд ограничений, так полученные математически корректные результаты могут быть физически нереализуемы. Таким образом, необходимо учитывать следующее [2]:

1) рекомендуемое количество продукта x_i не может отрицательным числом, т.е.

$$x_i \geq 0, \quad (2)$$

2) суммарный вес рекомендуемых продуктов должен соответствовать реальному количеству продуктов, которое человек в состоянии потратить в течение дня S , т.е.

$$\sum_i x_i \leq S, \quad (3)$$

3) рекомендованное количество продуктов должно как минимум удовлетворять суточным нормам потребления пищевых веществ, т.е.

$$\sum_i x_i K_{ij} \geq N_j, \quad (4)$$

где N – вектор, элементы которого равны суточной потребности организма в j -м веществе;

K – матрица размера $n \times m$, (n – количество учитываемых веществ, m – количество продуктов, участвующих в составлении диеты), каждый элемент которой равен количеству j -го вещества в i -м продукте.

В результате проведенной работы был разработан программный пакет, который рассчитывает количество продуктов, удовлетворяющее заданному содержанию питательных веществ, витаминов, удовлетворяющее заданному содержанию питательных веществ, витаминов, при этом оптимизирует калорийность меню или же другой числовой параметр. Например, для удовлетворения потребности в 35 мг белка, 5 мг жира и 14 мг углеводов за счет хлебобулочных и молочных продуктов предлагается следующий вариант меню (табл. 1).

Таблица 1

Рассчитанное количество продуктов

Продукты	Количество, г	Содержание, г		
		Белки	Жиры	Углеводы
Батон	10	0,79	0,1	5,19
Кефир 2,5%	150	4,5	3,75	5,7
Творог 1%	200	33,4	2	3,2

Общая калорийность составленного меню оптимизирована и составляет 284,1 ккал. Заметим, что данное меню можно рассматривать лишь как удачную рекомендацию, но не более. Это обусловлено усредненными исходными данными и особенностями задачи – даже малейшие изменения в системе ограничений значительно меняют границы многогранника допустимой области, а любые изменения в коэффициентах целевой функции изменяют выбор оптимального решения. Числовые параметры плодоовощных продуктов зависят от погодных условий в конкретный год и методов обработки (приготовления). В приведенном меню могут существенно измениться содержание питательных веществ, если продукты хранятся сутки или более. Но и при этом выбираемая вершина допустимой области определяет продуктовый состав меню, который вполне соответствует рациональному питанию, а конкретная рекомендация для реального пациента может быть выбрана на его основе врачом-диетологом.

Выводы. Проанализировав все преимущества и недостатки этого метода, становится очевидным, что разработка средствами линейного программирования дает далеко не идеальные результаты. Например, в

окончательное решение войдет столько продуктов, сколько ограничений имеет задача. Но редко кто из нас питается ежедневным рационом менее, чем из 40 исходных продуктов. Следует учесть, что большое число продуктов требует на каждом этапе итераций решения системы линейных алгебраических уравнений больших размеров, что ведет к накоплению ошибки и срыву задачи по точности. Кроме того, проанализировать точное содержание питательных веществ в продукте невозможно, поэтому числовые характеристики продуктов являются лишь усредненными.

Но с другой стороны общепризнанных программ для подбора меню и оптимизации его калорийности, стоимости или содержания какого-либо питательного вещества по заданным характеристикам продуктов практически нет. Во всемирной сети Internet можно найти много пакетов для составления меню, но все они достаточно примитивны и вряд ли основываются на каких-либо математических методах. В большинстве подобных программ используются заранее заготовленные «шаблоны» меню, количество продуктов в которых подгоняется под конкретного пациента. Это легко заметить, если попытаться исключить из меню тот или иной продукт. В жизни практически каждый пищевой компонент можно заменить другим или другими, включающими необходимые питательные вещества. В этом плане алгоритмы линейного программирования гибче и позволяют врачу-диетологу, например, оперировать с набором продуктов, имеющихся на складе (наложение фильтров на базу данных продуктов по параметру «Наличие на складе» или дополнительной таблице приходно-расходных накладных вполне обычная задача для современных СУБД [3,5]). С усовершенствованием вычислительной техники острота вопроса о быстродействии и точности постепенно ослабевает, а использование «длинных» типов данных позволяет много итераций удерживать точность на определенном уровне. В связи с этим разработанная программа может быть использована в качестве информативно-советующей системы для ориентировочного расчета меню.

Список литературы: 1. Зайченко Ю.П. Исследование операций.– К.: Вища школа, 1975.– 352 с. 2. Браун Р., Мэзон Р., Фламгольц Э. и др. Исследование операций. Пер. с англ. – М.: Мир, 1999. – С. 120 – 149. 3. Гарсия-Молина. Системы баз данных – полный курс. – СПб.: Питер, 2003. – 809 с. 4. Сахаров А.А. Принципы проектирования и использования многомерных баз данных. – М.: Изд. Дом Вильямс, 1996. – 300 с. 5. Архангельский А.Я. Программирование в Delphi 6. – М.: БИНОМ, 2003. – 1120 с.: ил.

Поступила в редколлегию 15.11.07

ШЕВЧЕНКО С.В., канд. техн. наук,
МАСЛОВА О.А.

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОЦЕССОВ ПЛАНИРОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ПРЕДПРИЯТИЯ

В статті розглядається підхід до визначення організаційної структури підприємства с позицій критерію максимум прибутку на основі оцінок обсягів замовлень, продуктивності наявних можливих виконавців та ресурсних обмежень. Пропонується математична модель, що дозволяє одержати потрібні показники.

В статье рассматривается подход к определению организационной структуры предприятия с позиций критерия максимум прибыли на основе оценок объемов заказов, производительности существующих возможных исполнителей и ресурсных ограничений. Предлагается математическая модель, которая позволяет получить необходимые показатели.

In article the approach to definition of organizational structure of the enterprise from positions of criterion a maximum of the profit is considered on the basis of estimations of volumes of orders, productivity of existing possible executors and resource restrictions. The mathematical model which allows to receive necessary parameters is offered.

Введение. Целью планирования организационной структуры предприятия является определение потребностей в персонале, выполняющем различные этапы производства, реализации продукции, а также обеспечения этих процессов и необходимых связей с внешними субъектами. Эти процессы включает в себя не только обоснование условий развития предприятия, но и условий его экономического роста. Данная цель может быть достигнута за счет выбора оптимальной организационной структуры предприятия с наиболее успешной реализацией потенциала сотрудников и кадрового потенциала производственного предприятия в целом [1].

Рассматриваемые вопросы весьма актуальны для предприятий и организаций, занимающихся разработкой и внедрением ИТ-технологий и систем управления, построенных на их основе. Организациям данной отрасли чаще всего присуща матричная или проектная структура. В рамках одной организации для выполнения конкретного проекта может формироваться так называемая проектная команда, объединяющая специалистов различного профиля. После решения поставленной задачи проектные команды могут быть расформированы. Однако для формирования кадрового состава, как всей организации, так и проектных команд, необходим определенный механизм [2].

Постановка задачи. Организация может рассматриваться как набор каналов обслуживания, обрабатывающих поток заявок, поступающих как от заказчиков, так и от компонент внутренней структуры. На выходе

формируется поток выполненных заявок. Если канал в данный момент времени занят выполнением других работ, то в системе может возникнуть очередь, что является угрозой потери объемов работ от заказчика, сопровождающейся убытками. С другой стороны, при большом количестве каналов могут возникнуть непроизводительные простои, что в свою очередь также приведет к финансовым убыткам организации.

Предполагая, что для повышения общей производительности рассматриваемого предприятия, ряд этапов работ по договорам могут выполняться параллельно, моделирование процессов планирования организационной структуры предприятия можно осуществить в соответствии со следующей схемой.

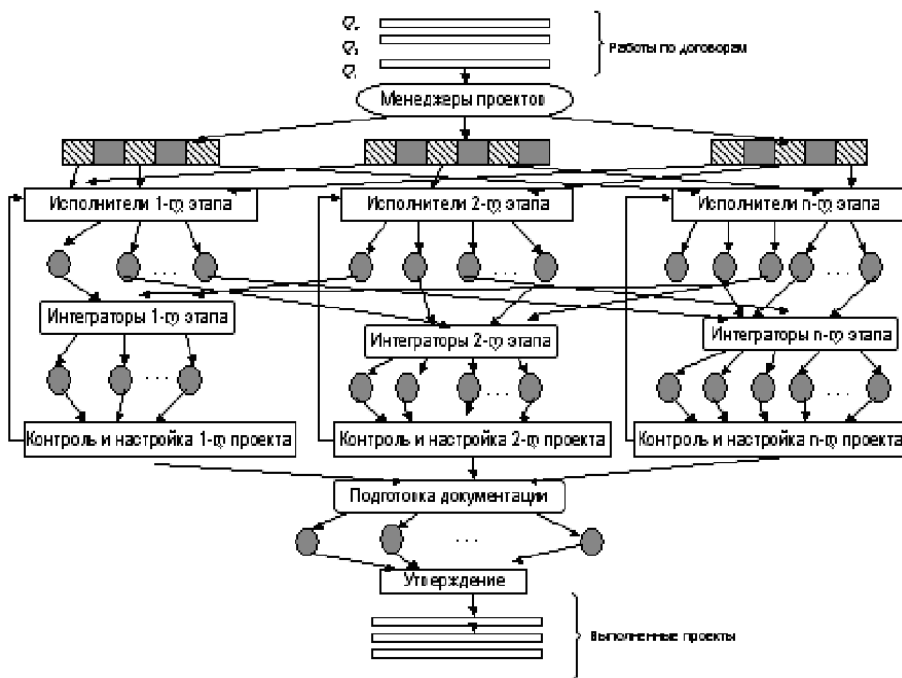


Рисунок 1 - Схема функционирования

Математическая модель. Будем считать, что у предприятия есть возможность заключить договора с заказчиками на выполнение типовых работ в моменты времени $t \in T$. Каждый k -й договор, $k \in K$, характеризуется временем начала действия, временем окончания действия, общей стоимостью и общим объемом работ в соответствующих единицах.

