

ВІСНИК

НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ «ХПІ»

Збірник наукових праць

*Тематичний випуск «Системний аналіз,
управління та інформаційні технології»*

67'2010

Видання засноване Національним технічним університетом «ХПІ»
у 2001 році

Держвидання

Свідоцтво Держкомітету з інформаційної політики України
КВ № 5256 від 2 липня 2001 року

КООРДИНАЦІЙНА РАДА:

Голова

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

Секретар

К. О. ГОРБУНОВ, канд. техн. наук, доц.

А. П. Марченко, д-р техн. наук, проф.;
Є. І. Сокол, д-р техн. наук, проф.;
Є. Є. Александров, д-р техн. наук, проф.;
Л. М. Бесов, д-р техн. наук, проф.;
А. В. Бойко, д-р техн. наук, проф.;
Ф. Ф. Гладкий, д-р техн. наук, проф.;
М. Д. Годлевський, д-р техн. наук, проф.;
А. І. Грабченко, д-р техн. наук, проф.;
В. Г. Данько, д-р техн. наук, проф.;
В. Д. Дмитрисенко, д-р техн. наук, проф.;
І. Ф. Домнін, д-р техн. наук, проф.;
В. В. Єпифанов, канд. техн. наук, проф.;
Ю. І. Зайцев, канд. техн. наук, проф.;
П. О. Качанов, д-р техн. наук, проф.;
В. Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.;
С. І. Кондрашов, д-р техн. наук, проф.;
В. М. Кошельник, д-р техн. наук, проф.;
В. І. Кравченко, д-р техн. наук, проф.;
Г. В. Лісачук, д-р техн. наук, проф.;
В. С. Луїков, д-р техн. наук, проф.;
О. К. Морачковський, д-р техн. наук, проф.;
В. І. Николаєнко, канд. іст. наук, проф.;
П. Г. Перерва, д-р екон. наук, проф.;

В. А. Пуляєв, д-р техн. наук, проф.;
М. І. Рищенко, д-р техн. наук, проф.;
В. Б. Самородов, д-р техн. наук, проф.;
Г. М. Сучков, д-р техн. наук, проф.;
Ю. В. Тимофіїв, д-р техн. наук, проф.;
М. А. Ткачук, д-р техн. наук, проф.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Відповідальний редактор

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

Заст. відповідального редактора

О. С. Куценко, д-р техн. наук, проф.

Відповідальний секретар

М. І. Безменов, канд. техн. наук, проф.

І. П. Гамаюн, д-р техн. наук, проф.;
В. Д. Дмитриєнко, д-р техн. наук, проф.;
О. Є. Єфімов, д-р техн. наук, проф.;
І. В. Кононенко, д-р техн. наук, проф.;
В. П. Северин, д-р техн. наук, проф.;
Л. М. Любчик, д-р техн. наук, проф.;
Л. Г. Раскін, д-р техн. наук, проф.;
Н. В. Шаронова, д-р техн. наук, проф.;
М. О. Ястребенецький, д-р техн. наук, проф.

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ:

Харків, вул. Фрунзе, 21, НТУ «ХПІ».
Кафедра «Системний аналіз і управління»,
тел. (057) 707-61-03, (057) 707-66-54.
E-mail: bezmenov@kpi.kharkov.ua

УДК 681.5+519.7+519.8+004

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск «Системний аналіз, управління та інформаційні технології». – Х. : НТУ «ХПІ». – 2010. – № 67. – 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 науковців, викладачів, аспірантів, студентів.

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, студентов.

**Друкується за рішенням Вченої ради НТУ «ХПІ»,
протокол № 11 від 28.12.2010 р.**

ISSN 2079-0023

© Національний технічний університет «ХПІ», 2010 р.

Харків НТУ «ХПІ» 2010

М. Д. ГОДЛЕВСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф., зав.каф. АСУ НТУ «ХПІ»;
О. О. АБАБІЛОВ, студент, НТУ «ХПІ»

РОЗРОБКА ТА НАЛАШТУВАННЯ ПАРАЛЕЛЬНИХ ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ СТВОРЕННЯ РОЗКЛАДУ ЗАНЯТЬ ВУЗУ НА ОСНОВІ GRID- СИСТЕМИ

У статті розглядаються питання автоматизації процесу побудови розкладу занять вузу. Обґрунтовується доцільність застосування генетичних алгоритмів і обчислень Grid. Розроблено структуру особи, описані три типи паралельних генетичних алгоритмів, розроблені їх процесні представлення, виділені критерії оцінки їхньої якості й налаштування.

В статье рассматриваются вопросы автоматизации процесса построения расписания занятий вуза. Обосновывается целесообразность применения генетических алгоритмов и вычислений Grid. Разработана структура особи, описаны три типа параллельных генетических алгоритмов, разработаны их процессные представления, выделены критерии оценки их качества и настройки.

In article, questions of automatized process of high school schedule development are given. The expediency of genetic algorithms and Grid computations application is proved. The structure of an individual is developed, three types of parallel genetic algorithms are described, their process views are developed, and criteria of their quality estimation and adjustment are allocated.

Вступ. Задача складання розкладу занять відноситься до класу NP-повних [1]. Це означає, що для її розв'язання досі не знайдено поліноміального алгоритму й імовірно, що його взагалі не існує. Тому задача складання розкладу потребує значних ресурсів: процесорного часу, а також оперативної та енергонезалежної пам'яті, проте від якості розкладу занять залежить і якість та економічна ефективність навчання, комфортність навчання студентів і роботи професорсько-викладацького складу і т.д.

Генетичні алгоритми є потужним інструментом оптимізації загального призначення [2]. Вони моделюють принципи розвитку біологічних систем згідно концепції виживання найбільш прилаштованого та природного відбору, описаного в Дарвіна [3]. Генетичні алгоритми добре підходять для розв'язання задач складання розкладу, який має задовольняти великій кількості нетривіальних умов, що можуть бути враховані під час розрахунку функції придатності. Крім того, генетичні алгоритми за своєю природою працюють із сукупністю індивідів, виконуючи паралельний пошук, тому вони легко можуть бути реалізовані на паралельних архітектурах, що дає змогу значно підвищити швидкість пошуку та якість отриманих рішень. Останні десятиліття активно розвиваються розподілені широкомасштабні (глобальні) обчислення – обчислення Grid [4]. Вони дозволяють вирішувати задачі великої розмірності на доступних у великій кількості комп'ютерах по всій земній кулі.

Вимоги до алгоритму. Вибір підходящого алгоритму викликає певні складнощі [2]. Алгоритм має задовольняти двом вимогам, що протирічать одна одній:

- простота для розуміння, кодування, налагодження тощо;
- ефективне використання ресурсів комп'ютера та швидкість виконання.

В інформатиці термін «ефективність» використовується, щоб описати властивості алгоритму, які стосуються того, наскільки великі вимоги до ресурсів він висуває. Існує багато метрик, за якими вимірюють ефективність алгоритму. Найбільш часто зустрічаються наступні:

- швидкість або час виконання – час, який потрібний алгоритму, щоб завершитися;
- «простір» – пам'ять, що використовується алгоритмом під час його роботи;
- необхідна пропускна здатність мережі під час нормального функціонування;
- розмір зовнішньої пам'яті – тимчасовий дисковий простір, який потребує алгоритм.

Нарешті, бажано, щоб алгоритм був придатний для рішення цілого класу задач – це скоротить питому собівартість його реалізації й дослідження. Генетичні алгоритми чудово відповідають цій вимозі.

При реалізації генетичного алгоритму потрібно розробити функцію оцінювання придатності, структуру хромосом особи. До останньої висуваються наступні вимоги:

- особина несе всю необхідну інформацію рішення задачі, тобто про варіант розкладу;
- за особиною можна відносно легко розрахувати функцію придатності, тобто зважений показник якості розкладу занять;
- особина має якомога меншу кількість генів.

Остання вимога знаходиться у протиріччі до перших двох, але вона дуже важлива з огляду на розмір пам'яті, яка необхідна генетичному алгоритму.

Структура особи. Введемо спочатку набір визначень.

Ресурс – це кожний з об'єктів, для яких складається розклад. Є чотири типи ресурсів: 1) викладач; 2) клас (академічна група, підгрупа чи потік); 3) аудиторія; 4) відрізок часу (перший чи другий тиждень, день та пара). Подія – це кортеж, що містить по одному об'єкту кожного з типів ресурсів. Для кожної події точно відомі клас та викладач, а час та місце повинні бути назначені в процесі пошуку розв'язку серед множин припустимих аудиторій та відрізків часу. Розклад – це множина подій. Об'єкти деяких подій тривіально залежать від об'єктів певної іншої події. Наприклад, якщо у розкладі є два тижні, то на кожне заняття, що проводиться в обидва тижні, треба завести дві пов'язані події, які відбуваються в одній аудиторії в один

день та пару, але в різні тижні. Заняття двох підгруп однієї групи мають проходити у один і той же час.

Нетривіальні вимоги до розкладу будемо задавати за допомоги часткових штрафних функцій. Кожна з них співвідносить розкладу негенативне число. Будемо розрізняти обов'язкові та необов'язкові штрафні функції. Перші задають жорсткі вимоги, виконання яких обов'язкове для припустимих розкладів. Другі – це побажання. Зважена сума часткових штрафних функцій, взята з протилежним знаком, дасть значення функції придатності.

Найпростіша структура особини наступна (див. рис. 1). Кожен індивід має 4 хромосоми. Кожна хромосома відповідає типу ресурсу і містить стільки генів, скільки є подій. Стрілки показують наявність залежностей ресурсів в подіях.

Очевидно, є пряма відповідність між розкладом і набором генів у хромосомах особини. Генетичний алгоритм змінює гени лише тих хромосом, що відповідають змінним ресурсам (тобто аудиторіям та академічним парам), тому перші дві хромосоми можна зберігати у одному екземплярі для всієї популяції. В цілому потрібно зберігати $2n + 2np$ генів, де p – кількість особин в популяції.

Цю структуру можна поліпшити. Залежні ресурси (а таких серед хромосом часу та місця буде близько половини, тому що розклад складається для двох тижнів) можна не зберігати в особині, тому що вони однозначно розраховуються через незалежні ресурси. Нова структура включає одну особину, що зберігає лише незалежні гени (див. рис. 2, 3). В цілому буде потрібно зберігати $2n + np$ генів.

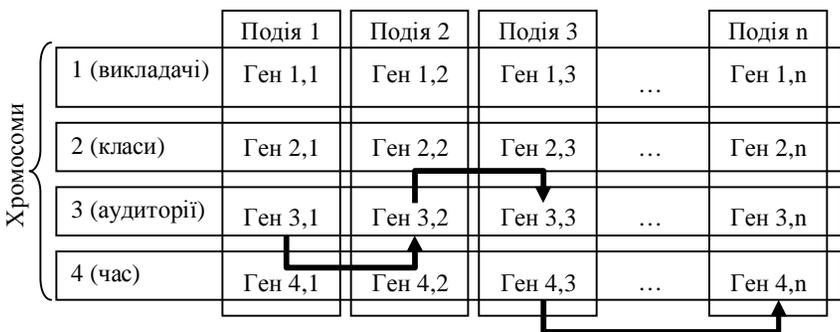


Рис. 1 – Найпростіша структура особини

Хромосома	Ген 3,1	Ген 3,n	Ген 4,1	Ген 4,2	Ген 4,3
-----------	---------	---------	---------	---------	---------

Рис. 2 – Структура особини, що враховує залежність подій

Хромосома	№ 3,1	№ 3,n	№ 4,1	№ 4,2	№ 4,3
	Ген 3,1	Ген 3,n	Ген 4,1	Ген 4,2	Ген 4,3

Рис. 3 – Структура особини для алгоритму з інверсією

Алгоритмічне забезпечення. Для розв'язання задачі пошуку розкладу пропонуються три різних паралельні генетичні алгоритми, процесні представлення яких наведено нас рис. 4. На ефективність алгоритмів будуть впливати параметри:

- початкова популяція;
- стратегія уточнення цільової функції;
- рівень мутацій;
- рівень схрещувань;
- стратегія відбору;
- об'єм популяції;
- стратегія формування нової популяції;
- локальний пошук та специфічні оператори (наприклад, інверсія);
- кількість обчислювальних елементів.

Паралельний генетичний алгоритм, що використовує модель ведучого-веденого. Він працює з єдиною популяцією, але розрахунок функції придатності виконується паралельно на множині процесів-ведених (SLAVE). Процес-ведучий (MASTER) виконує всі інші задачі.

Паралельний генетичний алгоритм з багатьма підпопуляціями, що використовує острівну модель. Цей метод вимагає підрозділу популяції на деяке число підпопуляцій (демів), які розташовуються на множині процесів-ведених (SLAVE). Деми розділено один від іншого (географічна ізоляція), і індивіди конкурують тільки в межах дему. Час від часу спрацьовує додатковий оператор – міграція: деякі індивіди переміщуються (копіюються) від одного дему до іншого. Процес-ведучий (MASTER) займається координацією.

На ефективність алгоритму впливають такі специфічні параметри:

- число мігрантів;
- стратегія відбору мігрантів;
- стратегія заміщення мігрантів;
- довжина епохи (задається фіксовано або розраховується динамічно після реєстрації застою).

Паралельний генетичний алгоритм з динамічними демами. Є множина процесів-ведучих (MASTER), відповідальних за вибір і спарювання. Інші операції (мутація, схрещування, оцінка придатності) виконуються на множині процесів-ведених (SLAVE). Є тільки одна популяція, але процеси-ведучі фактично поділяють її на динамічні деми, які перекриваються.

На ефективність алгоритму впливають такі специфічні параметри:

- кількість процесів-ведучих;
- кількість процесів-ведених;
- фактор перекриття.

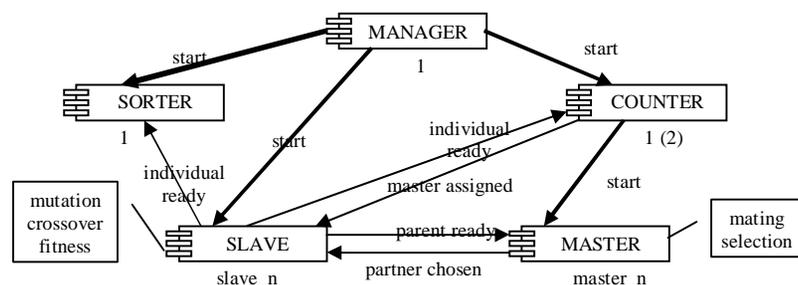
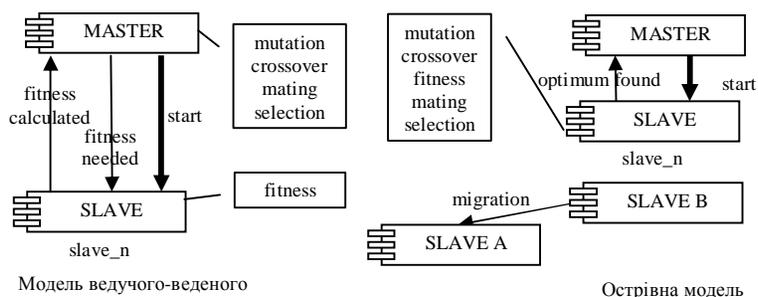


Рис. 4 – Процесні представлення паралельних генетичних алгоритмів

Висновки. Побудовано математичну модель для задачі складання розкладу факультету. Обрано та описано паралельні генетичні алгоритми та розроблено їхні процесні представлення.