Как правило, выполнение k -го договора разбивается на ряд типовых этапов $j \in J$, имеющих свои специфические особенности по видам деятельности, срокам реализации ($t_{jk}^{нач}$ - начало этапа, $t_{jk}^{кон}$ - конец этапа), объемам работ W_{jk} и стоимости выполнения q_{jk} .

Для выполнения соответствующих этапов могут привлекаться n_{jt} исполнителей требуемой квалификации, обладающих производительностью μ_j . Очевидно, существуют ограничения на количества исполнителей, обусловленные как возможностями организации выполнения работ, так и их наличием на рынке труда. Тогда

$$n_{jt} \leq N_{jt}, \quad j \in J, \quad t \in T.$$

В соответствии с введенными обозначениями требуемая интенсивность выполнения работ по j -му этапу k -го договора может быть определена следующим выражением

$$\lambda_{jkt} = \begin{cases} \frac{W_{jk}}{t_{jk}^{кон} - t_{jk}^{нач}}, & t \in [t_{jk}^{нач}, t_{jk}^{кон}] \\ 0, & t \notin [t_{jk}^{нач}, t_{jk}^{кон}]. \end{cases}$$

Для существования стационарного режима работы организации необходимо обеспечить условия, при которых требуемая интенсивность выполнения работ по каждому этапу не превышает суммарной производительности исполнителей, так как в противном случае вероятны нарушения сроков выполнения отдельных этапов и договора в целом.

Если ввести логические переменные $\{y_k\}$, равные 1, если выполняются этапы k -го договора в момент времени $t \in T$, и 0 в противном случае, то это условие можно представить в следующем виде

$$\sum_k \lambda_{jkt} y_k \leq \mu_j n_{jt}, \quad j \in J, \quad t \in T.$$

В таком случае, если для рассматриваемого предприятия в качестве основного критерия эффективности его организационной структуры выбрать максимум ожидаемой прибыли от выполнения заключенных договоров, то данный критерий можно формализовать в виде следующего выражения

$$P = \sum_{k,j} q_{jk} y_k - \sum_{j,t} c_{jt} (n_{jt}) \rightarrow \max,$$

где $c_{jt}(n_{jt})$ - затраты на организацию и выполнение работ исполнителями соответствующих этапов в течение рассматриваемого промежутка времени $t \in T$.

Другим критерием эффективности может служить длительность выполнения работ по договорам, зависящая от интенсивности входного потока заданий, от количества выделенных этапов, от количества исполнителей на отдельных этапах. Форма представления данного критерия зависит от наличия жестких требований к длительностям отдельных этапов и может быть представлена либо совокупностью ограничений типа

$$t_{jt}(\lambda_{jt}, \lambda_{jkt}, n_{jt}, \mu_j) \leq \Delta_{jkt},$$

где $t_{jt}(\lambda_{jt}, \lambda_{jkt}, n_{jt}, \mu_j)$ - время выполнения j -го этапа k -го договора при интенсивности суммарного входного потока заданий λ_{jt} и требуемой интенсивности выполнения этапа λ_{jkt} , либо интегральным значением

$$\Theta = \sum_{j,k,t} t_{jt}(\lambda_{jt}, \lambda_{jkt}, n_{jt}, \mu_j).$$

Тогда математическая модель задачи может быть представлена в следующем виде.

Найти значения $\{y_k\}$, $\{n_{jt}\}$, $j \in J$, $k \in K$, $t \in T$, обеспечивающие

$$P = \sum_{k,j} q_{jk} y_k - \sum_{j,t} c_{jt}(n_{jt}) \rightarrow \max, \quad (1)$$

$$\Theta = \sum_{j,k,t} t_{jt}(\lambda_{jt}, \lambda_{jkt}, n_{jt}, \mu_j) \rightarrow \min, \quad (2)$$

при ограничениях

$$\sum_k \lambda_{jkt} y_k \leq \mu_j n_{jt}, \quad j \in J, \quad (3)$$

$$n_{jt} \leq N_{jt}, \quad j \in J, \quad t \in T, \quad (4)$$

$$y_k \in \{0, 1\}, \quad n_{jt} \in \{0, 1, 2, \dots\}, \quad j \in J, \quad k \in K, \quad t \in T. \quad (5)$$

Приведенная математическая модель представляет собой модель задачи нелинейного целочисленного программирования с двумя критериями. Критерии являются противоречивыми, что приводит к необходимости построения Парето-оптимального множества. Нелинейности, вызванные зависимостями $c_{jt}(n_{jt})$, могут быть аппроксимированы линейными соотношениями в ходе итерационных расчетов. Нелинейности, отражающие

зависимости $t_{ji}(\lambda_{ji}, \lambda_{jk}, n_{ji}, \mu_j)$, могут быть получены в ходе имитационного моделирования процессов выполнения работ.

Предлагаемая процедура построения Парето-оптимального множества решений представляется итерационным взаимодействием последовательных решений задачи оптимизации с критерием максимум прибыли P , согласно выражения (1) с учетом ограничений (3)-(5), и задачи оценки значений критерия Θ .

Исходя из анализа значения критерия P , его увеличение может быть следствием увеличения объемов работ или уменьшения затрат, связанных с организацией производительного функционирования специализированных каналов обслуживания и, прежде всего, уменьшения их количества. С другой стороны, уменьшение значения критерия Θ может быть достигнуто только при условии, что для любого момента времени в организации существует свободный канал, который может выполнить соответствующий этап работ любого договора. Очевидно, что соблюдение этих условий приведет к значительным затратам и, соответственно, уменьшению значения критерия P . Таким образом, общая стратегия получения Парето-оптимальных решений рассматриваемой задачи может быть следующей. Находится решение задачи (1), (3)-(5) с использованием методов целочисленной оптимизации в составе пакетов прикладных программ. Для полученных значений $\{n_{ji}\}$, учитывая логику процессов выполнения работ по договорам и наличие случайных факторов, определяющих длительности реализации отдельных составляющих этапов в соответствии с заданными законами распределения, оценивается значение критерия Θ . Изменяются условия решения задачи (1), (3)-(5), обеспечивающие изменение критерия P за счет как внутренних организационных структурных изменений, так и внешних факторов в виде объемов возможных работ. Процесс повторяется до получения приемлемых решений.

Выводы. Для обеспечения эффективности функционирования производственного объекта необходимо определить его организационную структуру, согласованную с внутренними и внешними процессами деятельности. Приемлемая организационная структура предприятия может быть получена в результате построения Парето-оптимального множества решений, отражающего как значения оценок получаемой прибыли, так и оценок качества внутренней организации выполнения работ с применением математического моделирования.

Список литературы: I. Г.Н. Фидельман, С.В. Дедиков, Моделирование и изменение организации. М., 1993. 278 с. 2. Маслова О.А., Шевченко С.В. Процессный подход к построению организационной структуры управления на предприятии // АПИР - 2007

Поступила в редколлегию 15.11.07

А. В. ЕФИМОВ, д-р техн. наук,

Т. В. ПОТАНИНА, аспирантка НТУ «ХПИ»

МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ ТЕОРИИ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗОК МЕЖДУ ЭНЕРГОБЛОКАМИ АЭС С ВВЭР-1000

В статті запропоновано методику застосування теорії динамічного програмування для розв'язання задачі оптимального розподілу електричних навантажень між енергоблоками АЕС. Методика заснована на можливості застосовувати даний метод оптимізації для будь-якого виду експлуатаційних характеристик енергоблоків і враховувати будь-які обмеження, що накладаються на параметри.

В статье предлагается методика применения теории динамического программирования для решения задачи оптимального распределения электрических нагрузок между энергоблоками АЭС. Методика основана на возможности применять данный метод оптимизации для любого вида эксплуатационных характеристик энергоблоков и учитывать любые ограничения, налагаемые на параметры.

The technique of dynamic programming theory application for the optimal distribution of electric loadings between power units of the NPP problem decision is developed. This technique based on an opportunity to apply the given optimization method for any power units operational characteristics and to take into account any restrictions imposed on optimized parameters.

Введение. Одним из направлений решения проблемы надежной и безопасной эксплуатации действующих энергоблоков ТЭС и АЭС является автоматизация задач технологического управления процессами и объектами – создание АСУ ТП на уровне энергоблоков, электростанций и энергосистем. В то же время, несмотря на имеющуюся текущую информацию в АСУ ТП энергоблоками, ее использование для решения таких важных задач, как оперативный анализ технико-экономических показателей, определение энергетических характеристик оборудования, интеллектуальной поддержки оператора, экологического мониторинга и других задач, не является достаточно эффективным [1]. Из-за недостаточной надежности средств управления, неподготовленности технологического оборудования и отсутствия необходимого алгоритмического обеспечения в эксплуатирующихся АСУ ТП используются практически только информационно-вычислительные системы. Поэтому возникает необходимость интеграции в рамках АСУ ТЭС и АЭС задач технологического и экономического управления, которое реализуется с помощью алгоритмов оптимального управления, математических программ и, помимо задач поддержания заранее заданных величин регулируемых

параметров, решает задачу определения оптимальных стратегий при любом изменении внешних условий.

Постановка задачи. Настоящая статья посвящена разработке методики применения теории динамического программирования для решения с помощью автоматизированного комплекса программ [2] задачи оптимального распределения нагрузок на основании эксплуатационных характеристик энергоблоков с целью автоматизации процессов управления энергоблоками АЭС с ВВЭР-1000.

Решение задачи. Параметры и характеристики основного и вспомогательного оборудования энергоблоков АЭС, элементов их тепловых схем изменяются в процессе эксплуатации в результате действия различных факторов. Факторы, оказывающие влияние на электрическую мощность и тепловую экономичность энергоблока, можно разбить на следующие группы: 1) энергосистемные условия, определяющие график электрической нагрузки во времени; 2) условия отпуска теплоты, определяющие график теплофикационной нагрузки, количество и качество пара, отпускаемого потребителям; 3) условия циркуляционного водоснабжения, определяющие давление в конденсаторах (температура и качество охлаждающей воды, периодичность чистки трубных пучков конденсаторов и т.д.); 4) эксплуатационные ухудшения экономических характеристик проточной части турбины, теплообменного оборудования, насосов и т.п. в результате изменения их состояния в межремонтный период; 5) показатели надежности основного и вспомогательного оборудования, которые определяют необходимость плановых и аварийных отключений этого оборудования. Оценить результат воздействия перечисленных факторов на основные показатели выработки электрической и тепловой энергии позволяют эксплуатационные характеристики энергоблоков. Они являются исходной информацией при решении задач поиска оптимальных режимов управления работой энергетического оборудования, в том числе и задач оптимального распределения нагрузок между энергоблоками АЭС.

В работе [3] были получены интегральные зависимости влияния отклонений параметров оборудования паротурбинных установок ТЭС и АЭС от расчетных величин на электрическую мощность \bar{N} и тепловую экономичность \bar{q} турбоустановок на частичных режимах в диапазоне нагрузок $0,4 \div 1,0 \bar{D}$ ($\bar{D} = D/D_0$, D – расход свежего пара на исследуемом режиме, D_0 – расход свежего пара на номинальном режиме):

$$\bar{N} = F(\bar{D}, \Delta X_i), \quad \bar{q} = \Phi(\bar{D}, \Delta X_i), \quad i = \overline{1, p}, \quad (1)$$

где ΔX_i – отклонения основных и гидравлических параметров от номинальных значений, p – число параметров, изменение влияния которых учитывается в характеристиках (1).

При эксплуатации энергоблоков расход свежего пара может отклоняться от номинальных значений в силу различных причин. Главное место среди различных факторов, определяющих падение выработки электроэнергии и на зарубежных, и на отечественных АЭС, занимают повреждения парогенераторов. Поэтому математическая модель эксплуатационных характеристик энергоблоков АЭС должна быть построена с учетом изменяющихся во время эксплуатации параметров этих агрегатов. Из ряда эксплуатационных характеристик парогенераторов ПГВ-1000 определение и исследование зависимостей паропроизводительности (расхода пара) этих агрегатов от изменения в процессе эксплуатации тепловых и гидравлических параметров теплоносителя и рабочего вещества представляют наибольший интерес, так как оказывают основное влияние на эффективность работы энергоблоков [4].

На основании результатов серии численных экспериментов, проведенных на разработанном автоматизированном комплексе программ, имитирующем функциональное состояние энергоблока АЭС с ВВЭР-1000 [2], и их обработке с помощью методов регрессионного и дисперсионного анализа, были получены функциональные зависимости абсолютного значения электрической мощности N энергоблока АЭС с ВВЭР-1000 при изменении параметров его основного и вспомогательного оборудования:

$$\begin{aligned}
 N = N_0 & - [N_0 - f_1(\overline{\Delta X}, \overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4})] \times \\
 & \psi(\overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4}) - \\
 & - f_2(\overline{\Delta X}_K, \overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4}) \times \\
 & \psi(\overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4}) - \\
 & - [N_0 - \psi^T(\overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4}) \times \\
 & f_3(\overline{\Delta X}_T, \overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4})],
 \end{aligned} \tag{2}$$

где N_0 – электрическая мощность, вырабатываемая турбоустановкой при $1,0 \bar{D}$; $\overline{\Delta X} = (\Delta X_1, \dots, \Delta X_p)$ – вектор отклонений основных и гидравлических параметров от номинальных значений; $\overline{\Delta X}_K$ – вектор отклонений параметров конденсатора от номинальных значений; $\overline{\Delta X}_T$ – вектор отклонений параметров теплофикационной установки; $\overline{\Delta X}_{PGl} = (\Delta t_1^l, \Delta t_{PV}^l, \Delta p_2^l, \Delta p_1^l)$ – вектор отклонений параметров l -го парогенератора ($l = 1, \dots, 4$); функция

$f_1(\overline{\Delta X}, \overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4})$ определяет зависимость влияния на мощность отклонений гидравлических и тепловых параметров подогревателей систем регенерации высокого и низкого давлений, сепаратора-пароперегревателя, КПД отсеков проточной части турбины, параметров теплоносителя и рабочего вещества каждого парогенератора; функция $f_2(\overline{\Delta X}_K, \overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4})$ определяет зависимость отклонения мощности в зависимости от условий работы конденсационной установки с учетом изменяющихся параметров парогенераторов; функция $f_3(\overline{\Delta X}_T, \overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4})$ учитывает влияния на мощность отклонений параметров теплофикационной установки на различных режимах, при условии что последние определяются отклонением параметров парогенераторов; $\psi(\overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4})$ – мощность на номинальном или частичном режиме, определяемая только отклонением параметров парогенераторов; $\psi^T(\overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4})$ – то же при подключенной теплофикации.

В обобщенной форме (2) можно представить в виде функциональной зависимости следующего вида:

$$N = N_0 - \Delta N(\overline{\Delta X}, \overline{\Delta X}_K, \overline{\Delta X}_T, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4}). \quad (3)$$

Тепловая экономичность q при изменении параметров основного и вспомогательного оборудования энергоблока АЭС представляет собой следующее функциональное соотношение:

$$\begin{aligned} q = q_0 - [q_0 - \varphi_1(\overline{\Delta X}, \overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4}) \times \\ v(\overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4})] - \\ - \varphi_2(\overline{\Delta X}_K, \overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4}) \times \\ v(\overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4}) - \\ - [q_0 - v^T(\overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4}) \times \\ \varphi_3(\overline{\Delta X}_T, \overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4})], \end{aligned} \quad (4)$$

где функция q_0 – удельный расход теплоты при $1,0 \overline{D}$; $\varphi_1(\overline{\Delta X}, \overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4})$ определяет зависимость влияния на удельный расход теплоты отклонений гидравлических и тепловых параметров подогревателей систем регенерации высокого и низкого давлений, сепаратора-пароперегревателя, КПД отсеков проточной части турбины, параметров теплоносителя и рабочего вещества каждого

парогенератора; функция $\varphi_2(\overline{\Delta X}_K, \overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4})$ определяет зависимость отклонения удельного расхода теплоты в зависимости от условий работы конденсационной установки с учетом изменяющихся параметров парогенераторов; $\varphi_3(\overline{\Delta X}_T, \overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4})$ учитывает влияния на q отклонений параметров теплофикационной установки на различных режимах, при условии что последние определяются отклонением параметров парогенераторов; $U(\overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4})$ – удельный расход теплоты на номинальном или частичном режиме, определяемый только отклонением параметров парогенераторов; $\psi^T(\overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4})$ – то же при подключенной теплофикации.