Список літератури: 1. Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест. Алгоритмы : построение и анализ / Пер. с англ. под ред. А. Шеня. – М. : МЦНМО, 2002. – 960 с. 2. Holland, John H. Adaptation in Natural and Artificial Systems. Ann Arbor, MI : University of Michigan Press, 1975. – 228 p. 3. Darwin, Charles. On the Origin of Species by Means of Natural Selection. John Murray, 1859. – 502 p. 4. The Grid: Blueprint for a New Computing Infrastructure / Eds. I. Foster, C. Kesselman. – San Francisco : Morgan Kaufmann Publishers. – 1999. – 675 p. 5. Ахо, А. В., Хонкрофт, Дж., Ульман, Дж. Д. Структуры данных и алгоритмы. Пер. с англ. : М. : Издательский дом «Вильямс», 2001. – 384 с.

Надійшла до редколегії 13.11.2010

УДК 621.391:519.6

Н. А. МАРЧЕНКО, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ»;
Ю. А. ЛИТОВСКИХ, магистрант НТУ «ХПИ»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ОЧИСТКИ СИГНАЛОВ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММ

В статье предлагается методика фильтрации сигналов электрокардиограмм. Представлены результаты тестирования сигналов ЭКГ с помощью различных параметров очистки, на основании которых выбран рациональный набор параметров.

У статті пропонується методика фільтрації сигналів електрокардіограм. Наведені результати тестування сигналів ЕКГ за допомогою різних параметрів очищення, на базі яких обрано раціональний набір параметрів.

The method of filtration of signals of electrocardiogram is offered in the article. The results of testing of signals ECG by the different parameters of cleaning are presented. The rational set of parameters is offered for cleaning of biotsignals.

Введение. В настоящее время для обработки сигналов активно используются такие методы как спектральный анализ, фильтрация, аппроксимация в различных базисах, а также вейвлет-анализ. Несмотря на то, что эти методы хорошо исследованы, существует проблема выбора эффективного метода очистки сигналов и признаков для оценки качества очистки.

Большинство реальных сигналов нестационарны во времени или неоднородны в пространстве. Поэтому результаты анализа должны содержать не только общую частотную характеристику сигнала, но и сведения об определенных локальных координатах, на которых себя проявляют те или иные группы частотных составляющих, или на которых происходят быстрые изменения частотных составляющих сигнала [1]. Исходя из вышесказанного, для решения подобного рода задач целесообразно использовать теорию вейвлетов.

Любой сигнал содержит не только полезную информацию, но и некоторые посторонние воздействия, помехи или шумы. Одной из важнейших задач при анализе сигналов является их очистка от шумов. Особенно остро данная проблема стоит в медицине, так как в биосигналах возникает большое количество шумов по различным причинам, при этом для диагностики заболевания необходим точный сигнал [2].

Известно, что одним из практических приложений вейвлет-анализа является очистка зашумленных сигналов [1, 3–6]. Для этого осуществляется прямое вейвлет-преобразование измеренного сигнала, затем обнуляются незначимые коэффициенты преобразования по уровню порога,

пропорционального амплитуде случайного шума, и затем осуществляется обратное вейвлет-преобразование.

Постановка задачи. В данной работе поставлена задача разработки методики очистки от шума сигналов электрокардиограмм (ЭКГ) с помощью вейвлет-преобразования. Характерной особенностью сигнала ЭКГ является то, что кроме записи электрической активности сердца он содержит шумовую составляющую, которая включает в себя фон переменного тока питающей сети, высокочастотные колебания, вызванные мышечными сокращениями, а также низкочастотную составляющую, обусловленную изменением сопротивления контактов в системе «датчик-тело» [2]. Шум сигнала ЭКГ является равномерным в логарифмической шкале частот и его плотность обратно пропорциональна частоте. Спектральная плотность такого шума затухает на 3 Дб в каждой октаве. При этом уровень отсекаемых шумов должен подбираться экспериментально. Таким образом, целью работы является подбор рационального значения порога шума, выбор наилучшего класса и порядка вейвлета, а также уровня декомпозиции для сигналов ЭКГ.

Методика очистки зашумленного сигнала. Известно, что типичным методом подавления шумов является удаление высокочастотных составляющих из спектра сигнала [4]. Это может быть реализовано непосредственно удалением детализирующих коэффициентов высокочастотных уровней. Шумовые компоненты и большие случайные выбросы значений сигналов можно также рассматривать в виде множеств локальных особенностей сигналов. Задавая некоторый порог их уровня и отбрасывая значения детализирующих коэффициентов, которые его превышают, т.е. «срезают» их, можно не только уменьшать уровень шумов, но и устанавливать пороговые ограничения на нескольких уровнях разложения с учетом характеристик шумов и сигналов для различных типов вейвлетов [5]. При этом задание неправильных порогов очистки и/или большого числа уровней разложения может привести к обратному результату, так называемой «переочистке» сигналов, т.е. потере их полезной информационной составляющей.

Особенностью быстрого вейвлет-преобразование, которое используется при очистке сигналов, является необходимость обеспечения целого числа коэффициентов на последнем уровне разложения, которое определяется величиной $M/2^N$, где M представляет собой количество отсчетов, а N – максимальный уровень разложения. Если это условие не выполняется, рекомендуется дополнять массив отсчетов нулевыми значениями [3].

Модель зашумленного сигнала будем рассматривать аддитивной с равномерным шагом по аргументу n [4]:

$$S(n) = f(n) + k e(n),$$

где $f(n)$ – полезная информационная составляющая;

$e(n)$ – шумовой сигнал.

Тогда процедура удаления шума будет выполняться с использованием ортогональных вейвлетов и должна включать следующие операции:

- вейвлет-разложение сигнала $S(n)$ до уровня N . Значение уровня N определяется частотным спектром информационной части $f(n)$ сигнала, которую необходимо оставлять в рядах аппроксимационных коэффициентов. Тип и порядок вейвлета может существенно влиять на качество очистки сигнала от шума в зависимости, как от формы сигналов $f(n)$, так и от корреляционных характеристик шумов;
- задание типа и пороговых уровней очистки по известным априорным данным о характере шумов или по определенным критериям шумов во входном сигнале. При этом пороговые уровни очистки могут быть как гибкими, так и жесткими;
- модификация коэффициентов детализации вейвлет-разложения в соответствии с установленными условиями очистки;
- восстановление сигнала на основе коэффициентов аппроксимации и модифицированных детализирующих коэффициентов.

Основные результаты. Для тестирования методики очистки сигналов ЭКГ, которая осуществлялась в среде математического пакета MATLAB с использованием Wavelet Toolbox, были выбраны сигналы, представленные на сайте <http://www.physionet.org/physiobank/database/mitdb/>, а также несколько идеальных тестовых сигналов ЭКГ, которые были искусственно зашумлены характерным шумом.

В ходе тестирования выборки сигналов ЭКГ использовались различные типы и значения порогов, рассматривались различные классы вейвлетов, а также внутри одного класса – разные порядки вейвлетов и уровни декомпозиции. Для определения рациональных параметров очистки использовалось среднеквадратичное отклонение значений (СКО) сигналов, полученных в результате очистки, от значений идеального сигнала. Результаты тестирования приведены в таблице.

Минимальное значение среднеквадратичного отклонения наблюдается при очистке сигнала с помощью вейвлета Добеши 2-го порядка до 2-го уровня декомпозиции. Увеличение порядка вейвлета или уровня декомпозиции приводит не только к увеличению количества арифметических операций, необходимых для очистки сигнала, но и к увеличению значения СКО, что свидетельствует о снижении качества очистки.

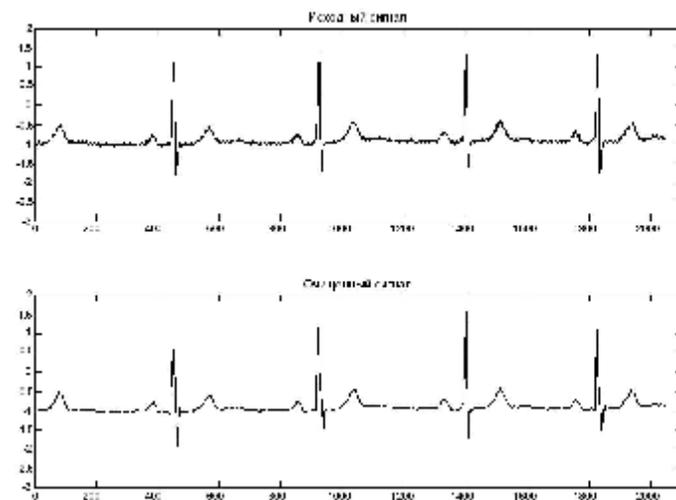
Таким образом, полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что характерный шум, присутствующий в сигналах сердечного ритма, можно удалить без потери полезного сигнала с помощью вейвлета Добеши 2-го порядка с разложением до 2-го уровня. При этом лучшие результаты были

получены при использовании жесткого порогового метода и универсального порога *sqtwolog*.

Результаты исследования влияния типа, порядка вейвлета и уровня декомпозиции

Класс вейвлета	Уровень декомпозиции	Порядок вейвлета	СКО, 10^{-3}
Добеши	2	1	3,4295
		2	2,1258
		3	2,2248
		4	2,6798
		5	3,0293
		6	3,4646
		7	3,6588
		8	4,0047
		9	4,3093
		10	4,4936
	3	2	60,6166
	4	3	14,2963
Симплет	1	2	4,1951
	2	2	2,2145
		3	2,7032
		4	12,08595
		5	11,8794
	8	8	11,8253
		2	4,2157
		3	59,7068
4	4	59,7334	
	2	12,0895	
Хаара	1	-	3,8986
	2	-	3,4295
	3	-	4,0454
	4	-	6,8248
	5	-	9,9246
Мейера	1	-	5,0931
	2	-	5,0946
	3	-	8,9906
	4	-	28,8967

На рисунке представлен результат очистки одного из реальных сигналов ЭКГ с помощью разработанной методики.



Графики исходного и очищенного сигнала ЭКГ

Выводы. Таким образом, в ходе исследования была разработана методика для очистки сигналов ЭКГ, которая была успешно протестирована на большой выборке сигналов с помощью математического пакета MATLAB с использованием Wavelet Toolbox. Применение методики позволяет без дополнительных вычислений, связанных с определением типа вейвлета, значения необходимого порога, уровня разложения и других параметров, качественно очистить сигнал. Результаты исследования можно использовать для создания системы автоматической очистки сигналов ЭКГ, а также при анализе сложных сигналов в других областях, например при анализе неисправностей оборудования, и в дальнейших исследованиях.

Список литературы: 1. Астафьев Н. М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения / Н. М. Астафьев // Успехи физических наук. – 1996. – Т. 166, № 11. – С. 1145–1170. 2. Дроздов Д. В. Автоматический анализ ЭКГ: проблемы и перспективы / Д. В. Дроздов, В. М. Леванов // Здоровоохранение и медицинская техника. – 2004. – № 2. – С. 23–27. 3. Новиков Л. В. Основы вейвлет-анализа сигналов / Л. В. Новиков. – СПб.: ИАП РАН, 1999. – 152 с. 4. Смоленцев Н. К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB / Н. К. Смоленцев. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 304 с. 5. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам / И. Добеши. – Ижевск: НИЦ РХД, 2001. – 464 с. 6. Дьяконов В. MATLAB. Обработка сигналов и изображений. Специальный справочник / В. Дьяконов, И. Абраменкова. – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.

Надійшла до редакції 25.05.2010

Д. Л. ОРЛОВСКИЙ, канд. техн. наук, доцент, НТУ «ХПИ»;
К. Д. ГОНЧАРОВ, студент НТУ «ХПИ»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СБАЛАНСИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ СИТУАЦИОННОМ АНАЛИЗЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Розглядаються особливості проведення ситуаційного аналізу діяльності підприємства (на прикладі торговельного підприємства) із застосуванням збалансованої системи показників та ключових показників ефективності. Пропонується підхід до вирішення задачі виявлення поточних та майбутніх проблемних ситуацій із застосуванням інформаційних технологій.

Рассматриваются особенности проведения ситуационного анализа деятельности предприятия (на примере торгового предприятия) с использованием сбалансированной системы показателей и ключевых показателей эффективности. Предлагается подход к решению задачи выявления текущих и будущих проблемных ситуаций с использованием информационных технологий.

The features of a situation analysis of trade enterprise (the trade enterprise as example) with using the Balanced Scorecard and Key Performance Indicators are examined. The approach to solving the problem of identifying current and future problem situations with using the information technologies is offered.

Введение. Анализ деятельности предприятия является ключевой составляющей управления предприятием. Для того чтобы предприятие смогло эффективно функционировать в современных экономических условиях, необходимо уметь и вовремя проводить анализ его деятельности. Одним из подходов к решению задач анализа является ситуационный анализ. Он позволяет организовывать и направлять процесс активного сбора, оценки и переработки имеющейся первичной информации и воспроизведения новой, вторичной информации как аналитического, так и прогнозного характера. В рамках ситуационного анализа выполняется анализ, оценка и прогнозирование показателей, отражающих достижение стратегических и тактических целей предприятия, которые являются базой для достижения основной цели предприятия. Анализ деятельности предприятия, прежде всего, базируется на анализе таких показателей.

Ситуационный анализ деятельности предприятия. Ситуационный анализ направлен на реализацию возможностей прямого приложения науки к конкретным ситуациям и условиям. Суть ситуационного анализа не столько в практическом выполнении управленческих процедур, сколько в попытке теоретически сформулировать, эмпирически проверить и затем практически рекомендовать различные типовые решения применительно к каждой из ситуаций, возникающих в процессе управления бизнесом. Ключевой составляющей данного направления менеджмента является ситуация, то есть конкретный набор обстоятельств, которые влияют на организацию в данное

конкретное время. Основная сложность заключается в том, что все многочисленные ситуационные процессы взаимосвязаны и их нельзя рассматривать независимо друг от друга. Ситуационный анализ определяет значимые переменные ситуации, и то, как они влияют на эффективность организации.

Технология ситуационного анализа – последовательная реализация следующих мероприятий: анализ текущей ситуации; выявление критических проблем; разработка решения проблем; анализ гипотез и определение плана решения проблемы; составление отчета по результатам анализа. В процессе ситуационного анализа необходимо помнить о том, что анализу должны подвергаться не только внешние и внутренние данные, но и экспертные оценки менеджмента самой компании, а так же других участников рынка.

Ситуационный анализ требует, чтобы выявленные проблемы были четко идентифицированы и проранжированы по степени их важности и критичности. Распознавание проблемы – один из самых сложных этапов анализа, требующий профессиональных навыков, ответственности, знания системы бизнеса и целей бизнеса.

При распознавании проблемы необходимо ответить на такие вопросы [1]:

1. Какова основная проблема?
2. Какие доказательства существования этой проблемы? Какая часть доказательств основана на фактах, какая – на субъективных мнениях?
3. Какова ее суть – корень проблемы?
4. Насколько проблема критична?
5. Является ли проблема частью более глобальной проблемы?
6. Как эта проблема влияет на работу системы и другие процессы бизнеса?