В обобщенной форме (4) можно представить в виде функциональной зависимости следующего вида:

$$q = q_0 - \Delta q(\overline{\Delta X}, \overline{\Delta X}_K, \overline{\Delta X}_T, \overline{\Delta X}_{PG1}, \overline{\Delta X}_{PG2}, \overline{\Delta X}_{PG3}, \overline{\Delta X}_{PG4}) . \quad (5)$$

Полученные зависимости (2)-(5) позволяют оценивать влияния различных факторов: изменений теплогидравлических параметров теплоносителей и рабочих веществ основного и вспомогательного оборудования, энергосистемных параметров на работу энергоблока АЭС с ВВЭР-1000, климатических условий (температуры охлаждающей воды, температуры окружающего воздуха), оптимизировать режимы работы энергоблока, использовать полученные функциональные соотношения для решения задачи оптимального распределения нагрузок между энергоблоками электростанций.

Задача оптимального распределения электрических нагрузок между параллельно работающими энергоблоками АЭС представляет собой достаточно сложную задачу управления, обусловленную неопределенностью исходной информации, многовариантностью, сложностью учета фактического состояния оборудования энергоблоков и других факторов, и в общем виде может быть сформулирована следующим образом:

$$Q_{CT} = \sum_{j=1}^n Q_j(N_j) \xrightarrow{u} Q_{CT}^{\min} , \quad (6)$$

где Q_{CT} – суммарный расход теплоты по станции, $Q_j(N_j)$ – расход теплоты j -го энергоблока ($j = 1, \dots, n$), Q_{CT}^{\min} – минимум общего расхода теплоты, $u = \{u_j\} \in U$ – множество допустимых управляющих воздействий в виде задания по электрической мощности отдельным энергоблокам.

Эксплуатационные характеристики энергоблока АЭС (2)–(5) позволяют представить расход теплоты Q_j по отдельному энергоблоку в виде функции отклонений параметров энергетического и тепломеханического оборудования от номинальных значений и аппроксимировать ее квадратичным полиномом:

$$Q_j(N_j) = \alpha_j + \beta_j N_j + \gamma_j N_j^2, \quad (7)$$

где $\alpha_j, \beta_j, \gamma_j$ – постоянные коэффициенты, определяемые для каждого режима работы j -го энергоблока методом наименьших квадратов, N_j – электрическая нагрузка j -го энергоблока.

Задача оптимального распределения заданной суммарной электрической нагрузки между n энергоблоками формулируется следующим образом:
функция цели

$$Q_{CT}(N_{CT}) = \sum_{j=1}^n Q_j(N_j) \rightarrow \min, \quad (8)$$

где $Q_{CT}(N_{CT})$ – общий расход теплоты станции, зависящий от суммарной нагрузки N_{CT} , $Q_j(N_j)$ – расход теплоты j -го энергоблока, зависящий от нагрузки N_j этого энергоблока;

ограничения по допустимым электрическим нагрузкам энергоблоков и суммарной нагрузке станции:

$$\left. \begin{aligned} N_j^{\min} \leq N_j \leq N_j^{\max} \\ N_{CT} = \sum_{j=1}^n N_j \end{aligned} \right\}. \quad (9)$$

Задача (8)–(9) является задачей оптимального управления, в которой под оптимальным процессом управления будем понимать распределение нагрузок (то есть получение набора N_1^*, \dots, N_n^*), обеспечивающее заданную величину суммарной нагрузки N_{CT} и минимальный общий расход теплоты Q_{CT} . Значения N_1^*, \dots, N_n^* выбираются среди всевозможных комбинаций N_j , для которых выполняется (9).

Достаточно эффективным алгоритмом решения задачи (8)–(9) является алгоритм поиска оптимального решения с использованием метода динамического программирования [5]. Особенностью данной задачи является тот факт, что расход теплоты любого энергоблока АЭС с ВВЭР-1000 зависит только от мощности рассматриваемого блока и не зависит от мощностей других энергоблоков, вследствие отсутствия поперечных связей между

моноэнергоблоками электростанции. То есть критерий оптимальности задачи (8) является сепарабельной функцией. Этот факт обеспечивает выполнение принципа оптимальности Беллмана: отрезок оптимального процесса от любой его точки до конца процесса сам является оптимальным процессом с началом в данной точке, и применение метода динамического программирования возможно [5].

Используем дискретную форму записи уравнений принципа динамического программирования.

На первом этапе метода динамического программирования решения задачи (8)–(9) для любого фиксированного $j \in [1; n]$ строится функция Беллмана $Bel^j(Z^j)$ и определяются ее решения $N_j^{opt}(Z^j)$, где Z^j – возможная суммарная электрическая мощность станции с j работающими энергоблоками; верхние индексы указывают на количество совместно работающих энергоблоков, а нижние – на порядковый номер рассматриваемого энергоблока. Величина функции Беллмана для некоторого значения Z^j равна минимальному значению расхода теплоты при j эксплуатируемых энергоблоках при условии, что суммарная нагрузка Z^j распределяется между этими энергоблоками оптимально.

При $j = 1$ имеем:

$$Bel^1(Z^1) = Q_1(Z^1); \quad (10)$$

$$N_1^{opt}(Z^1) = Z^1, \quad (11)$$

где Z^1 изменяется с некоторым выбранным шагом в интервале

$$Z^1 \in [N_1^{\min}, \min(N_1^{\max}, N_{CT})]. \quad (12)$$

При любом фиксированном $j > 1$ функция Беллмана принимает вид:

$$Bel^j(Z^j) = \min_{N_j} [Q_j(N_j) + Bel^{j-1}(Z^j - N_j)], \quad (13)$$

где

$$Z^j \in \left[\min_{1 < s \leq j} (N_s^{\min}), N_{CT} \right]; \quad (14)$$

при фиксированном Z^j :

$$N_j \in [N_j^{\min}, \min(N_j^{\max}, Z^j)]. \quad (15)$$

В (12) и (14) интервалы изменения возможной суммарной нагрузки колеблются от минимальных значений до заданных.

На втором этапе динамического программирования – обратный ход – определяются искомые оптимальные значения электрической мощности каждого энергоблока в обратном порядке:

$$\begin{aligned} N_n^* &= N_n^{opt}(N_{CT}), \\ &\vdots \\ N_1^* &= N_1^{opt}(N_{CT} - \sum_{j=2}^n N_j^*). \end{aligned} \tag{16}$$

Выводы. Разработанная методика применения теории динамического программирования для решения задачи оптимального распределения электрических нагрузок между энергоблоками АЭС основана на возможности применять данный метод оптимизации для любого вида эксплуатационных характеристик энергоблоков и учитывать любые ограничения, налагаемые на оптимизируемые параметры, что позволяет автоматизировать процессы управления энергоблоками атомных электростанций.

Список литературы: 1. Дуэль М.А. Концептуальные основы построения интегрированной АСУ электростанцией // Энергетика і електрифікація. – 2007. – № 8. – С. 16-24. 2. Ефимов А.В., Потанина Т.В. Разработка имитационной модели энергоблока АЭС с ВВЭР-1000 для решения задач анализа, управления и диагностики // Энергетика: економіка, технології, екологія. – 2006. – № 2. – С. 84-91. 3. Палагин А.А., Ефимов А.В., Меньшикова Е.Д. Моделирование функционального состояния и диагностика турбоустановок. – К.: Наук. думка, 1991. – 201 с. 4. Потанина Т.В., Ефимов А.В. Разработка модели влияния изменения параметров теплоносителя и рабочего вещества на паропроизводительность парогенераторов ПГВ-1000 энергоблоков АЭС с ВВЭР-1000 // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2007. – № 9. – С. 60–65. 5. Беллман Р. Динамическое программирование. – М.: Изд-во иностр. лит., 1960. – 400 с.

Поступила в редколлегию 13.11.07

А. С. КУЦЕНКО, д-р техн. наук,
С. В. КОНОХОВ, аспирант НТУ «ХПИ»

ИНТЕРВАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ В ЗАДАЧАХ РОБАСТНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В статті розглянуто задачу пошуку інтервалів для коефіцієнтів характеристичного полінома лінійної динамічної системи, яка задана у просторі станів. Запропоновано та обґрунтовано метод пошуку інтервальних коефіцієнтів, який зведено до вирішення задачі нелінійного програмування.

В статье рассмотрена задача поиска интервалов для коэффициентов характеристического полинома линейной динамической системы, которая задана в пространстве состояний. Предложен и обоснован метод поиска интервальных коэффициентов, который сведен к решению задачи нелинейного программирования.

The paper the problem of characteristic polynomial coefficients for linear dynamic system in state space is considered. The method for interval coefficients search is proposed, witch leads to the nonlinear programming problem.