Сбалансированная система показателей. При проведении ситуационного анализа деятельности предприятия в качестве основных данных используются значения показателей, которые отображают особенности деятельности данного предприятия. Все эти показатели формируют комплексную систему показателей. Примером такой комплексной системы показателей может быть сбалансированная система показателей (ССП). Идея сбалансированной системы показателей (BSC – Balanced Scorecard) отвечала желаниям менеджмента найти взвешенный набор монетарных и немонетарных показателей для управленческих целей, которые находятся внутри предприятия. Новая система направлена, прежде всего, на увязку показателей в денежном выражении с операционными измерителями таких аспектов деятельности предприятия, как удовлетворенность клиента, внутрифирменные хозяйственные процессы, инновационная активность, меры по улучшению финансовых результатов. Таким образом, она призвана дать ответы на четыре важных для предприятия

вопроса: как его оценивают клиенты (аспект клиента); какие процессы могут обеспечить ему исключительное положение (внутрифирменный аспект); каким образом можно добиться дальнейшего улучшения положения (аспект инноваций и обучение); как оценивают предприятие акционеры (финансовый аспект).

Ответы на эти вопросы зависят от постановки целей, которые "выводятся" из стратегии предприятия, а потом "переводятся" в показатели системы управления. В ходе дискуссий обсуждаются не только целевые установки, но и измерительные цели показатели задачи на плановый период и необходимые для них выполнение меры [2].

В рамках сбалансированной системы показателей необходимо различать показатели, которые измеряют достигнутые результаты, и показатели, которые отображают процессы, содействующие получению этих результатов. Обе категории показателей должны ввязаться друг с другом, поскольку для достижения первых необходимо реализовать вторые.

Методика ССП предлагает четыре направления оценки (рис. 1), которые отвечают за все значимые вопросы в компании, которые и находятся в сложных зависимостях между собой. Они взаимосвязаны и необходимы для успешной работы любой компании. Однако для разных компаний эти направления имеют разную ценность (вес) [3].

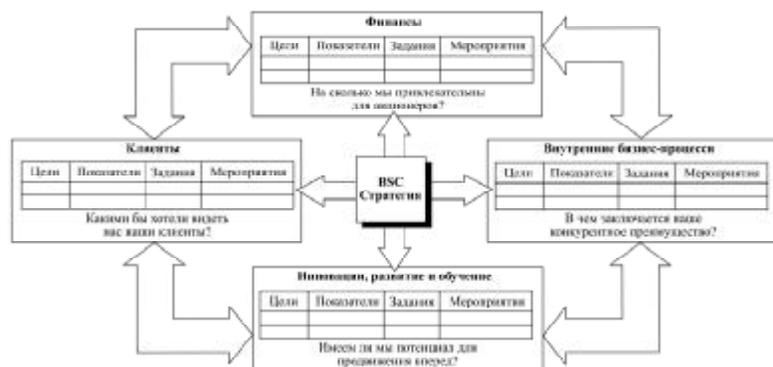


Рис. 1 – Направления оценки по концепции ССП

Для каждого направления выбираются количественные индикаторы, с помощью которых предполагается определение эффективности работы. Такими индикаторами выступают ключевые показатели эффективности.

Ключевые показатели эффективности. Система ключевых показателей эффективности (КПЭ) – это взаимозависимый и внутренне согласованный набор маркеров, по которым руководство может в текущем режиме оценивать успешность деятельности компании. КПЭ могут быть как

финансовыми, так и не финансовыми, количественными и качественными. КПЭ могут быть разработаны для любого подразделения и сотрудника компании.

Разработка системы КПЭ начинается с определения КПЭ компании в целом. Их задают акционеры и высшие руководители компании. Потом КПЭ декомпозируется на подразделения компании. Здесь необходимо ответить на вопрос: «Что конкретно данное подразделение должно сделать в текущем периоде для того, чтобы компания достигла установленных ключевых показателей?». КПЭ подразделения могут, при необходимости, декомпонироваться на КПЭ отделов и конкретных сотрудников.

В качестве основных требований к КПЭ выделяют [4]:

1. Конкретные – указывают на конкретный четко определенный показатель, который должен быть достигнут.
2. Измеримые – должны быть указаны количественные значения и сроки выполнения.
3. Согласованные – при постановке КПЭ обсуждаются с тем, кто должен их выполнять; выполнение обязательно, при этом постановка задачи (определение КПЭ) сопровождается разъяснением и обсуждением.
4. Реалистические – обязательно, чтобы КПЭ были осуществимыми. Это следует учитывать при установке числовых значений и распределении ресурсов.
5. Определенные во времени – необходимо четко указывать необходимые сроки достижения КПЭ при оценке выполнения проектов. В проекте должен быть план работ со сроками и ожидаемыми результатами.

Но основная проблема – это состав показателей. Нельзя разработать систему КПЭ, не ориентируясь на конкретную компанию и не зная ее целей. При выборе КПЭ ключевыми и определяющими являются цели компании – четкие, конкретные, правильно сформулированные. Второй критерий – требования к системе КПЭ, которые делают ее работоспособной на практике. Чтобы КПЭ работали эффективно, важно помнить, что они лишь инструмент, который работает, если мы будем четко знать, чего хотим [4].

Приведем основные КПЭ, которые были разгруппированы по направлениям, предложенным ССП (рис. 2). Данные КПЭ были выбраны с учетом особенностей деятельности торгового предприятия.

Обзор программных средств, которые используются при анализе деятельности предприятия. Для анализа деятельности предприятия используется довольно много программных средств. Они позволяют автоматизировать процесс сбора информации, улучшить процесс ведения документации, формировать штатное расписание и т.д. Все эти программы направлены на улучшение процесса управления предприятием. Они используют различные методики и принципы. Среди таких программ

наиболее распространенными являются такие программные продукты, как автоматизированная система управления «ПАРУС», «Audit Expert», «Галактика ERP», «Microsoft Dynamics AX» и программно-методический комплекс «ИНТАЛЕВ: корпоративный навигатор». В первую очередь такое программное обеспечение ориентировано на поддержку задач учета и планирования, а затем на основе этого обеспечивается решение задач анализа, но это существенно усложняет и удорожает поставляемое средство.



Рис. 2 – Схема разгруппировки КПЭ

Постановка задачи исследования. Рассматриваются проблемы, связанные с ситуационным анализом деятельности предприятия, работающего в сфере торговли. При этом возникает проблема формирования системы показателей и траекторий работы предприятия (плановой и фактической). В процессе текущей работы предприятия необходимо постоянно выполнять сбор и обработку данных о показателях работы предприятия, контролировать соответствие фактической и траектории как в текущий момент времени, так и в будущем.

Контроль траектории работы предприятия на основе ключевых показателей эффективности. При проведении контроля траектории работы предприятия проводится фиксирование плановых и фактических значений КПЭ. Контроль осуществляется с помощью определения допустимых ограничений для выбранного показателя. Выход за границы этих ограничений фактической траектории вводит понятие проблемной ситуации. При ситуационном анализе деятельности торгового предприятия важно фиксировать и анализировать текущую проблемную ситуацию. Поскольку проблемная ситуация может произойти и в будущем, то возникает необходимость в прогнозировании изменений КПЭ. В условиях изменчивой рыночной экономики, особенно во время кризиса, информация быстро устаревает. Основываясь на таком положении, проводится краткосрочное прогнозирование. Если фактическая траектория выходит за пределы

ограничений, то эту ситуацию можно назвать текущей проблемной ситуацией. В том случае, если прогнозная траектория выходит за границы ограничений, то это проблемная ситуация, которая может произойти в будущем. В данной работе рассматривается использование метода экспоненциального сглаживания, а именно алгоритм Хольта [5]. Этот метод можно использовать для прогнозирования будущей тенденции изменения показателей.

Разработка прикладного программного обеспечения. В современных условиях эффективное решение задач ситуационного анализа деятельности предприятия невозможно без использования информационных технологий. В связи с этим была разработана информационная система, обеспечивающая сбор и анализ данных в рамках сбалансированной системы показателей, одной из функций которой является выявление как фактической, так и прогнозной проблемной ситуации. Для хранения данных была создана база данных. Структура фрагмента базы данных, связанного с хранением данных о показателях работы предприятия иллюстрируется с помощью модели данных, представленной на рис. 3.

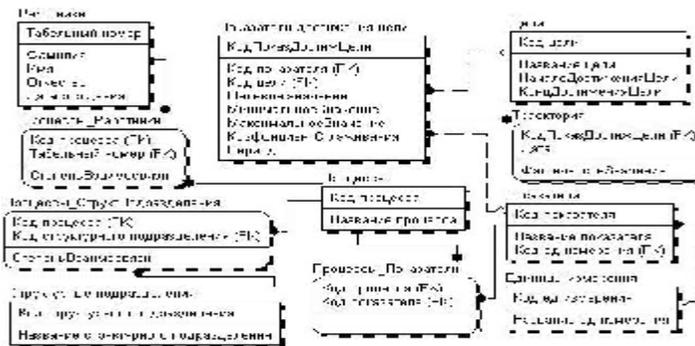


Рис. 3 – Модель данных

Результаты контрольных расчетов. Для проведения контрольных расчетов были выбраны два показателя деятельности торгового предприятия, а именно «Объем продаж» и «Чистая операционная прибыль». Анализ возникновения текущих проблемных ситуаций и прогнозирование производится, как по каждому показателю отдельно, так и по интегрированному показателю, который отражает особенности данного предприятия в целом. На рис. 4 и рис. 5 представлены графические интерпретации прогнозирования выбранных показателей, основанные на алгоритме Хольта. Траектории, приведенные на графиках, формировались исходя из использования значений показателей с нарастающим итогом. Нижнее и верхнее ограничение обозначены тонкой пунктирной линией. На

рис. 4 можна заметити, як фактична або прогнозна траєкторія виходять за рамки обмежень, що відповідає виникненню проблемних ситуацій.

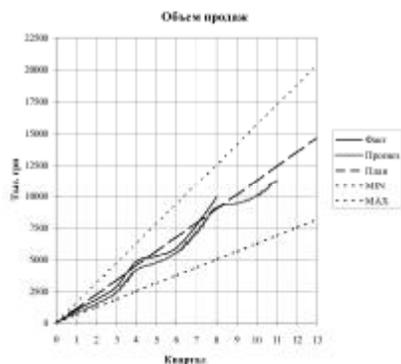


Рис. 4 – Прогнозирование изменения показателя «Объем продаж»

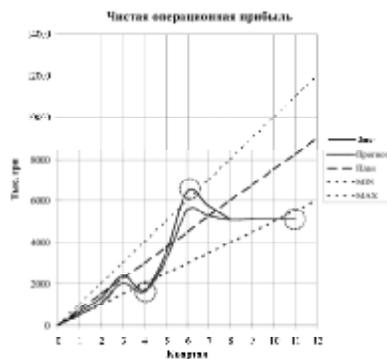


Рис. 5 – Прогнозирование изменения показателя «Чистая операционная прибыль»

Выводы. В результате проведения исследования были изучены особенности ситуационного анализа деятельности предприятия на основе использования ССП и КПЭ. Было разработано прикладное программное обеспечение, которое позволяет хранить данные о КПЭ предприятия, проводить их ситуационный анализ, выявлять текущие и возможные проблемные ситуации. При этом основное внимание уделялось особенностям предприятий, работающих в сфере торговли.

Список литературы: 1. *Крупская В.* Ситуационный анализ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://krupskaya.com.ua/prodshow66.html>. 2. *Каплан Р. С., Нортон Д. П.* Сбалансированная система показателей. От стратегии к действию / Р. С. Каплан, Д. П. Нортон. – М. : Олимп-Бизнес, 2003. – 304 с. 3. Система сбалансированных показателей деятельности Balanced Scorecard – BSC [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.process.siteedit.ru/page57>. 4. *Парментер Д.* Ключевые показатели эффективности. Разработка, внедрение и применение решающих показателей / Д. Парментер. – М. : Олимп-Бизнес, 2008. – 288 с. 5. *Кулкова О.* Метод экспоненциального сглаживания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cis2000.ru/Budgeting/Mailing/ExponentialSeries.shtml>.

Надійшла до редколегії 12.11.2010

УДК 658.3:681.518

Д. Л. ОРЛОВСЬКИЙ, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХП»;
О. Д. БЕРЕКА, студентка НТУ «ХП»;
Е. Ю. РУБІН, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХП»

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ПРАЦІВНИКІВ ПІДПРИЄМСТВА ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДУ PATTRN

Розглядається проблема оцінки персоналу підприємства. Пропонується бальний метод, який можна використовувати при проведенні оцінки робітників. Наведені результати розробки та застосування прикладного програмного забезпечення, за допомогою якого можна зберігати дані про робітників підприємства та проводити оцінку персоналу.

Рассматривается проблема оценки персонала предприятия. Предлагается бальный метод, который можно использовать при проведении оценки работников. Приведены результаты разработки и применения прикладного программного обеспечения, с помощью которого можно хранить данные про рабочих предприятия и проводить оценку персонала.

The problem of estimation of personnel of enterprise is examined. A point method which can be used for realization of estimation of workers is offered. Results of development and usage of software through which you can store data about the workers of the enterprise and evaluate personnel are given.

Вступ. Сучасні умови господарювання обумовлюють підвищену увагу до питань ефективного та раціонального використання ресурсів, залучених до господарської діяльності підприємства. Трудові ресурси на сьогоднішній день стають ключовим чинником, за рахунок якого можна суттєво підвищити результативність бізнесу. У зв'язку з цим виникає гостра необхідність перегляду критеріїв оцінки використання трудових ресурсів.

Трудові ресурси, як ключовий фактор результативності бізнесу. Основним завданням при наймі на роботу персоналу є задоволення попиту на працівників у якісному та кількісному відношенні. Найманню працівника передують чітке уявлення про функції, які він буде виконувати, завдання і посадові обов'язки, права і взаємодії в організації. Виходячи із заздалегідь сформульованих вимог обирають відповідних людей на конкретну посаду. При підборі порівнюються ділові та інші якості працівника з вимогами робочого місця. При цьому переслідуються дві мети: формування активно діючих трудових колективів у рамках структурних підрозділів і створення умов для професійного зростання кожного працівника.

Всі дані про працівників та майбутніх працівників повинні зберігатися на підприємстві. В сучасних умовах для цього доцільно використовувати засоби інформаційних технологій, зокрема бази даних, які будуть зберігати всю необхідну інформацію про працівників. При підборі персоналу також є необхідність використання формальних методів, які дозволять на основі

критеріїв оцінки обрати підходящого кандидата на відповідну посаду, або звути коло претендентів для подальшого відбору [1].

Найм на роботу – це ряд дій, спрямованих на залучення кандидатів, що володіють якостями, необхідними для досягнення цілей, поставлених організацією. Із залучення на роботу починається керування персоналом.

Найманню працівника передують чітка уява про функції, які він буде виконувати, завдання і посадові обов'язки, права і взаємодії в організації. Виходячи із заздалегідь сформульованих вимог, вибирають підходящих людей на конкретну посаду, і відповідності якостей претендентів вимогам віддається велике значення.

Є два можливі джерела наймання:

- зовнішній (з людей, до цього ніяк не пов'язаних з організацією);
- внутрішній (із працівників організації).