Введение. Классическая теория управления, начинающаяся с работ Дж. Максвелла и И.А. Вышнеградского и заканчивающаяся теорией управления в пространстве состояний Р. Каллмана, а также его последователей, позволили сформулировать и решить широчайший спектр задач управления, прежде всего техническими объектами. Успех теории управления был достигнут благодаря привлечению разнообразных математических методов, а также современных средств вычислительной техники. Несмотря на очевидные успехи в этой области с точки зрения, как теоретических результатов так и их практической реализации у большинства исследователей и инженеров не мог не вызвать чувства неудовлетворенности центральный тезис подавляющего большинства постановок задач управления. Это тезис о наличии полной информации о структуре математической модели объекта управления и ее параметров. Достаточно взглянуть на теорию устойчивости систем автоматического управления, что бы увидеть попытки многих исследователей найти способы гарантировать свойство устойчивости при вариациях параметров объекта управления. Принципиальным подходом к учету параметрической неопределенности объекта управления явился подход, в основу которого положена множественная оценка того или иного качества управляемой системы или робастный подход. Фундаментом нового направления в теории управления следует считать основополагающие работы Фаэдо и Харитонова [1, 2], в которых получены необходимые и достаточные условия гурвицевости полиномов с интервальными коэффициентами, отражающими неопределенность исходной математической модели линейных управляемых систем. Условия робастной устойчивости

интервальных полиномов позволили сформулировать множество новых постановок задач теории устойчивости систем управления [3], отличающихся от классических более высокой степенью адекватности по отношению к реальным объектам и процессам. В то же время робастный подход породил и множество проблем, связанных с его практической реализацией. В этом плане центральной остается проблема перехода от исходной линейной математической модели с интервальными параметрами к характеристическому уравнению с интервальными коэффициентами [3]. Поскольку вектор коэффициентов характеристического полинома является вычислимой функцией исходных интервальных параметров модели, то очевидно, что практическое решение сформулированной проблемы следует искать в сфере интервального анализа [4]. В рамках интервального анализа проблема получения интервальных оценок коэффициентов характеристического полинома сводится к задаче выбора соответствующего численного метода, а также вида интервальной арифметики, обеспечивающих оптимальную (минимальную) оценку интервалов для коэффициентов характеристического уравнения.

Постановка задачи. Рассмотрим задачу нахождения интервалов для коэффициентов характеристического уравнения линейной стационарной динамической системы вида

$$\dot{x} = Ax, \quad x \in R^n, \quad (1)$$

где x – вектор состояния, а каждый элемент матрицы A представляет собой интервальное число $a_{ij} = [\underline{a}_{ij}, \bar{a}_{ij}]$. Известно, что нахождение вектора $C(A) = (c_1, \dots, c_n)$ коэффициентов характеристического уравнения матрицы A

$$\sigma(A) = p^n + c_1 p^{n-1} + \dots + c_n = 0 \quad (2)$$

для $n > 3$, в общем случае, может быть осуществлено только алгоритмически с применением ЭВМ. Известно также [4], что результаты вычислений интервальных функций в зависимости от интервальных аргументов в значительной мере зависят от последовательности вычислений или вида формулы, реализующей заданную функциональную зависимость. Это приводит к тому, что интервалы для вектора $C(A)$, полученные различными численными методами, существенно отличаются друг от друга. Таким образом, целью данной работы является обоснование метода определения минимальных интервалов для коэффициентов характеристического полинома, исходя из интервальной матрицы системы (1) A .

Данная задача может рассматриваться и в более общей постановке когда коэффициенты матрицы A являются известными функциями m -мерного вектора параметров $w \in W$. Предполагается также, что допустимое

множество параметров W представляет собой m -мерный параллелепипед. Т.е. каждая из компонент вектора параметров w_k представляет собой интервальное число $w_k = (\underline{w}_k, \overline{w}_k)$, а вектор коэффициентов C можно рассматривать в качестве функции интервального вектора параметров $C = C(w)$.

Анализ интервальных методов. В основу интервальной арифметики положено следующее определение [4]:

$$A * B = \{a * b | a \in A, b \in B\}, \quad (3)$$

где $A = [\underline{a}, \overline{a}]$, $B = [\underline{b}, \overline{b}]$ – интервальные числа, $*$ – один из символов арифметических операций.

Нетрудно показать, что для арифметических операций концы результирующего интервала являются функциями концов интервалов A и B :

$$A + B = [\underline{a} + \underline{b}, \overline{a} + \overline{b}],$$

$$A - B = [\underline{a} - \overline{b}, \overline{a} - \underline{b}],$$

$$A \times B = [\min\{\underline{a} \times \underline{b}, \underline{a} \times \overline{b}, \overline{a} \times \underline{b}, \overline{a} \times \overline{b}\}, \max\{\underline{a} \times \underline{b}, \underline{a} \times \overline{b}, \overline{a} \times \underline{b}, \overline{a} \times \overline{b}\}], \quad (4)$$

$$A \div B = [\min\{\underline{a} \div \underline{b}, \underline{a} \div \overline{b}, \overline{a} \div \underline{b}, \overline{a} \div \overline{b}\}, \max\{\underline{a} \div \underline{b}, \underline{a} \div \overline{b}, \overline{a} \div \underline{b}, \overline{a} \div \overline{b}\}].$$

Непосредственное применение правил (4) для вычислений по алгебраически эквивалентным формулам показывает, что результирующий интервал в общем случае зависит от конкретного вида формулы. Так, например, в общем случае

$$A(B + C) \neq AB + AC. \quad (5)$$

Кроме того, адаптация формул (4) к одноместным операциям приводит к противоречиям с основным определением (3). Действительно, в соответствии с (4),

$$A - A = [\underline{a} - \overline{a}, \overline{a} - \underline{a}] \neq 0, \quad (6)$$

$$A \div A = [\min\{\underline{a} \div \overline{a}, \overline{a} \div \underline{a}\}, \max\{\underline{a} \div \overline{a}, \overline{a} \div \underline{a}\}] \neq 1.$$

В то же время, прямое применение множественного соотношения (3) к одноместным операциям (6)

$$A * A = (a * a | a \in A) \quad (7)$$

очевидно, дает понятный результат:

$$A - A = 0, \quad A \div A = 1. \quad (8)$$

Еще более неприятной представляется операция A^2 в случае если A – нульсодержащий интервал. Тогда представление

$$A^2 = A \times A = [\underline{a}, \bar{a}] \times [\underline{a}, \bar{a}],$$

и применение (4), приводит к нульсодержащему интервалу

$$A^2 = [\underline{a} \times \bar{a}, \bar{a} \times \underline{a}]. \quad (9)$$

В то же время, непосредственное применение формулы (7) дает следующий результат

$$A^2 = [0, \bar{a}^2],$$

поскольку квадраты отрицательных значений интервальных чисел положительны.

Перечисленные выше особенности стандартной интервальной арифметики являются причиной неопределенности результата вычислений, а также очевидного расширения результирующего интервала в силу соотношений (5), (6) и (9).

Причиной этого недостатка интервальных методов является переход от алгебраических формул к конкретным вычислениям, путем формальной подстановки численных интервалов вместо буквенных обозначений и непосредственного использования формул (4).

Таким образом, для получения физически обоснованного результата при вычислении сложных алгебраических выражений $Y = F(x_1, x_2, \dots, x_n)$, зависящих от интервальных аргументов, необходимо пользоваться расширением соотношения (3) в виде

$$Y = \{F(x_1, x_2, \dots, x_n) | x_1 \in X_1, \dots, x_n \in X_n\}. \quad (10)$$

Если функция $F(x_1, \dots, x_n)$ непрерывна, то множество Y представляет собой интервал

$$Y = [F_{\min}, F_{\max}], \quad (11)$$

где F_{\min} и F_{\max} минимальное и максимальное значение функции F на гиперпараллелепипеде

$$\Gamma = \{(x_1, \dots, x_n) | x_1 \in X_1, \dots, x_n \in X_n\}. \quad (12)$$

Итак, вместо прямого применения интервальной арифметики с непрогнозируемыми результатами, задача нахождения интервала сложной функции от интервальных аргументов может быть сведена к классической задаче нелинейного программирования – отыскания минимума и максимума функции на n -мерном гиперпараллелепипеде.

Еще более сложным представляется случай нахождения векторной интервальной функции векторного интервального аргумента, имеющий место при нахождении интервалов для вектора коэффициентов $C(w)$ характеристического уравнения (2). Нетрудно видеть, что распространение выражений (10), (11) на случай вектор-функции $F = (F_1, F_2, \dots, F_m)$ приводит к следующему соотношению:

$$Y \subset Y_1 \times Y_2 \times \dots \times Y_m = \bar{Y}, \quad (13)$$

где Y_k – интервал вида (11) для k -й компоненты F_k , определенный на множестве (12).

Таким образом, интервальное множество \bar{Y} коэффициентов характеристического уравнения (2), содержит точки, не принадлежащие множеству Y , т.е. с точки зрения устойчивости ансамбля линейных систем, определенного на множестве Γ , теорема Харитонова дает достаточные условия робастной устойчивости.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Полученные результаты дают реальный путь к интервальной оценке коэффициентов характеристического уравнения ансамбля линейных динамических систем, который в общем случае сводится к многократному решению задачи отыскания максимума и минимума многомерной функции на множестве в виде гиперпараллелепипеда. Дальнейшие исследования в этом направлении связаны с непосредственной разработкой эффективных численных алгоритмов отыскания интервалов для коэффициентов характеристического уравнения.