Наймання персоналу за рахунок внутрішніх джерел багато в чому залежить від кадрової політики адміністрації організації в цілому. Розумне використання наявних людських ресурсів може дозволити організації обійтися без нового набору.

Із зовнішніх джерел наймання в нашій країні найбільше поширення одержали наступні джерела наймання: люди, що випадково зайшли в пошуках роботи; оголошення в газетах; середні школи, коледжі, ліцеї, технікуми, професійно-технічні училища, вищі навчальні заклади; служби по працевлаштуванню; приватні агентства по найманню; оголошення по радіо й телебаченню; профспілки.

У ряді вітчизняних організацій розроблені спеціальні анкети претендента на посаду фахівця. Працівники кадрових служб давно відчували потребу в більш обґрунтованих і надійних процедурах. Підвищення ефективності та надійності відбору зв'язується з послідовним проведенням перевірки ділових і особистих якостей кандидата, заснованої на взаємодоповнюючих методах їх виявлення й джерелах інформації. Здійснюється поетапний відбір кандидатур, відсіваючи тих кандидатів, які виявили явну невідповідність пропонованим вимогам. Одночасно застосовують по можливості об'єктивну оцінку фактичних знань і ступені володіння кандидатом необхідними виробничими навичками.

Таким чином, формується складна багатоступінчаста система проведення відбору людських ресурсів.

Виділяються наступні етапи відбору претендентів на вакантну посаду фахівця або керівника [2]:

- розробка вимог до посади; у результаті подальший пошук обмежується претендентами, що мають необхідну кваліфікацію для даної посади;

- широкий пошук претендентів (ставиться завдання залучити для участі в конкурсі якнайбільше кандидатів, що відповідають мінімальним вимогам);
- перевірка претендентів (бажано з використанням формальних методів) з метою відсівання гірших, яка проводиться кадровою службою;
- відбір на посаду із числа декількох кандидатур звичайно здійснюється керівником з урахуванням висновку кадрових служб і даних різних перевірок і випробувань.

Огляд програмних засобів, які використовуються для проведення обліку та оцінки персоналу підприємства. Програмних засобів, які допомагають менеджерам персоналу вирішити задачі управління трудовими ресурсами існує багато. Серед найбільш поширених можна виділити такі програми як: HR-Recruiter, StaffManager UTS-3, корпоративний оціночний профіль-2" (КОП-2), система БОСС-Кадровик, програмний модуль IFS Персонал. Всі ці програмні засоби допомагають автоматизувати робоче місце менеджера персоналу та допомагають йому у роботі.

Постановка задачі дослідження. Останнім часом перед керівниками постає питання оцінки персоналу підприємств, для того, щоб визначити рівень кваліфікації робітників, їх здатність до навчання, вміння самовдосконалюватися та інше. При наявності та значному рівні цих навичок підприємство буде здатне триматися на рівні та просуватися вперед у сучасних умовах ринкової економіки. Для рішення цього питання по-перше постає задача у виборі формальних методів оцінки. По-друге, постає питання у збереженні як загальних даних про працівників, так і даних про їх діяльність, зміни у кваліфікації та вміннях, кар'єрне зростання.

Використання методу PATTRN при оцінці персоналу. Існує велика кількість формальних методів, які використовують бальну систему оцінювання кандидатів. Досить ефективним методом розв'язання різних задач оціночного типу є метод PATTRN (Planning Assistance Through Technical Relevance Number) [3]. Він характеризується досить великим рівнем обґрунтованості розрахунків, оскільки передбачена відповідна процедура нормалізації (тобто приведення вихідних даних до безрозмірних величин). Отримані нормалізовані (стандартизовані) вихідні дані (критерії) дозволяють проводити над ними будь-які арифметичні операції з необхідною вірогідністю. Цей метод з успіхом може бути застосований, в основному, для одержання кількісних оцінок складних (багатомірних) процесів, явищ, а також для пошуку науково обґрунтованих різного роду задач економічної природи.

У методі PATTRN в якості основи для отримання нормалізованих оцінок використовуються найкращі (максимальні) числові оцінки критеріїв. Метод PATTRN можна застосувати також і для вирішення задачі оцінки персоналу.

На рис. 1 представлена схема розрахунку оцінок кандидатів на вакантну посаду.



Рис. 1 – Узагальнена схема розрахунку оцінок кандидатів на вакантну посаду за методом PATRN

У схемі (рис. 1) були використані такі позначення:

i – номер критерію оцінки ($i = 1, \dots, n$);

j – номер аналізованого альтернативного j -го варіанту ($j = 1, \dots, m$);

H_{ij} – нормалізоване (стандартизоване) значення i -го критерію за j -м альтернативним варіантом;

x_{ij} – поточне значення i -го критерію по j -му альтернативному варіанту;

$x_{i \max}$ – найкраще (оптимальне) значення i -го критерію [4].

При цьому виникає потреба у чіткому визначенні системи критеріїв для кожної посади. Внаслідок цього виникає необхідність у вирішенні задачі збереження даних, як про кандидатів, так і про вакансії, на які вони претендують. Якщо на підприємстві працює значна кількість працівників та періодично виникає проблема заповнення вакантних посад, це суттєво збільшує навантаження на менеджерів з персоналу, що приводить до необхідності застосування засобів автоматизації.

Розробка прикладного програмного забезпечення. Для вирішення задачі зберігання даних про працівників підприємства та даних про оцінку цих працівників необхідно використовувати базу даних. Створенню бази даних передують побудова моделі даних, яка представлена на рис. 2.

На основі цієї моделі даних у подальшому була реалізована база даних за допомогою СУБД Microsoft SQL Server 2005.

Для зручного використання бази даних користувачами було створено прикладне програмне забезпечення, яке у зручному режимі дозволяє додавати, редагувати, переглядати та обробляти дані про працівників, а також проводити комплексну оцінку персоналу підприємства.

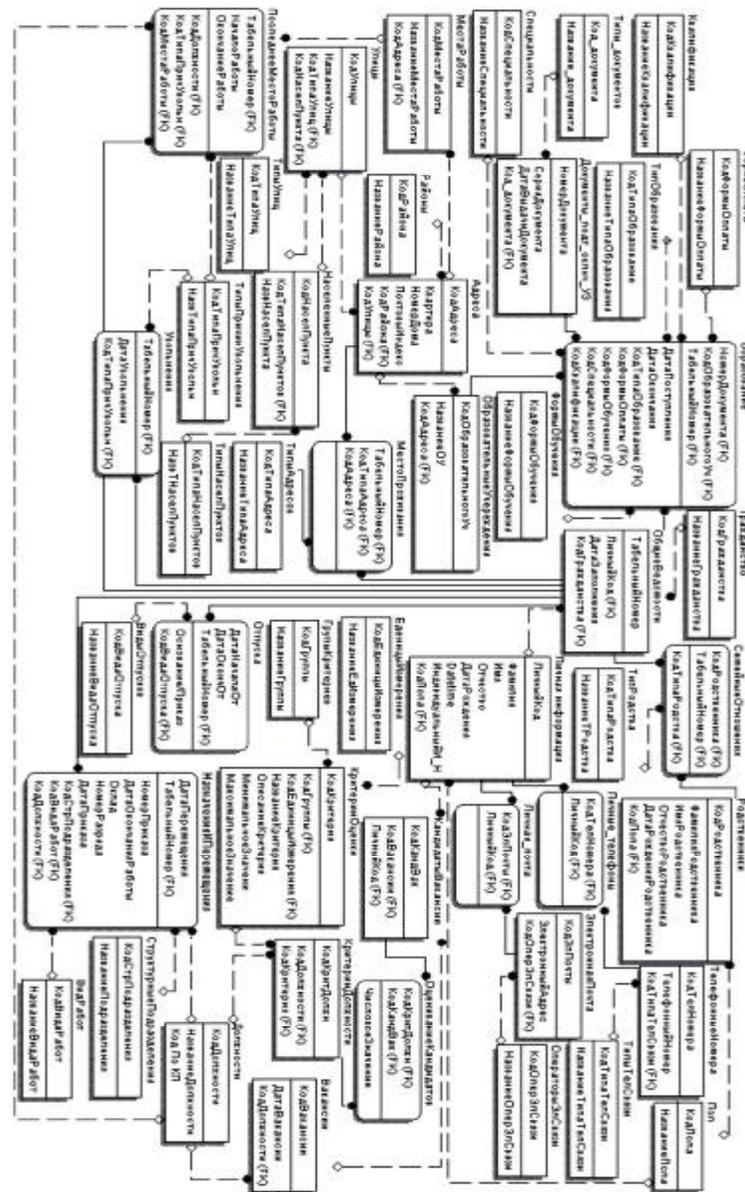


Рис. 2 – Модель

Контрольні розрахунки та аналіз отриманих результатів. Для проведення контрольних розрахунків з оцінки працівників була обрана посада «Менеджер персоналу», критерії оцінки якої представлені в таблиці 1. В таблиці 2 представлені бали, які набрали робітники під час оцінювання.

Таблиця 1 – Дані про критерії оцінки для посади «Менеджер персоналу»

Назва критерію	Одиниці виміру	Мінімальне значення	Максимальне значення
Володіння текстовим редактором Word	Бал	1	20
Стаж роботи	Рік	0	10
Навички роботи з інформаційною системою «ІС: Персонал»	Бал	1	30
Навички роботи у середовищі Інтернет	Бал	1	15
Наявність диплома за спеціальністю	Бал	0	1
Комунікабельність	Бал	1	10

Таблиця 2 – Оцінки робітників – претендентів на посаду «Менеджер персоналу»

Критерій оцінки	Кандидат			
	Тимофеев В.А.	Берека Т.С.	Гончарова Э.Г.	Исиченко Е.К.
Володіння текстовим редактором Word	18	20	11	10
Стаж роботи	4	10	3	1
Навички роботи з інформаційною системою «ІС: Персонал»	25	30	10	10
Навички роботи у середовищі Інтернет	15	15	15	10
Наявність диплома за спеціальністю	0	1	1	0
Комунікабельність	10	10	4	3

Було створено прикладне програмне забезпечення яке дозволяє розраховувати оцінку персоналу за методом PATTRN, а також зберігати інформацію про працівників та про їх оцінювання.

На рис. 3 представлені результати оцінювання кандидатів, які були розраховані за допомогою методу PATTRN.

За допомогою діаграми, що наведена на рис. 3, можна побачити, який працівник зайняв перше місце в оцінюванні. Такий графічний вигляд подання результатів є досить наочним, що сприяє більш ефективному використанню програмного засобу користувачем. Графічне представлення будується на основі чисельних результатів розрахунків, які користувач також може переглядати та аналізувати. Всі ці дані зберігаються у базі даних, що дозволяє при необхідності простежувати зміни у навичках працівників, формувати список потенційних претендентів на вакантні посади виходячи з результатів попередніх оцінювань.

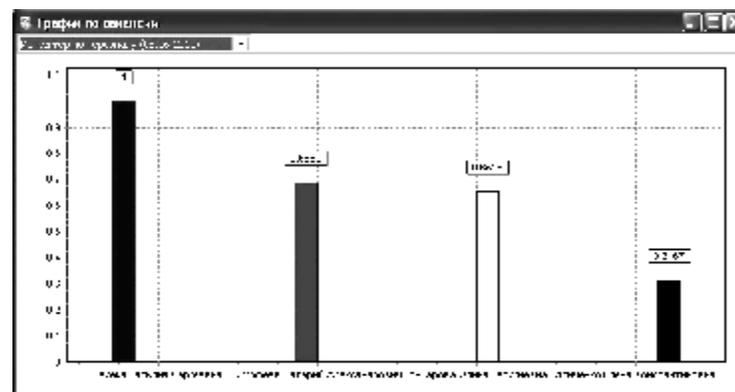


Рис. 3 – Діаграма результатів розрахунку оцінки за методом PATTRN

Висновки. У результаті проведених досліджень були вивчені основні проблеми, пов'язані з комплексною оцінкою робітників підприємства. Був проведений огляд та аналіз програмних засобів, які використовуються при рішенні даних проблем. Було створено програмне забезпечення, яке дозволяє зберігати дані про працівників та проводити їх комплексну оцінку. Були розраховані контрольні приклади з використанням даних, максимально близьких до реальних.

Список літератури: 1. Никитин А. В. Анализ трудовых показателей / А. В. Никитин, Н. А. Кольцов, И. А. Самарина [и др.]; под ред. П. Ф. Петроченко. – М. : Экономика, 1989. – 288 с. 2. Маслов Е. В. Управление персоналом предприятия / Е. В. Маслов. – М. : «ИНФРА-М», 2001. – 312 с. 3. Лопухин М. М. Паттерн – метод планирования и прогнозирования научных работ / М. М. Лопухин. – М. : Советское радио, 1971. – 160 с. 4. Царев В., Евстратов А. Выбор наиболее конкурентоспособного кандидата на вакантную должность с помощью методов ПАТТЕРН и многомерной средней / В. Царев, А. Евстратов // Управление персоналом. – 2008. – № 20. – С. 53–55.

Надійшла до редколегії 12.11.2010

УДК 518.5

О. В. ТОНИЦА, канд. физ.-мат. наук, доцент, НТУ «ХПИ»

СТОХАСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

В статті пропонуються конструктивні методи та алгоритми стохастичного моделювання фізико-механічних полів на основі теорії R-функцій та нечіткої логіки, які дозволяють враховувати

технічні та технологічні допуски на геометричну та фізичну інформацію, погрешності вимірів, помилки скруглення, та на основі аналізу їх комплексного впливу на розв'язок робити експертний висновок.

В статье предлагаются конструктивные методы и алгоритмы стохастического моделирования физико-механических полей на основе теории R-функций и нечёткой логики, позволяющие учитывать технические и технологические допуски на геометрическую и физическую информацию, погрешности измерений, ошибки округления, и на основе анализа их комплексного влияния на решение делать экспертное заключение.

The constructive methods and algorithms for simulation of physical-mechanical fields based on the R-functions theory and fuzzy logics are elaborated which allow us take into account technical and technological assumptions on geometrical and physical informations, measuring errors, rounding errors, and draw expert conclusions.

Существуют производственные задачи, при решении которых необходимо учитывать и совместно перерабатывать сложную геометрическую, логическую и аналитическую информацию. К таким задачам относятся проблемы математической физики, связанные с инженерными расчетами физико-механических полей, определяющих основные качественные характеристики изделий. Возрастающий интерес к расчетам физических полей объясняется тем, что они необходимы в теплофизике, теории упругости и пластичности, магнитной гидродинамике и других областях науки, достижения которых имеют первостепенное значение для научно-технического прогресса [1, 2]. Данная работа посвящена развитию интеллектуальных систем исследования физических полей серии «Поле» для учета технологических допусков и методических погрешностей.

Математические модели физико-механических полей могут быть представлены в виде краевых задач для уравнений с частными производными при определенных краевых условиях. Специфическая особенность поля как объекта моделирования – его зависимость не только от характера физических законов, учитываемых соответствующими уравнениями, но и от формы, взаимного расположения тел, в которых возбуждаются поля, от конфигурации площадок их взаимодействия и других геометрических и физических факторов. При исследовании и решении перечисленных проблем весьма важно создать эффективные вычислительные методы, которые позволили бы решить поставленные задачи и учесть при этом геометрическую, логическую и аналитическую информацию. Такую информацию необходимо приводить к единому аналитическому виду, позволяющему включать ее в разрешающий алгоритм. Особенно актуальна разработка методов решения задач, которые имели бы универсальный характер и не требовали от исследователя глубокого знания теории. Универсальность позволяет использовать методы системного программирования для автоматизации научных исследований в математической физике.