Список литературы: 1. *Faedo S.* Un nuovo problema di stabilita her le equarioni algebrische a coefficienti reali // Aun Scuolo notm. super. Pisa Sci fis. e mat., 1953. – V.7. – №. 1-2. – P. 53-63. 2. *Харитонов В. Л.* Об асимптотической устойчивости положения равновесия семейства систем линейных дифференциальных уравнений // Дифференциальные уравнения.– 1978.– № 11.– С. 2086–2088. 3. *Кунцевич В. М.* От проблем управления одним объектом – к проблемам управления классами объектов // Проблемы управления и информатики. – 1994. № 1 - 2. – С.3–15. 4. *Шокин Ю. И.* Интервальный анализ.– Новосибирск: Наука, СО, 1981.– 112с.

Поступила в редколлегию 17.11.07

Я.І. ВИКЛЮК, канд. фіз.-мат. наук, НУ „Львівська політехніка”

ПОБУДОВА FUZZY-МОДЕЛІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РЕКРЕАЦІЙНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ЄВРОРЕГІОНУ «ВЕРХНІЙ ПРУТ»

Розроблено новий підхід розрахунку комплексної оцінки рекреаційного потенціалу території, що базується на нечіткому алгоритмі Сугено. Запропонована методика була апробована при аналізі інвестиційної привабливості існуючих туристично-рекреаційних об'єктів євро регіону „Верхній Прут”. Отримані в ході експерименту дані підтверджують основні макроекономічні тенденції розвитку даного євро регіону.

Разработан новый подход расчета комплексной оценки рекреационного потенциала территории, основанный на нечетком алгоритме Сугено. Предложенная методика была апробирована при анализе инвестиционной привлекательности существующих туристически-рекреационных объектов евро региона «Верхний Прут». Данные, полученные в ходе эксперимента, подтверждают основные макроекономические тенденции развития данного евро региона.

It is developed the new approach of the calculation of the integrated assessment of the recreational potential of territories, which is based on fuzzy algorithm Sugeno. The procedure proposed was approved with the analysis of the investment attractiveness of the existing tourist recreational objects of Euro-region "Upper Prut". Obtained in the course of experiment data confirm the basic macroeconomic trends of development of this Euro-region.

Туристична галузь є важливим чинником стабільного й динамічного збільшення надходжень до бюджету, істотного позитивного впливу на стан справ у багатьох галузях економіки (транспорт, торгівля, зв'язок, будівництво, сільське господарство тощо). Туризм сприяє підвищенню зайнятості населення, розвитку ринкових відносин, міжнародному співробітництву, залученню громадян до пізнання багатой природної та історико-культурної спадщини краю, збереженню екологічної рівноваги. В зв'язку з цим особливою важливістю прискореної розбудови туристичної інфраструктури має дослідження, спрямоване на визначення оптимальних розташувань туристично-рекреаційних систем з врахуванням соціокультурних, природно-рекреаційних, економічних та інших чинників.

В моделях функціонування рекреаційно-туристичних систем присутня невизначеність зумовлена з одного боку відсутністю точного опису процесів функціонування систем, з іншого в неспроможності оцінювати стани систем абсолютно точно, що затрудняє і в багатьох випадках унеможливає використання точних кількісних методів[1]. Використання фаззі-моделювання дозволяє отримувати більш адекватні результати в порівнянні з традиційними аналітичними моделями та алгоритмами керування. Широко поширеними класами нечіткого моделювання є контролери Мамдані та Сугено. Як було показано Вангом та Кастро дані нечіткі контролери являються універсальни-

ми апроксиматорами будь-якої неперервної функції на множині U з будь-якою точністю, якщо використовується набір n ($n \square \square$) правил продукцій[2]. В попередній роботі нами було доведено ефективність використання контролерів Мамдани та Сугено для визначення рекреаційного потенціалу території, що залежить від природних умов[3].

Мета даної роботи – побудова та апробація моделі визначення комплексного рекреаційного потенціалу території, що базується на нечіткому алгоритмі Сугено.

Наукова новизна – розробка нового підходу до комплексної оцінки рекреаційного потенціалу та застосування його для існуючих туристично-рекреаційних об'єктів.

Практична цінність статті визначається в наданні практичних рекомендацій інвесторам, щодо доцільності побудови та визначенні стратегії туристично-рекреаційних систем.

Здатність людського інтелекту приймати правильні рішення при наявності неповної й нечіткої інформації спонукало науковців до побудови математичного апарату, який в повній мірі зможе повторити дану здатність людини. Можна стверджувати, що побудова таких моделей і їхнє використання в прогресивних комп'ютерних системах представляє один з найважливіших напрямків сучасних інформаційних технологій.

Значний прогрес в цьому напрямку зроблено професором Каліфорнійського університету (Берклі) Лотфі А. Заде (Lotfi A. Zadeh)[4]. Його робота заклала основи моделювання наближених міркувань людини та стала початковим поштовхом до розвитку нової математичної теорії. Л. Заде розширив класичний термін множина, допустивши, що характеристична функція (функція приналежності елемента множини) може приймати будь-які значення в інтервалі $[0; 1]$, а не тільки значення 0 або 1. Такі множини були отримали назву нечіткі (fuzzy). Він визначив також ряд операцій над нечіткими множинами та запропонував узагальнення відомих методів логічного виводу *modus ponens* й *modus tollens*. Ввівши поняття лінгвістичної змінної й допустивши, що в якості її значень (термів) виступають нечіткі множини, Л. Заде створив апарат для опису деяких процесів інтелектуальної діяльності, що включають нечіткість і невизначеність виразів. Нечітка логіка забезпечує ефективні засоби відображення невизначеностей і неточностей реального світу, а наявність математичних засобів відображення нечіткості вхідної інформації дозволяє побудувати моделі, адекватні реальності. А рішення, прийняте в результаті моделювання, базується на отриманих нечітких висновках.

Механізм нечітких виводів, що використовується в експертних і керуючих системах у своїй основі має базу знань, що сформована фахівцями-експертами предметної області або отримана в результаті навчання нейромережі, навчальна множина якої, в свою чергу базується на експериментальних даних, у вигляді сукупності нечітких предикатних правил виду:

Правило 1: якщо $x \in A_1$, тоді $y \in B_1$

Правило 2: якщо $x \in A_2$, тоді $y \in B_2$

.....

Правило N: якщо $x \in A_n$, тоді $y \in B_n$

де x – вхідна змінна, y – змінна висновку; A і B - функції приналежності, визначені відповідно на x і y . Знання експерта $A \rightarrow B$, що відбиває нечітке причинне відношення передумови й висновку, носить назву нечітке відношення R:

$$R = A \rightarrow B, \quad (1)$$

де " \rightarrow " називають нечіткою імплікацією.

Відношення R можна розглядати як нечітку підмножину прямого добутку $X \times Y$ повної множини передумов X і висновків Y. Таким чином, процес одержання (нечіткого) результату висновку B' з використанням спостереження A' і знання $A \rightarrow B$ можна представити у вигляді:

$$B' = A' \cdot R = A' \cdot (A \rightarrow B), \quad (2)$$

де " \cdot " – операція згортки.

Операцію імплікації в алгебрі нечітких множин можна реалізувати по різному (при цьому звичайно буде різнитись отриманий результат), однак в будь-якому випадку нечіткий логічний висновок здійснюється в наступні чотири етапи [5].

1. Нечіткість (введення нечіткості, фазифікація, fuzzification). Функції приналежності, визначені на вхідних змінних, застосовуються до їхніх фактичних значень, для того щоб визначити ступеня істинності кожної передумови кожного правила.

2. Логічний висновок. Обчислене значення істинності для передумов кожного правила застосовується до висновків кожного правила. Це приводить до однієї нечіткої підмножини, яка буде призначена кожній змінній висновку для кожного правила. В якості правила логічного висновку звичайно використовуються тільки операції min (мінімум) або prod (множення). При операції min функція приналежності висновку "відтинається" по висоті, що відповідає обчисленому ступеню істинності передумови правила (нечітка логіка "I"). При операції множення функція приналежності висновку масштабується за допомогою обчисленого ступеня істинності передумови правила.

3. Композиція. Всі нечіткі підмножини, призначені кожній змінній висновку (у всіх правилах), поєднуються разом, щоб сформувати одну нечітку підмножину для кожної змінної висновку. При даному об'єднанні зазвичай використовуються операції max (максимум) або sum (сума). При операції max комбінований висновок нечіткої підмножини конструюється як поточковий

максимум по всіх нечітких підмножинах (нечітка логіка "АБО"). У випадку операції суми комбінований висновок нечіткої підмножини конструюється як поточкова сума по всіх нечітких підмножинах, призначеним змінним висновку правилами логічного висновку.

4. Додатково може бути введений етап приведення до чіткості (дефазифікація, defuzzification), що використовується, коли доцільно перетворити нечіткий набір висновків у чітке число. Існує багато методів дефазифікації, однак більшості випадків чітке значення вихідної змінної визначається як центр тяжіння кривої (центроїдний метод), яка визначається на етапі композиції:

$$y = \frac{\int_{\Omega} x \cdot \mu_{\Sigma}(x) dx}{\int_{\Omega} \mu_{\Sigma}(x) dx}, \quad (3)$$

де Ω – область визначення функції $\mu_{\Sigma}(x)$.

Алгоритми нечіткого висновку відрізняються в основному видом правил нечіткої імплікації. В попередній роботі [3] ми довели можливість використання алгоритмів Мамдані та Сугено для визначення рекреаційного потенціалу. Було показано, що результати, отримані цими методами не сильно відрізняються між собою та добре корелюють з оцінками експертів. Тому в подальших розрахунках ми використовували один з цих алгоритмів, а саме алгоритм Сугено з гаусівськими функціями приналежності. Вибір цього алгоритму обґрунтований тим, що при наявності експериментальних баз знань доцільним стане використання гібридних нейронних мереж ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System), в основі яких лежить метод Сугено.

Алгоритм Сугено:

Нехай база знань містить лише два нечіткі правила виду:

Правило1: якщо $x \in A_1$ і $y \in B_1$, тоді $z_1 = a_1x + b_1y$,

Правило2: якщо $x \in A_2$ і $y \in B_2$, тоді $z_2 = a_2x + b_2y$,

1. Нечіткість: знаходяться ступеня істинності кожної передумови кожного правила.

$$\mu_{A_1}(x_0), \mu_{A_2}(x_0), \mu_{B_1}(y_0), \mu_{B_2}(y_0). \quad (4)$$

2. Нечіткий висновок: знаходяться рівні "відсікання" для передумов кожного із правил (з використанням операції min)

$$\alpha_1 = \mu_{A_1}(x_0) \wedge \mu_{B_1}(y_0), \quad (5)$$

$$\alpha_2 = \mu_{A_2}(x_0) \wedge \mu_{B_2}(y_0). \quad (6)$$

Потім знаходяться „відсічені” функції приналежності

$$z_1^* = a_1 x_0 + b_1 y_0, \quad (7)$$

$$z_2^* = a_2 x_0 + b_2 y_0, \quad (8)$$

3. Знаходиться чітке значення змінної виводу:

$$z_0 = \frac{\alpha_1 z_1^* + \alpha_2 z_2^*}{\alpha_1 + \alpha_2}. \quad (9)$$

Постановка задачі визначення рекреаційного потенціалу територій та експериментальні дослідження.

Попередні дослідження, спрямовані на пошук рекреаційних зон, дали можливість визначити оптимальні місця для розміщення туристично-рекреаційних комплексів за наявним рекреаційним потенціалом, який базувався на історико-культурних та природних об'єктах [6]. Разом з тим, процес виокремлення зображених на картах територій не враховував ряду показників, зокрема, таких, як: розмір необхідних інвестицій, умови оподаткування, наявність конкуренції, вплив контролюючих органів та ін. Визначення залежності рекреаційного потенціалу від вказаних чинників являє собою складну багато-критеріальну задачу, а відповідні аргументи представляють собою дані з великим ступенем нечіткості. Згідно експертних оцінок, рекреаційний потенціал залежить від 14 основних вхідних параметрів, кожен з яких можна представити у вигляді нечіткої лінгвістичної змінної. База знань, що містить нечіткі продукційні правила, має містити набір всіх можливих комбінацій термів вхідних параметрів. Що становить:

$$N = \prod_{i=1}^{14} I_i, \quad (10)$$

де N – необхідна кількість нечітких продукційних правил, I_i – кількість термів на яких визначена i -та лінгвістична змінна. В самому простому випадку, коли лінгвістичні змінні визначені 2-ма термами, необхідна кількість нечітких продукційних правил становитиме $N = 2^{14} = 16\,384$.

Нами було запропоновано розділити вхідні параметри на чотири групи за спільними ознаками: C_1 – „Природні умови”, C_2 – „Кліматичні умови”, C_3 – „Економічні умови”, C_4 – „Організаційні умови”.

Згідно думки експертів рекреаційний потенціал визначених груп залежить від нечітких лінгвістичних змінних наведених в табл.1.

По кожній з груп, згідно алгоритму Сугено, знаходяться рекреаційні потенціали. Вони в свою чергу слугують вхідними параметрами узагальнюючої нечіткої експертної системи, що визначає комплексну оцінку рекреаційного

потенціалу C (рис. 1). Запропонований підхід дозволяє значно зменшити необхідну кількість продукційних правил.

Для побудови нечітких експертних правил продукції використовувались загальноприйняті міжнародні скорочення для назв (Z – нуль, близько до нуля, PS – позитивне мале, PM – позитивне середнє, PB – позитивне велике)[8]. Кількісна оцінка даних термів проводилась по п'ятибальній шкалі. Параметри функцій приналежності для вищезгаданих термів наведені в таблиці 2.

Параметри функцій приналежності вибрані таким чином, щоб в точках перетину функції приналежності сусідніх термів приймали значення 0,5. Нечіткі продукційні правила будувались згідно експертних оцінок.

Таблиця 1

Перелік лінгвістичних змінних, що використовуються для визначення комплексного рекреаційного потенціалу

Група	Лінгвістична змінна	Опис лінгвістичної змінної
C_1	C_{11}	лікувальні ресурси
	C_{12}	унікальна природа
	C_{13}	водні рекреаційні ресурси
	C_{14}	рельєф
C_2	C_{21}	температура повітря
	C_{22}	атмосферний тиск
	C_{23}	середньорічна тривалість снігового покриву
C_3	C_{31}	рівень необхідних інвестицій
	C_{32}	умови оподаткування
	C_{33}	наявність конкуренції
	C_{34}	очікуваний рівень рентабельності
C_4	C_{41}	корупція
	C_{42}	ліцензування та дозвіл на певний вид діяльності
	C_{43}	вплив контролюючих органів

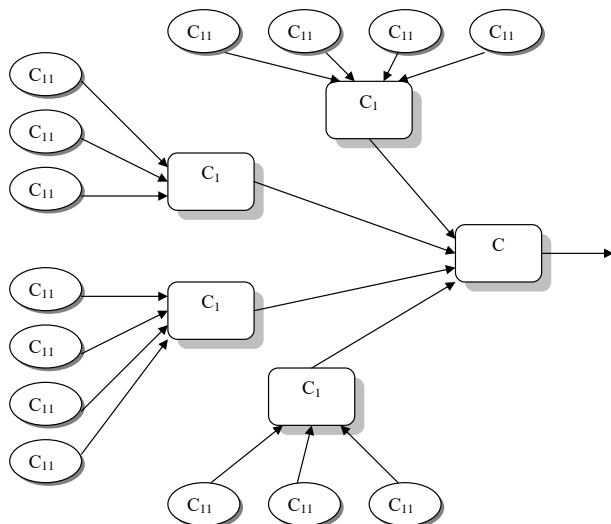


Рисунок 1 – Структурна схема розрахунку комплексного рекреаційного потенціалу

Таблиця 2

Параметри функцій приналежності

Лінгвістична змінна	Терм	Параметри функцій приналежності
$C_1, C_2, C_3, C_4, C_{11}, C_{13}, C_{22}, C_{32}, C_{41}, C_{42}$	PB	[2.123 5]
	Z	[2.123 0]
$C_{12}, C_{14}, C_{21}, C_{23}, C_{31}, C_{33}, C_{34}, C_{43}$	PB	[1.062 5]
	PM	[1.062 2.5]
	Z	[1.062 0]
C	PB	5
	PM	3.333
	PS	1.667
	Z	0

Визначення рекреаційного потенціалу проводилось для рекреаційних об'єктів євро регіону „Верхній Прут”, що знаходяться в околі екстремумів ізольованій рекреаційного потенціалу визначених в роботі [6]. Значення вхідних лінгвістичних змінних були надані Відділом з питань туризму Чернівецької ОДА. Результати експерименту по кожній групі в порівнянні з експертними оцінками наведені та комплексний рекреаційний потенціал досліджуваних ТРО наведений в таблиці 3.

Дані, наведені в таблиці 3, показують добру кореляцію експертних оцінок з розрахованими рекреаційними потенціалами, що дозволяє використовувати останні для подальшого аналізу.

З таблиці 3 видно, що проведене дослідження підтверджує та доповнює попередні розрахунки. Так, за нашою методикою, оптимальними територіями для розміщення об'єктів сфери рекреаційних послуг було визнано гірські та передгірні райони українських та румунських Карпат, тоді як найменш сприятливими – молдовські регіони та деякі віддалені точки Івано-Франківської та Чернівецької областей. Так, найменш привабливими в рекреаційно-туристичному відношенні є молдовські учасники єврорегіону «Верхній Прут» – Бельцький (0,8) та Єдинецький (0,8) уезди, тоді як оптимальними територіями для розвитку сфери рекреаційних послуг можна вважати в Україні райони Брусниці (4,1), Яремчі (3,5), Мигова (3,4), та в Румунії – райони поблизу Ватра-Дорней (3,6), Гура-Гуморулуй (3,6) та Сучави (3,3). Відсутність максимальних показників (0 і 5) підтверджує той факт, що практично неможливо знайти територію, в якій всі умови розвитку були б повністю несприятливими або ідеальними.