К широко известным универсальным методам относятся вариационные и проекционные методы, которые принято называть прямыми [1]. Их

характерная особенность – сведение краевых задач к системам линейных алгебраических уравнений. Приближенное решение задачи отыскивается в виде линейных комбинаций, так называемых координатных функций, которые удовлетворяют, если это необходимо, краевым условиям рассматриваемой задачи, а также требованиям полноты и условиям аппроксимационной универсальности. Построение координатных функций, удовлетворяющих перечисленным условиям для областей практически произвольной формы, долгое время оставалось проблематичным. Рассмотреть данный вопрос с общих позиций удалось после создания конструктивного математического аппарата теории R-функций [1, 2], позволившего получить решение соответствующей математической задачи в виде формулы, называемой структурой решения и содержащей явную зависимость от геометрических и физических параметров. Полученные теоретические результаты использовались при создании современной технологии программирования в математической физике, реализации проблемно-ориентированных языков и специализированных систем серии «Поле». Пользователи последних указывают формулировку задачи, исходные данные, требуемую форму выдачи результатов на языке высокого уровня, который максимально приближен к общепринятому языку описания постановки задачи и алгоритма ее решения. По заданию пользователя система «Поле» создает вычислительную схему, а затем автоматически синтезирует рабочую программу решения задачи. Опыт применения проблемно-ориентированных языков и специализированных систем серии «Поле» показывает, что они существенно упрощают и ускоряют наиболее трудоемкие этапы вычислительных экспериментов: программирование и отладку модулей, решение задач и анализ результатов.

При конструировании на аналитическом уровне решений краевых задач для сложных областей со сложным характером условий применяется метод R-функций в сочетании с вариационными и проекционными методами. Благодаря тому, что метод R-функций позволяет автоматизировать процесс преобразования геометрической информации в аналитическую, результат решения краевой задачи можно рассматривать как некоторое соотношение, включающее всю информацию о краевой задаче. Однако применение операций дифференцирования делает такие соотношения весьма громоздкими, труднообозримыми и неудобными в обращении. Их использование при решении краевой задачи невозможно без специального аппарата формализации, позволяющего свести алгоритм решения к последовательности простых операций. Сложные математические объекты объединяются средствами алгебры дифференциальных кортежей [2], а затем применяются обычные алгебраические методы преобразования этих соотношений.

При решении краевых задач математической физики используется традиционная схема реализации прямых методов, которая сводится к

последовательному выполнению следующих этапов: учет геометрической информации; формирование разрешающих систем линейных алгебраических уравнений; решение систем уравнений или проблемы собственных чисел и векторов; обработка результатов вычислений.

Системы серии «Поле» являются сложными комплексами программ, предназначенными для программирования и решения краевых задач, сформулированных для уравнений с частными производными при произвольных краевых условиях и сложной геометрии области. Организационно данные системы состоят из двух частей – функционального и системного наполнения. Инструментальная система «Поле» может быть использована для исследования и решения краевых задач математической физики. Проблемной ориентацией служит решение краевых задач для дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами без ограничений на характер краевых и начальных условий, форму области и участков границы. Входные языки системы «Поле» позволяют вводить всю необходимую информацию о краевых задачах математической физики.

В настоящее время автоматизация программирования в области математической физики достигла значительного прогресса. Эффект от использования проблемно-ориентированных языков и специализированных систем состоит в сокращении времени решения многих научно-технических задач, а также в создании базы для перехода к индустриальным методам и новой технологии программирования. Такие языки и системы являются инструментальной базой для проведения вычислительных экспериментов, освобождающей математиков и инженеров от рутинной и не соответствующей их специальности работы по составлению и отладке громоздких программ. Для проведения вычислительных экспериментов в области математической физики во многих случаях необходимо глубокое изучение моделируемого процесса или явления, познание законов природы процессов и их проявлений в сложном взаимодействии. Кроме того, при решении задач математической физики приходится учитывать вопросы сходимости, устойчивости вычислительного процесса, точности вычислений, эффективности применяемых методов и т.д. Эти обстоятельства создают дополнительные трудности при разработке математического обеспечения для решения задач математической физики. С помощью системы «Поле» решено много научно-технических и инженерных задач. Например, произведены расчет и оптимизация различных конструкций, для которых определяются основные качественные характеристики (прочность, добротность, долговечность, надежность и т.д.). При решении таких сложных задач возникает необходимость в проведении все более тонких расчетов температурных, деформационных, силовых и других физико-механических полей с учетом самых различных факторов физического и геометрического характера.

Для решения перечисленных задач используются методы и конструктивные средства теории R-функций, позволяющие с единых позиций решать вопросы учета и совместной переработки сложной геометрической, логической и аналитической информации, а также системы серии «Поле», характерной особенностью которых является возможность явного задания на проблемно-ориентированном языке необходимых физических и геометрических параметров. Это позволяет проводить многовариантные вычислительные эксперименты, переходить от решения одной задачи к другой, изменяя при этом форму рассматриваемых объектов и различные физические и математические параметры. Анализируя методы теории R-функций и ее программное обеспечение, следует отметить, что они представляют собой достаточно эффективную совокупность средств для проведения вычислительных экспериментов по расчету различных физико-механических полей в объектах сложной формы. Различные тестовые примеры, сравнение результатов с точными решениями, согласование решений реальных задач с данными физических экспериментов подтверждают достоверность результатов и свидетельствуют о целесообразности применения описанных программных и языковых средств для инженерных расчетов. Основное направление развития теории R-функций связано с созданием новых, более простых и эффективных конструктивных средств и с расширением предметной области системы «Поле».

Рассмотрим подходы к усовершенствованию систем анализа физических полей. При построении систем исследования задач расчета полей важен учет стохастического характера погрешностей измерений, допусков на геометрическую и физическую информацию и ошибок округления. В связи с этим возникает необходимость в развитии существующих систем расчета полей для многовариантных задач с целью получить допуски на решение и последующее экспертное заключение. Вычисления в системах расчета полей, как правило, носят детерминированный характер, в то время как реальные процессы в определенной степени являются стохастическими, содержат в себе некоторую нечеткость. Для учета последней нужно так преобразовать существующую схему исследования физических полей, чтобы в результате многовариантного счета получить более точное «нечеткое» решение, которое будет ближе к реальности. Целесообразно ввести в схему решения учет допусков, т. е. источников нечеткости, наиболее сильно влияющих на результирующее решение. Практика показывает, что таких источников, как правило, три: допуски модели (на геометрические и физические характеристики), ошибки метода («усечение» ряда, ошибки интегрирования, решения систем линейных уравнений) и погрешности округления[3]. Необходимо установить комплексное влияние варьирования величин в пределах допусков и исследовать возможности построения допусков на решение. В связи с этим большой интерес представляет разработка систем

исследования полей, ориентированных на многовариантное решение краевых задач с целью учесть варьирование определенных величин в пределах заданных допусков.

Для иллюстрации нечеткости реальной задачи моделирования рассмотрим задачу Дирихле для дифференциального уравнения общего вида. Пусть заданы область D и краевые условия с учетом допусков:

$$\begin{aligned} Au &= f; \\ U|_{\Gamma_m} &= \varphi_i^* \Leftrightarrow \varphi \pm \Delta_\varphi; \\ D &\Leftrightarrow D \pm \Delta_D. \end{aligned}$$

Изменяя допуски на геометрию и краевые условия в заданных пределах, получаем допуски на U , которым должно удовлетворять решение реальной краевой задачи. Предлагаемая методика моделирования для задачи анализа включает в себя следующие этапы: формирование допусков на решение; решение реальной краевой задачи; формирование экспертного заключения о приемлемости найденного решения.

Рассмотрим модель физического поля, например задачу Дирихле [1]. Четкую модель поля будем обозначать через m :

$$\begin{aligned} Au &= f; \\ U|_{\Gamma_i} &= \varphi_i; \\ D. \end{aligned}$$

Ее решение структурным методом строится в виде

$$U_n = \sum_{i=1}^n C_i \omega P_i + \Psi,$$

где ω – аналитическое описание области D ; Ψ – функция, продолжающая краевые условия внутрь области; C_i – неопределенные коэффициенты.

В соответствии с описанными выше источниками нечеткости построим нечеткую модель поля [2]:

$$\begin{aligned} Au &= f; \\ U|_{\Gamma_i} &= \varphi_i \Leftrightarrow (\varphi \pm \Delta_\varphi, \mu_\varphi(\varphi^\square)); \\ D &\Leftrightarrow (D \pm \Delta_D, \mu_D(D^*)), \end{aligned}$$

которую будем обозначать через M . Для выборки $\{m\} \subset M$ нужно получить нечеткое решение

$$U_n^* = \sum_{i=1}^n C_i \omega^\square P_i + \Psi_i(\varphi_i), \mu_{U_n^*}(U_n^\square).$$

Через M_1 обозначим модель, учитывающую варьирование физических величин в пределах заданных допусков, а через M_2 – учитывающую варьирование геометрических характеристик.

Модель M_1 будет иметь вид:

$$\begin{aligned} Au &= f; \\ U|_{\Gamma_i} &= \varphi_i \Leftrightarrow (\varphi \pm \Delta_\varphi, \mu_\varphi(\varphi^\square), M(x), D(x), f(x)); \\ D. \end{aligned}$$

Модель M_2 будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{aligned} Au &= f; \\ U|_{\Gamma_i} &= \varphi; \\ D &\Leftrightarrow (D \pm \Delta_D, \mu_D(D), M(x), D(x), f(x)). \end{aligned}$$

Здесь $M(x)$ – математическое ожидание, $D(x)$ – дисперсия, $f(x)$ – закон распределения величины в пределах допусков.

Ошибка в величине параметров имеет случайную природу и обусловлена большим количеством случайных факторов. Вследствие этого можно считать, что изучаемые величины нормально распределены. Для решения задачи нужно построить стохастическую структуру, процесс получения заданного допуска в которой будет непрерывным и стохастическим. Необходимо построить стохастическую дискретную аппроксимацию, которая будет в пределе приближаться к непрерывной стохастической.

Получим нечеткое решение

$$\tilde{U}_n^* = \sum_{i=1}^n \tilde{C}_i \omega^\square P_i + \tilde{\Psi}_i(\varphi_i), D(x), \mu_{U_n^*}(U_n^\square),$$

где $D(x)$ – дисперсия случайной величины.

$$D(x) = \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2 p_i,$$

где m_x – математическое ожидание, p_i – вероятность события x_i .

При решении задачи, представленной моделью M_1 , получим k систем уравнений, отличающихся столбцом свободных членов. Поэтому необходимо использовать метод Гаусса для решения уравнений с k правыми частями. При решении задачи, представленной моделью M_2 , получим k различных краевых задач. Для повышения быстродействия процесса их решения целесообразно использовать распараллеливание по задачам.

Рассмотрим вопросы формирования выборки и интервального решения. Как правило, размытость описывается нормальным законом распределения, где Δ – некоторый доверительный интервал. Генерируя в пределах доверительного интервала случайные последовательности, формируем выборку. Для модели M_1 генерируем случайные последовательности на краевые условия, для M_2 – на геометрию. В результате реализации выборки получаем искомые решения. Интервальное решение в дискретном виде получаем следующим образом. Сканируя нечеткую область D и табулируя \tilde{U}_n в каждом узле некоторой дискретной сетки, находим математическое ожидание, дисперсию и доверительный интервал. Нечеткость определяется математическим ожиданием и доверительным интервалом.

Опишем формирование выборки для задачи синтеза и наработку допусков на геометрию. В этом случае характеристики решения и их допуски уже заданы. Задаем нижние границы значений функции принадлежности и доверительной вероятности, а также последовательность допусков для геометрии, среди которых должен содержаться искомый допуск. Последовательно находя решение для каждого элемента выборки, проверяем значение функции принадлежности. Затем по значениям функции принадлежности для выборки и заданному значению доверительной вероятности оцениваем приемлемость допуска. Последний интервал, для которого условия приемлемости допуска будут выполняться, является искомым доверительным интервалом.

Функцию принадлежности текущей области по отношению к эталонной находим при помощи вычисления поверхностного интеграла по исследуемой области. При решении задачи, поставленной моделью M_1 , получим k систем уравнений, отличающихся столбцом свободных членов. Поэтому необходимо использовать метод Гаусса для решения уравнений с k правыми частями. При решении задачи, представленной моделью M_2 , получим k различных систем уравнений. Для повышения быстродействия процесса их решения целесообразно использовать распараллеливание по задачам.

Разработанная методика применяется для развития систем исследования физических полей.

Список литературы: 1. Рвачев В. Л. Теория R-функций и некоторые ее приложения / В. Л. Рвачев. – К. : Наук. думка. – 1982. – 550 с. 2. Рвачев В. Л. Проблемно-ориентированные языки и системы для инженерных расчетов / В. Л. Рвачев, А. Н. Шевченко. – К. : Техника. – 1988. – 199 с. 3. Тоница О. В. Методы стохастического моделирования физико-механических полей / О. В. Тоница // 8-я Международная конференция «Теория и техника передачи, приема и обработки информации» («Интегрированные информационные системы, сети и технологии») «ИИСТ-2002»: Сб. науч. трудов. – Харьков: ХНУРЭ, 2002. – С. 49–51.

Надійшла до редколегії 05.11.2010

УДК 62-50

Є. П. ГОМОЗОВ, канд. фіз.-мат. наук, доцент, НТУ «ХПИ»;
І. О. СОРОКОУМОВ, магістр НТУ «ХПИ»;
О. В. ЯНОВСЬКИЙ, аспірант НТУ «ХПИ»

МОДЕЛЮВАННЯ ОЦІНКИ ВАРТОСТІ АКЦІЙ

Розглянуто задачу визначення вартості акцій на базі аналізу часових рядів. Визначено найкращий вид моделі ряду. Обрана модель використана для формування оптимального портфелю.

Рассмотрена задача определения стоимости акций на базе анализа временных рядов. Определен наилучший вид модели ряда. Выбранная модель использована для формирования оптимального портфеля.

Based on time-series analysis problem of determining the quotes of stocks considered. The best format of the series model is determined. The optimal portfolio is constructed on the base of the selected model.

Вступ. Як відомо, основу більшості фінансових ринків складають акції [1]. Саме на них побудована найбільша піраміда з деривативів, а тому задача прогнозування майбутнього курсу акцій є зараз дуже значущою.

Зараз існують дві основні гіпотези щодо функціонування різноманітних ринків активів – класична ЕМН (*Efficient Market Hypothesis*) та досить нова ФМН (*Fractal Market Hypothesis*); а також три різні підходи щодо прогнозування різних параметрів фінансових інструментів на базі цих гіпотез: фундаментальний аналіз, технічний аналіз та математичне моделювання.

Серед досить поширених методів такого математичного моделювання можна назвати: класичний та фрактальний аналіз часових рядів [3, 4], загальний фрактальний аналіз [5], методи диференціальних рівнянь у частинних похідних, штучні нейронні мережі [6], багатофакторний регресійний аналіз, генетичний алгоритм і т.д. Але мабуть єдиним з вищезгаданих методів, який дає в результаті прийнятну для трейдерів математичну модель, не потребує інших даних окрім часового ряду курсів та може поєднати в собі елементи технічного аналізу – це класичний та фрактальний аналіз часових рядів. Тому ми і будемо використовувати їх для подальших досліджень.

Постановка задачі. На базі класичного та фрактального аналізу часових рядів отримати модель для оцінки і прогнозування курсу акцій IBM, KO, DIS, PASS, CSCO на основі 1400 спостережень. Перевірити придатність отриманої моделі для використання у портфельній теорії.

Модель часового ряду. Всі вихідні дані щодо курсу акцій IBM, KO, DIS, PASS, CSCO належать терміну з 01.01.04 по 31.12.09. Виходячи з того, що часовий ряд – це набір спостережень за однакою проміжкою часу, на етапі обробки інформації була проведена сплайн-інтерполяція вхідних даних для заміщення відсутніх членів часових рядів курсу вищезгаданих акцій.

Для моделювання прогнозного курсу акцій та їх доходностей у рамках гіпотези ЕМН можливо використовувати моделі та методи класичного аналізу часових рядів. Тестування рядів доходностей, тобто перших різниць ряду курсів, було проведено за допомогою критерію Дікі-Фуллера. Тестування показало, що всі часові ряди доходностей є DS-рядами, тому у всіх моделях матимемо AR(1)-різницю з метою усунення короткострокових шумів.

Таким чином, хоча ряди курсів акцій виявилися нестационарними, проте ряди доходностей вже є стационарними. Тому, у рамках гіпотези ЕМН, здається досить прийнятною спроба використання з метою подальшого прогнозування курсів акцій моделей ARIMA [7]. Ця модель дозволяє моделювати поведінку ряду залишків та отримувати остаточний ряд залишків близьким до білого шуму. ARIMA – це гомогенна нестационарна система, яка приводиться до стационарної за рахунок послідовного «дискретного диференціювання» спостережень. Параметр цього диференціювання d є натуральним числом.

Сім'я розподілів ARCH, як добре відомо, є єдиною альтернативою сім'ї фрактальних розподілів щодо аналізу фондового ринку, бо досить добре відповідає емпіриці. Але моделі типу ARCH та їх модифікації не використовувались у подальшому аналізі, тому що ці моделі, на відміну від фрактальних, є локальними, вимірюють тільки умовну дисперсію та працюють тільки для визначених спочатку інвестиційних горизонтів.

Для моделювання прогнозного курсу акцій та їх доходностей у рамках гіпотези FMN (яка є глобальною, вимірює безумовну дисперсію та має справу з усіма інвестиційними горизонтами) здається прийнятним використання процесів типу Парето-Леві, які мають фрактальні властивості; використовуючи, згідно з Мандельбротом, логарифмічне представлення їх характеристичних функцій:

$$\ln J(t) = \begin{cases} idt - |ct|^a (1 - ib(t/|t|)m(pa/2)), a \neq 1 \\ idt - |ct|(1 + ib(2/p) \ln|t|), a = 1 \end{cases} \quad (1)$$

R/S-аналіз є сталим по відношенню до хаотичного шуму, тому він є прийнятним для вивчення хаотичних систем. Як показали наші дослідження на базі R/S-аналізу та аналізу Фур'є, для акцій IBM та CSCO значення параметру α приблизно дорівнює 2, що відповідає стандартному гаусовому випадку з кінцевою дисперсією $s^2 = 2c^2$, тобто, кажучи мовою трейдерів, з обмеженою волатильністю. Тому у даному випадку можливо використання моделі ARIMA.

Для акцій PASS значення параметру α суттєво менше 2, але більше, ніж 1, що відповідає випадку «фрактального шуму» з невизначеною або нескінченною дисперсією та кінцевим математичним сподіванням. Тобто, з

точки зору трейдерів, про ці акції можна сказати, що для подальшого прогнозування їх курсів має сенс поняття історичної середньої доходності, але не має сенсу поняття історичної волатильності. Таким чином, ми має справу з суто фрактальним розподілом.

Акції KO, DIS займають досить невизначене становище, маючи значення параметру α близьке до 1. Тому неможливо сказати, чи має сенс поняття історичної середньої доходності (у випадку, коли $1 < \alpha < 2$), чи не має сенсу це поняття (у випадку, коли $\alpha \leq 1$). У вищевказаних випадках історичну середню доходність та історичну волатильність не має сенсу розглядати для прогнозування курсів акцій у рамках класичних підходів трейдерів тому, що ці вибірккові середні нестійкі і не будуть збігатися ні до якої границі при збільшенні об'єму вибірки. Але, у будь-якому випадку, ми має справу з суто фрактальним розподілом.

Процес ARFIMA є загальним процесом, який включає в себе процеси короткострокової пам'яті AR або MA зверху процесу Херста (довгострокової пам'яті). Процес FIGARCH (*Fractionally Integrated GARCH*) задає умовну варіацію та допускає наявність довгострокової пам'яті в рядах волатильності. Тому його використання є прийнятним для фрактальних процесів.

Далі ряди моделювались за допомогою моделей ARIMA и ARFIMA-FIGARCH. На основі отриманих результатів визначалась найкраща модель.

Невипадкова складова. Якщо будувати тренд на основі стандартних методів аналізу часових рядів, то доведеться брати модель тренда у вигляді гладкої функції. Але цей підхід є відразу хибним через свою відірваність від реалії конкретної задачі. Бо, використовуючи термінологію технічного аналізу, можна визначити тренди трьох видів: «медвежий», «бичачий» та «боковий». Вигляд всіх цих трендів як правило описується лінійною залежністю. Але головною їх рисою є те, що вони час від часу змінюються один на одного, утворюючи тим самим точки зламу тренду. Тому для цілей нашого дослідження найприйнятнішим виходом є побудова трендів на основі кусково-лінійної функції із використанням наступної апроксимації функції Хевісайда:

$$H(x) = \frac{1}{1 + e^{-2 \cdot k \cdot x}} \quad (2)$$

Наприклад, для акцій IBM, була отримана така модель тренду:

$$\begin{aligned} tr_t = & (1 - H(t - 660)) \cdot (-0,0230 \cdot t + 93,5684) + \\ & + (H(t - 660) - H(t - 1275)) \cdot (0,0814 \cdot t + 29,0346) + \\ & + (H(t - 1200) - H(t - 1275)) \cdot (-0,7446 \cdot t + 1026,3) + \\ & + H(t - 1275) \cdot (0,1861 \cdot t - 157,8675). \end{aligned} \quad (3)$$

Альтернативою може бути модель, яка буде змінювати вигляд тренду на підставі інших джерел інформації, ніж просто ряд цін. Такими даними можуть бути фондові індекси, ціни на нафту, золото, рівень інфляції в країні, тощо.

По обраних даних були побудовані класичні та фрактальні моделі часових рядів. Наприклад, для акцій IBM, отримана модель мала вигляд $X_t = ARIMA(3;1;5)$, а для акцій PAAS – $X_t = ARFIMA(3;0,163;5)$.

Перевірка моделі. На основі всіх отриманих моделей були обчислені прогнозні ціни акцій на місячний період. Далі прогнозні курси були порівняні з відомими реальними курсами. В результаті порівняння виявилось досить добру пристайність з результатами попереднього аналізу. При цьому, наприклад, добрі результати для акцій IBM та CSCO були отримані за допомогою моделі ARIMA, а для акцій PAAS за допомогою моделі ARIMA – погані. Але натомість для акцій PAAS за допомогою моделі ARFIMA були отримані добрі результати. Таким чином з'ясувалося, що на одному і тому ж ринку різні (але однакові за типом) активи можуть як мати, так і не мати фрактальну структуру. Тобто, відразу працюють гіпотези і EMH, і FMH.

На базі отриманого прогнозу та за допомогою портфельної теорії як Марковиця, так і деякої фрактальної модифікації моделі Шарпа були побудовано дві динамічних моделі оптимального управління портфелем.

Реальна місячна доходність отриманого нами оптимального портфелю Марковиця склала $r = 4,1\%$, а портфелю Шарпа – $r = 5,13\%$. Для множини можливих портфелів реальні доходності знаходились в інтервалі $[-5,7\%; 6,7\%]$. Через це можна впевнено стверджувати, що обрані нами методи оцінки вартості фінансових активів можуть бути використаними в інвестиційній діяльності.

Висновки. Отриманий нами загальний вид моделі спроможний давати достатньо точні результати. Надалі якість отриманої моделі можливо поліпшити за рахунок передбачення на базі деяких характеристик фрактальних розподілів точок зламу довгострокових тенденцій курсів акцій.

Список літератури: 1. Шарп У., Александер Г., Бейли Дж. Инвестиции. – М.: ИНФРА-М, 2001. – 1028 с. 2. Федоров А. В. Анализ финансовых рынков и торговля финансовыми активами. – www.forexclub.ua, 2007. – 234 с. 3. Лукашин Ю. П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 416 с. 4. Гуляева О. С., Цветков В. П., Цветков И. В. Фрактальный анализ валютных временных рядов. Финансы и кредит. 9 (249), 2007. – С. 30–36. 5. Peters E, Fractal Market Analysis. Applying Chaos Theory to Investment & Economics. J. Wiley&Sons, – New York, – 1994. – 336 p. 6. Шуряев В. И. Финансовые рынки: Нейронные сети, хаос и нелинейная динамика. – Изд.2, испр. и доп. – 2009. – 232 с. 7. Box G.E.P., Jenkins G. M. Some statistical aspects of adaptive optimization and control. – J. of the Royal Stat. Soc., 1962. – 631 p.

Надійшла до редколегії 12.11.2010

УДК 519.2

Ю. А. ТОЛЧИНСКИЙ, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ»;
Е. В. ВЕДЬ, аспирант НТУ «ХПИ»

МОДЕЛЬ ХИМИЧЕСКОЙ КИНЕТИКИ ПОВЕРХНОСТНОЙ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ

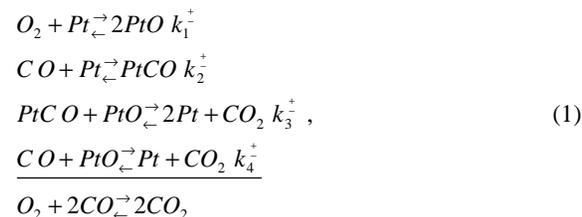
У роботі запропоновано математичну модель хімічної кінетики поверхневої каталітичної реакції. Практична ситуація, що відповідає досліджуваній моделі, полягає в тому, що відбувається допалювання монооксиду вуглецю до діоксиду вуглецю у вихлопах автомобільних двигунів для поліпшення стану атмосфери.

В работе предложена математическая модель химической кинетики поверхностной каталитической реакции. Практическая ситуация, отвечающая изучаемой модели, состоит в том, что происходит дожигание монооксида углерода до диоксида углерода в выхлопах автомобильных двигателей для улучшения состояния атмосферы.

This article discusses the mathematical model of chemical kinetics of the surface catalytic reaction. Practical situation, accounting for the studied model is that CO Afterburning to CO₂ takes place in automobile engine's exhaust gases for atmospheric condition improvement.

Введение. Реакция доокисления монооксида углерода до диоксида углерода молекулярным кислородом является примером простой, но важной реакции. Она исследуется многие годы. В первую очередь это относится к окислению на металлах платиновой группы [1–10]. Важность этой реакции обусловлена тем, что, несмотря на относительную простоту кинетического механизма, она демонстрирует весь набор явлений, присущий другим более сложным реакциям. Реакция доокисления монооксида углерода до диоксида углерода молекулярным кислородом очень важна в экологическом отношении так, как происходит при дезактивации промышленных выбросов и выхлопных автомобильных газов [1–10].

Постановка задачи. Основной задачей данной работы является получение математической модели химической кинетики поверхностной каталитической реакции. Целью рассмотрения является каталитическая реакция следующего вида:



где O_2 – молекулярный кислород;

CO – монооксид углерода;

CO_2 – диоксид углерода;

Pt – платина (выступающая в роли катализатора);

PtO , $PtCO$ – промежуточные вещества;

k_1^\pm , k_2^\pm , k_3^\pm , k_4^\pm – константы скорости реакции.

В данной записи (1) над чертой расположена детальная реакция, а под чертой – брутто–реакция [11, 12]. Далее вводятся следующие обозначения: PtO положим равным x ; $PtCO$ положим равным y ; PO_2 положим равным a ; PCO_2 положим равным c . Для поверхностных веществ и парциальных давлений приходим к следующей системе дифференциальных уравнений:

$$\frac{dx}{dt} = 2k_1^+ a(1-x-y)^2 - 2k_1^- x^2 - k_3 xy - k_4 bx, \quad (2)$$

$$\frac{dy}{dt} = k_2^+ b(1-x-y) - 2k_2^- y - k_3 xy,$$

где t – текущее время реакции.

Скорость образования диоксида углерода $\dot{W}(CO_2)$ задаётся таким выражением:

$$\dot{W}(CO_2) = k_3 xy + k_4 bx. \quad (3)$$

Из условия постоянства скорости реакции следуют такие соотношения между величинами a , b , c :

$$\begin{aligned} 2a + c &= 2a_0, \\ b + c &= b_0, \end{aligned} \quad (4)$$

где a_0 , b_0 – значения a и b в начальный момент времени.