Таблиця 3

Рекреаційний потенціал груп C_i та комплексний рекреаційний потенціал C основних ТРО єврорегіону „Верхній Прут” в порівнянні з експертними оцінками

Рекреаційно-туристичний об'єкт	Природні умови		Кліматичні умови		Економічні умови		Організаційні умови		Комплексний рекреаційний потенціал
	Експертна оцінка	Рекреаційний потенціал	Експертна оцінка	Рекреаційний потенціал	Експертна оцінка	Рекреаційний потенціал	Експертна оцінка	Рекреаційний потенціал	
Бельці	1	0,9	3	2,1	1	0,9	2	1,7	0,8
Ботошани	2	1,8	3	2,1	2	1,8	3	3	2,1
Брусниця	4	4,7	3	2,9	4	4,7	3	4,5	4,1
Ватра-Дорней	5	4,1	4	4,1	5	4,1	4	3,5	3,6
Вашківці	1	1,3	3	2,9	1	1,3	2	3,7	2,8
г. Говерла	3	1,9	3	1,8	3	1,9	2	3,9	2,8
Гура-Гуморулуй	3	2,8	4	3,7	3	2,8	4	4,2	3,9
Єдинці	1	0,9	2	2,1	1	0,9	1	1,7	0,8
Івано-Франківськ	2	3,5	3	2,9	2	3,5	3	3,8	3
Мигово	4	2,2	4	3	4	2,2	4	4,2	3,4
Рогатин	0	0,4	2	2,1	0	0,4	1	2,1	1
Сучава	2	2,5	2	2,1	2	2,5	3	4,5	3,3
Чернівці	2	3,6	2	2,1	2	3,6	3	3,8	3
Яремче	5	4,5	4	3,7	5	4,5	3	3,5	3,5

Разом з тим, слід зазначити, що в процесі дослідження було виокремлено ряд територій, які знаходяться на середньому рівні, наприклад, Івано-Франківськ (3), Чернівці (3), Вашківці (2,8) тощо. На нашу думку, на цих територіях доцільно було б вдосконалювати вже існуючі об'єкти сфери рекреаційних послуг і таким чином більш повно використовувати наявний рекреаційний потенціал. Крім того, на таких територіях необхідно провести додаткові дослідження, обравши для цього інші існуючі умови та тенденції.

Отже можна прийти до висновку: вперше за допомогою технологій нечіткого моделювання розраховані комплексні рекреаційні потенціали основних туристично-рекреаційних об'єктів євро регіону „Верхній Прут”. Запропонована схема та методика розрахунку рекреаційного потенціалу територій, що базується на нечіткому моделюванні за алгоритмом Сугено, добре узгоджується з наявними даними та думкою експертів. Отримані в ході експерименту дані підтверджують основні макроекономічні тенденції розвитку євро регіону „Верхній Прут”. Запропонований нечіткий контролер може використовуватись для побудов карт рекреаційних потенціалів та визначенні інвестиційних стратегій регіонів.

Список літератури: 1. *Ma, S., Feng, J., Cao, H.* Fuzzy model of regional economic competitiveness in GIS spatial analysis: Case study of Gansu, Western China // *Fuzzy Optim. Decis. Making*, 2006. – №5, p.99–111. 2. *Зайченко, Ю.П., Фатма, С., Титаренко, К.М., Титаренко, Н.В.* Исследование нечетких нейронных сетей в задачах макроэкономического прогнозирования // *System Research & Information Technologies*, 2004. – #2. – P. 70-86. 3. *Виклок, Я.І.* Використання нечіткої логіки для визначення рекреаційного потенціалу території // Вісник Національного Університету «Львівська політехніка». Інформаційні системи та мережі, 2007. - В друці. 4. *Zadeh, L.A.* Fuzzy Sets // *Information and Control*, 1965. – #8. 5. *Дьяконов, В.П., Круглов, В.П.* MATLAB 6.5 SP1/7/7 SP1/7 SP2 Simulink 5/6: Инструменты искусственного интеллекта и биоинформатики. – М.: Солон-Пресс, 2006. – 456 с. 6. *Кифяк, В.Ф., Виклок, Я.І., Кифяк, О.В.* Визначення оптимальних рекреаційно-туристичних зон в умовах транскордонного співробітництва // Формування ринкових відносин в Україні, 2007 – №1 (68), с.132-136. 7. *Круглов, В.В., Дли, М.И., Голунов, Р.Ю.* Нечеткая логика и искусственные нейронные сети: Учеб. пособие. // М.: Издательство Физ.-мат. литературы, 2001. – 224 с. 8. *А.В. Леоненков.* Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH // СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.

Поступила в редколлегию 30.11.07

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Мазманишвили А. С., Никонов О. Я.</i> Стохастические колебания транспортного средства в условиях дробового и белого шума	3
<i>Мазманишвили А. С., Марченко И. И.</i> Математическое моделирование влияния плотности ионного тока на эффективность ионного азотирования Fe, Cr и Fe-Cr-сплавов.....	9
<i>Пиротти Е. Л., Отдельнов В. А.</i> Моделирование распределения электромагнитного поля в малых биологических сферах (приближения первого и второго порядка)	17
<i>Нурмахматов Д. Н.</i> Локально-оптимальное управление сложными гидроэнергетическими системами на основе прогнозирующих моделей.....	22
<i>Голоскоков А. Е., Рудницкий А. В.</i> Задачи процесса интеллектуального управления температурой и вакуумом печи прокатного стана.....	29
<i>Никитина Т. Б.</i> Выбор критерия качества робастного управления как задача многокритериальной оптимизации.....	35
<i>Стратиенко Н. К., Кузенко О. Ю.</i> Подход к разработке информационного обеспечения маркетинговых исследований на предприятии кондитерской отрасли.....	45
<i>Гамаюн И. П., Древаль С. В.</i> Моделирование процесса функционирования лицензионного программного обеспечения.....	51
<i>Гамаюн И. П., Литовченко В. В.</i> Программная реализация расчета потокораспределения воды в городских инженерных сетях.....	59
<i>Павлов А. А., Лицук Е. И.</i> Принятие решений на основе метода анализа иерархий.....	69
<i>Пелешенко Д. С.</i> Связь атрибутов элементов разных уровней иерархической графовой модели	77
<i>Соловьева Е. А., Цехмистро И. В.</i> Применение генетических алгоритмов в задачах проектирования бизнес-процессов на моделях Узел-Функция-Объект	83
<i>Гречко И. В., Орловский Д. Л.</i> Распознавание состояния клиента при ситуационном управлении взаимоотношениями с клиентами	93
<i>Николаенко Л. Ф.</i> Разработка системы статистического анализа персонала в регионе	99
<i>Лютенко И. В., Глядкоцкий В. Ю.</i> Вопросы распределения средств инвестиционного фонда в системе высшего образования при нечеткой исходной информации	107
<i>Лютенко И. В., Бабич Н. К.</i> Оценка инвестиционных проектов в сфере высшего образования.....	113
<i>Малько М. Н., Кропачек О. Ю., Мирошник В. Т.</i> Разработка информационной системы управления учебным процессом кафедры	119

Безменов Н. И., Коваленко С. В., Манченко Р. Б., Борисов В. Г. Определение авторства текста с использованием буквенной и грамматической информации	124
Колбасин В. А. Обнаружение тональных сигналов телефонной сети в присутствии речевой помехи	129
Москаленко В. В., Королева Е. В. Формирование проектного портфеля в рамках инвестиционной политики предприятия	133
Завалій Т. І., Нікольський Ю. В. Якісні характеристики моделей прийняття рішень, отриманих із використанням наближених множин	141
Лазарева О. Я. Методика автоматизации формирования терминологических словарей	149
Синельникова О. И., Дашевская Е. Е. Методология построения экспертной системы управления водораспределительными сетями	154
Шеховцов В. А. Обработка требований качества на ранних стадиях разработки программного обеспечения	162
Кащеев Л. Б., Трубина А. Н. Оптимизация рациона питания с использованием метода линейного программирования	171
Шевченко С. В., Маслова О. А. Об одном подходе к моделированию процессов планирования организационной структуры предприятия	175
Ефимов А. В., Потанина Т. В. Методика применения теории динамического программирования для решения задачи оптимального распределения нагрузок между энергоблоками АЭС с ВВЭР-1000	180
Куценко А. С., Конохов С. В. Интервальный анализ в задачах робастной устойчивости линейных динамических систем	188
Виклюк Я. І. Побудова fuzzy-моделі для визначення рекреаційного потенціалу єврорегіону «Верхній Прут»	193

НАУКОВЕ ВИДАННЯ
ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ «ХПІ»

Збірник наукових праць

Тематичний випуск
«Системний аналіз, управління
та інформаційні технології»

Випуск 41

Наукові редактори М. Д. Годлевський, О.С.Куценко
Технічний редактор М. І. Безменов

Відповідальний за випуск І. Б. Обухова

Обл.-вид № 201-07.

Підп. до друку 28.12.07 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. № 8. 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. 750-89-90