С учётом (3) и (4) скорость изменения величины c даётся следующим уравнением:

$$\begin{aligned} \frac{dc}{dt} &= \frac{k_2^+ k_3 b(c)x(1-x)}{k_2^+ b(c) + k_2^- + k_3 x} + k_4 b(c)x, \\ b(c) &= b_0 - c. \end{aligned} \quad (5)$$

Опираясь на стандартное положение о том, что скорости изменений поверхностных веществ значительно больше, чем объёмных. Рассматривая систему уравнений (2), в условиях равновесия, как алгебраическую, исключая

величину y , приходим к следующему алгебраическому уравнению относительно неизвестного x :

$$\begin{aligned} 2k_1^+ a(k_3 x + k_2^-)^2 (1-x)^2 &= k_2^+ k_3 b x (1-x)(k_2^+ b + k_2^- + k_3 x) + \\ &+ x(2k_1^- x + k_4 b)(k_2^+ b + k_2^- + k_3 x) \end{aligned} \quad (6)$$

Это уравнение можно записать в более удобном для анализа виде, явно выделив неизвестное x :

$$x_5 = \frac{2k_1^+ a(k_3 x + k_2^-)^2 \cdot (1-x)^2}{(k_2^+ b + k_2^- + k_3 x)(k_2^+ k_3 b(1-x) + (k_4 b + 2k_1^- x)(k_2^+ b + k_2^- + k_3 x))}. \quad (7)$$

В этом представлении k_i^\pm зависят от температуры T по Аррениусовскому закону [13, 14]. Представление (7) чувствительно к значениям величин k_i^\pm . Значения k_i^\pm определяются на основании экспериментальных данных. На сегодняшний день значения этих величин следующие [13, 14]:

$$\begin{aligned} k_1^+ &= 0,2 \cdot 10^6, \\ k_1^- &= 0,16 \cdot 10^3 e^{\frac{2,1 \cdot 10^5}{8,3T}}, \\ k_2^+ &= 0,45 \cdot 10^6, \\ k_2^- &= 10^3 e^{\frac{1,46 \cdot 10^5}{8,3T}}, \\ k_3 &= 0,40 \cdot 10^4 e^{\frac{4,6 \cdot 10^4}{8,3T}}, \\ k_4 &= 0,45 \cdot 10^6 e^{\frac{4,2 \cdot 10^3}{8,3T}}. \end{aligned} \quad (8)$$

В представлении (7) выражение в квадратных скобках строго положительно, поскольку $|x| \leq 1$. Исходя из справедливости неравенства $k_2^- \gg k_3 x$ в широком диапазоне температур $500^\circ \leq T \leq 2000^\circ K$, представление (7) можно упростить до следующего вида:

$$x_5 = \frac{2k_1^+ a(k_2^-)^2 \cdot (1-x)^2}{(k_2^+ b + k_2^-)(k_2^+ k_3 b(1-x) + (k_4 b + 2k_1^- x)(k_2^+ b + k_2^-))}. \quad (9)$$

В дальнейшем, имея ввиду, практические приложения изучаемой реакции, особый интерес представляет интервал температур в окрестности точки $T = 700^\circ K$. Для этого интервала с полушириной порядка $150^\circ K$

исследование поведения выражения в квадратных скобках, стоящего в знаменателе (9), показывает, что следует оставить выражения $k_2^+(k_3 + 2k_4b)b$ и $xk_2^+(2k_1^- + k_3)b$. В ходе реакции в этом случае, когда величина a взята с избытком, то есть, не равна нулю при $b \rightarrow 0$ слагаемое $2 \cdot k_1^- \cdot k_2^+ \cdot x$ всегда будет доминировать. В противоположном случае, когда $b \neq 0$, $a \rightarrow 0$ слагаемое $2 \cdot k_1^- \cdot k_2^+ \cdot x$ будет очень мало. Для немалых значений величин a_0 и b_0 в указанном выше интервале температур неравенство $k_2^+(k_3 + k_4b)b \gg xk_2^+(2k_1^- - k_3)$ выполняется всегда, кроме случая: $a \neq 0$, $b \rightarrow 0$.

Рассмотрим конечную стадию реакции в случаях: $b \neq 0$, $a \rightarrow 0$ для a_0 , $b_0 \in (1 \div 10)$ и $a \neq 0$, $b \rightarrow 0$ для a_0 , $b_0 \in (0,1)$.

Для случая $b \neq 0$, $a \rightarrow 0$ будет справедливо такое уравнение для x :

$$x = \frac{2k_1^+(k_2^-)^2 x(1-x)^2}{(k_2^+)^2 k_4 b^3}. \quad (10)$$

Обозначив множитель при величине $(1-x)^2$ через $1/R$, приходим к квадратному уравнению, решение которого записывается следующим образом:

$$x = R + 1 \pm \sqrt{(R+1)^2 - 1}. \quad (11)$$

Из (10) видно, что при $R \rightarrow \infty$ величина $x \rightarrow 0$. Поэтому в (11), перед квадратным корнем, следует оставить знак «минус». Для больших значений R выражение для x с точностью до второго порядка по малости величины $1/R$ принимает такой вид:

$$x = \frac{k_1^+(k_2^-)^2 a}{(k_2^+)^2 k_4 b}. \quad (12)$$

В случае $a \neq 0$, $b \rightarrow 0$ будет справедливо следующее уравнение для x :

$$x = \frac{k_1^+}{k_1^-} a(1-x)^2, \quad (13)$$

решение которого записывается в следующем виде:

$$x = \frac{\sqrt{k_1^+/k_1^-} \cdot \sqrt{a}}{1 + \sqrt{k_1^+/k_1^-} \cdot \sqrt{a}}. \quad (14)$$

Вблизи начала реакции, когда $a \approx a_0$ и $b \approx b_0$ выражение для x можно записать следующим образом:

$$x_s = \frac{[2k_1^+(k_2^-)^2 / (k_2^+)^2] k_4 \sqrt{a_0/b_0^3}}{1 + [2k_1^+(k_2^-)^2 / (k_2^+)^2] k_4 \sqrt{a_0/b_0^3}}. \quad (15)$$

Для случая изменения a и b во всём диапазоне $(0, a_0)$ и $(0, b_0)$ кроме ситуации, когда $b \rightarrow 0$ для x оказывается справедливым обобщение выражения (15) такого вида:

$$x_s = \frac{[2k_1^+(k_2^-)^2 / (k_2^+)^2] k_4 \sqrt{a/b_0^3}}{1 + [2k_1^+(k_2^-)^2 / (k_2^+)^2] k_4 \sqrt{a/b_0^3}}. \quad (16)$$

Для получения представления (7) из системы уравнений (2) была исключена переменная y , выражение которой через переменную x имеет следующий вид:

$$y = \frac{k_2^+ b(1-x)}{k_2^+ b + k_2^- + k_3 x}. \quad (17)$$

Строение выражений (14) и (16) таково, что множители, стоящие перед величинами \sqrt{a} и $\sqrt{a/b^3}$ представляют дроби, в числителе и знаменателе которых стоят экспоненты с предэкспоненциальными множителями. Произведения и частные экспонент дают своим результатом экспоненту, в которой в показателе стоят в качестве множителя при величине обратной температуры суммы и разности аналогичных множителей отдельных экспонент – участниц произведений и частных. Учитывая сказанное, для x можно записать такие выражения, вместо выражений (14) и (16):

$$x = \frac{Ae^{B/T} \sqrt{a}}{1 + Ae^{B/T} \sqrt{a}}, \quad (18)$$

$$x_s = \frac{ce^{B/T} \sqrt{a/b^3}}{1 + ce^{B/T} \sqrt{a/b^3}},$$

где A, B, C, D –числовые постоянные, полученные из (8).

На основании этих формул можно записать единое выражение для переменной x , которое обладает чертами предельного поведения (18). Такое выражение можно записать не единственным образом. Простейшим семейством, включающим такое выражение, может быть следующее:

$$x = \frac{Ae^{B/T} \cdot \sqrt{a}}{1 + Ae^{B/T} \cdot \sqrt{a}} \cdot \left(\frac{a}{a+b^n} \right)^m + \frac{ce^{D/T} \cdot \sqrt{a/b^3}}{1 + ce^{D/T} \cdot \sqrt{a/b^3}} \cdot \left(\frac{b^n}{a+b^n} \right)^m. \quad (19)$$

где m, n – постоянные, подлежащие доопределению с помощью процедуры идентификации по экспериментальным данным.

Выражение (19), подставив в уравнение (5) для переменной c , с использованием соотношений (4), получаем нелинейное дифференциальное уравнение первого порядка с двумя постоянными параметрами m, n

Выводы. Совокупность (4), (5), (19) представляет собой модель химической кинетики для переменной c (а также a и b) как функции времени и температуры. Переменная c представляет концентрацию диоксида углерода в газовой смеси, который возникает в результате химической реакции на поверхности катализатора. Сами поверхностные концентрации x и y в модель входят неявно. След от поверхностной реакции сосредоточен в величинах A, B, C, D , которые сформированы константами скорости k_i^\pm .

Выбор интервала температур подиктован стремлением использовать предлагаемую модель для описания процесса доокисления в каталитических условиях монооксида углерода, возникающего в результате сжигания углеводородного топлива в автомобильных двигателях.

Для того чтобы исключить из модели время t и заменить его координатой l с размерностью длины, следует использовать в качестве базовой скорости движения газовой смеси U . Соответствующая замена имеет такой вид:

$$\partial l = U \partial t. \quad (20)$$

где ∂l – элемент длины в направлении движения газовой смеси,
 t – время реакции.

Как известно, поверхностные каталитические реакции сопровождаются выделением или поглощением тепла. Если тепло выделяется, то реакция выступает в роли источника тепла, а если тепло поглощается – то стока. Это тепло изменяет температуру реакции, которая входит в выражение (18), тем самым, моделируя темп реакции. Количество выделяемого или поглощаемого тепла зависит от удельной теплоты реакции и пропорционально скорости производства диоксида углерода [5]. Таким образом, модель кинетики позволяет замкнуть уравнения переноса массы, импульса и тепла для реакции

замещения монооксида углерода диоксидом углерода в движущейся газовой смеси. Соответствующие слагаемые имеют такие выражения – для уравнения массы, для уравнения импульса, для уравнения тепла:

$$U \frac{\partial c}{\partial l}, \quad (21)$$

$$U \frac{\partial c}{\partial l} U_{\perp}, \quad (22)$$

$$U \frac{\partial c}{\partial l} r, \quad (23)$$

где U_{\perp} – скорость поступления диоксида углерода в газовый поток.

Выражение (21) следует брать из уравнения (5), а время t следует заменить на координату l , по правилу приведенному выше.

Заключение. Уравнения и соотношения (5), (18), (19) в совокупности представляют собой модель химической кинетики конверсии газовой смеси как функции времени и температуры. Предложенная модель является моделью первого уровня описания, привязанного к каталитической поверхности. Величины, которые в модели первого уровня описания являются внешними (экзогенными) параметрами должны определяться в модели второго уровня описания.

Список литературы: 1. Koop J. Detailed surface reaction mechanism for Pt-catalyzed abatement of automotive exhaust gases / J. Koop., O. Deutschmann // *Applied Catalysis B: Environmental*. – 2009. – № 91. – P. 47–58. 2. Chatterjee D. Current status of modeling lean exhaust gas aftertreatment catalysts / D Chatterjee, M. Weibel [at al.] // *Advances in Chemical Engineering*. – 2008. – № 33. – p. 104–123. 3. Маршинева В. И. Исследование реакции окисления окиси углерода кислородом на платиновых катализаторах / В. И. Маршинева, Г. К. Боресков, Г. С. Яблонский, В. Ф. Ким // *Кинетика и катализ*. – 1984. – Т. 25, № 3. – С. 662–669. 4. Маршинева В. И. Исследование автоколебаний скорости в реакции окисления окиси углерода на нанесенной на силикагель платине / В. И. Маршинева., Г. К. Боресков // *Кинетика и катализ*. – 1984. – Т. 25, № 4. – С. 875–883. 5. Быков В. И. Область множественности стационарных состояний в реакции окисления СО на Pt / В. И. Быков, Ю. Г. Зархин, Г. С. Яблонский // *Теоретическая и экспериментальная химия*. – 1980. – Т. 16, № 4. – С. 487–491. 6. Яблонский Г. С. Анализ стационарных режимов реакции окисления СО на Pt / Г. С. Яблонский, В. И. Быков, М. Г. Слинько, Ю. И. Кузнецов // *Доклады академии наук СССР*. – 1976. – Т. 229, № 4. – С. 917–919. 7. Быков В. И. Динамика реакции окисления окиси углерода на платине / В. И. Быков, Г. С. Яблонский, М. Г. Слинько // *Доклады Академии наук СССР*. – 1976. – Т. 229, № 4. – С. 1356–1359. 8. Елохин В. И. Некоторые вопросы динамики реакции окисления СО на платиновых катализаторах / В. И. Елохин, В. И. Быков, М. Г. Слинько, Г. С. Яблонский // *Доклады Академии наук СССР*. – 1976. – Т. 238, № 4. – С. 615–618. 9. Иванов В. П. Кинетическая модель реакции окисления СО на металлах платиновой группы / В. П. Иванов, В. И. Елохин, Г. С. Яблонский [и др.] // *Кинетика и катализ*. – 1981. – Т. 22, № 4. – С. 1040–1047. 10. Яблонский Г. С. Кинетика модельных реакций гетерогенного катализа / Г. С. Яблонский., В. И. Быков, В. И. Елохин – М. : Наука, 1984. – 224 с. 11. Быков В. И. Моделирование критических явлений в химической кинетике / В. И. Быков. – М. : Наука, 1988. – 263 с. 12. Быков В. И. Моделирование критических явлений в химической кинетике / В. И. Быков

– М. : Наука, 1988. – 263 с. **13. Киперман С. Л.** Основы химической кинетики в гетерогенном катализе / С. Л. Киперман. – М. : Химия, 1979. – 352 с. **14. Померанцев В. В.** Основы практической теории горения / В. В. Померанцев. – Л. : Энергоатом издат, 1986. – 312 с.

Надійшла до редколегії 11.11.2010

УДК 518.5

О. В. ТОНЦА, канд. фіз.-мат. наук, доцент, НТУ «ХП»;
І. В. ЄРЕМЕНКО, інженер-програміст ТОВ «Nix Solutions», м. Харків

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ АНАЛІЗУ БЕЗПЕКИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

В статті розглядаються конструктивні методи і алгоритми комп'ютерного і математичного моделювання систем аналізу безпеки, які засновані на побудові та аналізі дерева відмов. Запропонований підхід дозволяє виконувати моделювання ризику аварій на основі структурно-логічної схеми виробничого процесу при будь-яких видах завдання ризику збоїв на кожному етапі виробничого процесу.

В статье рассматриваются конструктивные методы и алгоритмы компьютерного и математического моделирования систем анализа безопасности, основанные на построении и анализе дерева отказов. Предложенный подход позволяет выполнять моделирование риска аварий на основе структурно-логической схемы производственного процесса при любых видах задания риска сбоев на каждом этапе производственного процесса.

In the article structural methods and algorithms are examined computer and mathematical designs of the systems of analysis of safety, based on a construction and analysis of tree of refuses. Offered approach allows to execute the design of risk of failures on the basis of structural-logical chart of production process at any types of task of risk of failures on every stage of production process.

Вступ. З огляду на стан сучасної промисловості проведення аналізу безпеки та оцінки ризику техногенних аварій є пріоритетним напрямком для розвитку усієї галузі. Більшість обладнання та споруд – це спадщина радянських часів, яка вже відновила свій «вік» і знаходиться в аварійному стані. Але разом змінити ліву частину виробничої бази навряд є реалістичним та економічно обґрунтованим. Тому процес реорганізації та переоснащення виробництва протікає поступово. Це означає постійний контакт працівників із небезпечними об'єктами та підвищену імовірність виникнення позаштатних ситуацій. До того в Україні розвинуті галузі з підвищеними ризиками: металургійна, коксова, хімічна та інші. Все це спонукає до розроблення систем аналізу безпеки підприємств, які б відповідали сучасним вимогам надійності та продуктивності.

Темпи наукового прогресу дозволяють швидко розвивати методи моделювання та аналізу складних систем, а енергійний розвиток цифрової обчислювальної техніки дозволяє реалізувати ці методи у вигляді автоматизованих систем. У автоматизованих системах управління технологічними процесами і системах протиаварійного автоматичного захисту стало можливим вирішення складних завдань розрахунку, аналізу і прогнозування аварійних ситуацій, моделювання технологічних процесів і отримання багатоваріантних рішень.

Число елементів і параметрів технологічної установки, здатних в тій чи іншій мірі вплинути на виникнення і розвиток аварійної ситуації, залежно від складності процесу може досягати десятків і сотень. У складних системах відмови окремих елементів не завжди приводять до відмови всієї системи, крім того, у складних систем є цілий спектр станів – динамічна рівновага, порушення рівноваги, адаптація до несприятливих ситуацій, небезпечні і критичні ситуації і, нарешті, аварії. У зв'язку з цим аналіз ризику подібних технологічних систем – це достатньо складне завдання, що вимагає знань технології, особливостей елементів системи і взаємозв'язку їх між собою. Розробка, адаптація до умов різних галузей промисловості і подальший розвиток методів кількісної оцінки безпеки і аналізу поточного ризику при функціонуванні промислових установок і об'єктів – все це входить в обов'язки експерта з аналізу ризику. Зрозуміло, що без ефективних засобів аналізу складних систем навіть кращий спеціаліст не в змозі розв'язати поставлене завдання.

Визначення ризику технологічного процесу належним чином не вирішується і, як правило, підміняється на етапі проектування якісним аналізом надійності системи і можливих наслідків аварій. Тому розробка методів кількісної оцінки безпеки і аналізу ризику для промислових установок і об'єктів є в даний час актуальною проблемою.

Математична постановка задачі. Задача, що розглядається в статті, формулюється таким чином: є набір зв'язаних об'єктів, які узагальнено представляють крупніший об'єкт (досліджуваний промисловий об'єкт). Ці об'єкти представляються у вигляді дерева, де кожна вершина є подією. Основною характеристикою кожної події є вірогідність відмови (для відомих елементів). Вірогідність може бути у виді константи, задана таблицею або функцією (можливе комбінування). Різні події можуть бути зв'язані операціями кон'юнкції або диз'юнкції. Необхідно програмно знайти «вузькі місця» системи, тобто знайти найбільш вірогідні події (і параметри системи, що приводять до настання цих подій) та програмно побудувати спрощене дерево відмов.

Математична модель і методи розв'язання задачі. У дослідженні безпеки широкого поширення набули діаграми впливу структури, що гілкується, звані «деревом» подій (відмов). Деревом подій називають не орієнтований граф, що не має циклів, є кінцевим і зв'язним. У нім кожна пара

вершин має бути зв'язаною (сполученим ланцюгом), проте всі з'єднання не повинні утворювати петель (циклів), тобто містити такі маршрути, вершини яких одночасно є початком одних і кінцем інших ланцюгів [2].

Структура дерева подій зазвичай включає одне, розміщена зверху небажана подія – подія (аварія, нещасний випадок, катастрофа), яка з'єднується з набором відповідних подій, – передумов (помилки, відмов, несприятливих зовнішніх дій), створюючи певні їх ланцюги або «гілки». «Листям» на гілках дерева подій служать передумови – ініціатори причинних ланцюгів, що розглядаються як аксіоматичні висхідні події, подальша деталізація яких не доцільна. Як вузли дерева подій можуть використовуватися як окремі події або стани, так і логічні умови їх об'єднання (складання або перемножування).

Побудова дерева відмов. При побудові дерева відмов використовують стандартні символи булевої алгебри та додаткові схеми [1, с. 77]. Виділяють п'ять типів вершин дерева відмов: вершини, що відображують первинні відмови; вершини, що відображують результуючі або вторинні відмови; вершини, що відображують локальні відмови, які не впливають на виникнення інших відмов; вершини, відповідні операції логічного об'єднання випадкових подій (типа «АБО»); вершини, відповідні операції логічного твору випадкових подій (типа «І»).

Побудова дерева відмов передбачає виконання наступних процедур:

- визначення меж системи,
- побудова дерева несправностей,
- якісна оцінка,
- кількісна оцінка.

Основною метою побудови дерева несправностей є символічне представлення умов, що існують в системі, здатних викликати її відмову. Крім того, побудоване дерево дозволяє показати в явному вигляді слабкі місця системи і є наочним засобом уявлення і обґрунтування схвалюваних рішень, а також засобом дослідження компромісних співвідношень або встановлення ступеня відповідності конструкції системи заданим вимогам.

Однією з основних переваг дерев відмов є те, що аналіз обмежується виявленням тільки тих елементів систем і подій, які приводять до відмови або аварії. Щоб визначити вірогідність відмови, необхідно знайти аварійні поєднання, для чого необхідно провести якісний і кількісний аналіз дерева відмов. Структура «дерева відмови» включає одну головну подію (аварію, інцидент), яка з'єднується з набором відповідних нижчестоящих подій (помилки, відмов, несприятливих зовнішніх дій), створюючи причинні ланцюги.

Аналіз дерева відмов. Аналіз дерева відмов полягає у визначенні умов, мінімально необхідних та достатніх для виникнення головної події [3]. Цей процес полягає у використанні якісної та кількісної оцінки дерева відмов.

Якісний аналіз ґрунтується на використанні так званих мінімальних перетинів дерева несправностей. Перетин визначається як безліч елементарних подій, що приводять до небажаного результату. Виявлення мінімальних перетинів потребує великих затрат часу та складний машинний алгоритм [1, с. 89], але значно спрощує дерево відмов для сприйняття людиною. Також потрібно спростити вирази з подіями, що повторюються, використовуючи властивості булевої алгебри, інакше будуть отримані помилкові кількісні оцінки [1, с. 93].

Кількісна оцінка дерева здійснюється за допомогою статичного моделювання або аналітичним методом [1].

Програмна реалізація. Запропонований підхід може бути реалізований як шаблон для моделювання спрощеної системи безпеки будь-яких об'єктів у вигляді динамічного дерева відмов. Це твердження підтверджує реалізоване програмне забезпечення (ПЗ). Програма як вхідні дані приймає безліч усіх первинних подій, які складають повну множину передумов головної події і розбиває цю множину на декілька груп так, щоб всі події в групі могли виконуватися одночасно, не створюючи конфліктів. ПЗ має зв'язати з кожною подією відповідну імовірнісну характеристику, чи то константну, чи імовірнісну залежність; мінімізувати число подій, що повторюються, початкової безлічі подій, оскільки при цьому мінімізується кількість вузлів у дереві відмов які треба обробляти. На виході програма видає імовірнісну оцінку появи головної події, тобто проаналізує всі ланцюги дерева відмов за допомогою інструментів теорії вірогідності. ПЗ було розроблено на платформі .NET на базі операційної системи Windows.

В основі розробки ПЗ лежить математична модель дерева. Дерево – це сукупність елементів, званих вузлами (один з яких визначається як корінь), і стосунків («батьківських»), створюючи ієрархічну структуру вузлів. Вузли можуть бути елементами будь-якого типу. Формально дерево за допомогою рекурсії можна визначити таким чином:

- Один вузол є деревом. Цей же вузол також є коренем цього дерева.
- Нехай N – це вузол, а T_1, T_2, \dots, T_k – дерева з корінням N_1, N_2, \dots, N_k відповідно. Можна побудувати нове дерево, зробивши N батьком вузлів N_1, N_2, \dots, N_k . У цьому дереві N буде коренем, а T_1, T_1, \dots, T_k – піддеревами цього кореня. Вузли N_1, N_2, \dots, N_k називаються синами вузла N .

Дерево представлено за допомогою масивів. Тобто, якщо T – дерево з вузлами $1, 2, \dots, n$, то представленням дерева T буде лінійний масив A , де кожен елемент $A[i]$ є покажчиком або курсором на батька вузла i , а корінь дерева T відрізняється від інших вузлів тим, що має нульовий покажчик або покажчик на самого себе як на батька. Дане уявлення використовує властивість дерев, що кожен вузол, відмінний від кореня, має тільки одного батька. Використовуючи це уявлення, батька будь-якого вузла можна знайти за фіксований час. Проходження по будь-якому шляху, тобто перехід по

вузлах від батька до батька, можна виконати за час, пропорційний кількості вузлів шляху.

Створення дерева ґрунтується на розбитті його на піддерева з не більш ніж двома ієрархічними рівнями. Кожне піддерево оброблюється окремо, починаючи з первинних вузлів, а потім поступово об'єднуються результати, крокуючи до головного вузла (події). Тобто реалізується метод декомпозиції.

Розроблена програма є ефективною, бо її структура є такою, що дії оператора настільки повільні порівняно з виконанням інструкцій програми, що користувач не помічає затримок.

Експериментальні дослідження. Для перевірки розробленої системи розглянемо систему електропостачання (СЕС) кільцевої структури, яка містить 15 елементів: 3 генератори однакової потужності (1, 2, 3); 3 головних розподільних щитів ГРЩ (4, 6, 9); 3 перемички (5, 7, 8); 6 вторинних розподільних щитів ВРЩ (10, 11, 12, 13, 14, 15).

Система призначена для забезпечення безперебійного живлення одночасно трьох груп споживачів (П1, П2, П3). Потужності кожного генератора вистачає для забезпечення роботи всіх споживачів. Немає ніяких обмежень по пропускній здатності ні ГРЩ, ні перемичок між ними. Граф-схема системи електропостачання представлена на рис. 1.

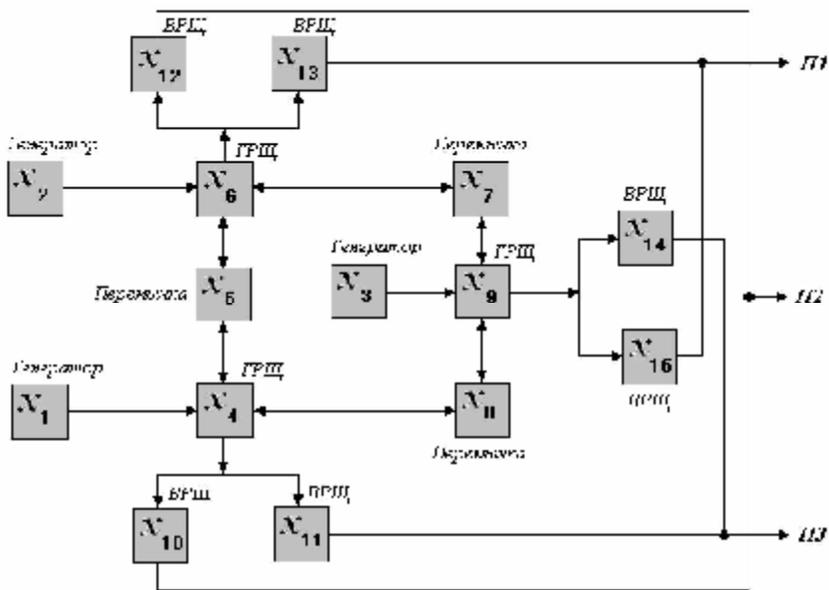


Рис. 1 – Функціональна граф-схема системи електропостачання

Розроблене ПЗ дозволяє моделювати цільову систему за допомогою графічного інтерфейсу. Частина змодельованої системи у вікні розробленої програми показана на рис. 2. Також програма дозволяє побудувати безліч графіків по дослідженню системи, наприклад залежність між вірогідністю справності окремого елемента та всієї системи.

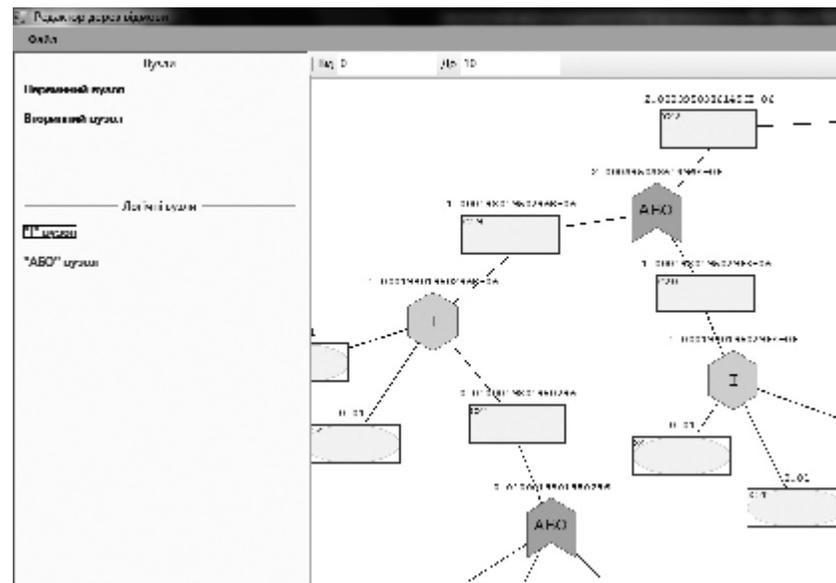


Рис. 2 – Частина дерева відмов для розглянутої системи електропостачання у вікні розробленої програми

Висновки. Запропонований підхід та розроблене ПЗ дозволяє виконувати моделювання ризику аварій на основі структурно-логічної схеми виробничого процесу при будь-яких видах завдання ризику збоїв на кожному етапі виробничого процесу.

Список літератури: 1. Ветошкин А. Г. Надійність технічних систем и техногенный риск / А. Г. Ветошкин. – Пенза: ПГУАиС, 2003. – С. 74–98. 2. Швыряев Ю. В. Вероятностный анализ безопасности атомных станций. Методика выполнения / Ю. В. Швыряев. – М.: ИАЭ им. И. В. Курчатова, 1992. – С. 43–111. 3. Белов П. Г. Теоретические основы системной инженерии безопасности / П. Г. Белов. – Киев: КМУГА, 1997. – 426 с.

Надійшла до редколегії 05.11.2010

В. Б. УСПЕНСКИЙ, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ»
А. Д. АСЮТИН, аспирант НТУ «ХПИ»

НАСТРОЙКА ФИЛЬТРА КАЛМАНА В ЗАДАЧЕ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ В ИНТЕГРИРОВАННОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

Наведено результати дослідження початкового налаштування фільтра Калмана в інтегрованій інерційно-спутникової навігаційній системі. Проаналізовано особливості застосування апарату фільтрації в задачі комплексування інформації в ІІСНС. Отримано залежності ряду параметрів, що характеризують ефективність функціонування фільтра від початкової установки матриць інтенсивностей вхідних шумів системи й початкових значень матриці коваріацій.

Приведены результаты исследования настройки фильтра Калмана на примере интегрированной инерциально-спутниковой навигационной системы. Получены зависимости параметров, характеризующих эффективность функционирования фильтра, от расстройки матриц интенсивностей входных и измерительных шумов системы и начальных значений матрицы ковариации относительно их теоретического значения. Сформированы рекомендации по рациональной настройке фильтра.

Results of research of initial adjustment of Kalman filter in the integrated inertial-satellite navigating system are resulted. Features of application of the device of a filtration in a complexing problem information in IISNS are analyzed. Dependences of some the parameters characterizing efficiency of functioning of the filter from initial value of a covariance matrix of entrance noise of system and initial value of a covariance matrix are received.

Введение. В современных интегрированных инерциально-спутниковых навигационных системах (ИИСНС) для комплексирования информации используется аппарат фильтрации, в частности, алгоритмы обобщенного фильтра Калмана [1]. Существенным элементом фильтра Калмана (ФК) являются матрицы интенсивности входных и измерительных шумов, а также начальное значение ковариационной матрицы ошибок, которые непосредственно участвуют в формировании оценок вектора состояния системы по внешним измерениям.

Известно [2], что для линейных систем при заданных характеристиках входного и измерительного шума, полагаемого белым гауссовским с нулевым средним, фильтр Калмана является оптимальным по критерию минимума дисперсии ошибок оценивания. В реальных системах, в частности в ИИСНС, невозможно точно оценить характеристики фактических случайных воздействий. Поэтому на практике в алгоритме фильтра приходится использовать некоторые эвристические оценки интенсивности входных и измерительных шумов, в общем случае отличающиеся от фактических.

Цель. Целью данной статьи является анализ влияния неточного знания статистических характеристик шумов на работоспособность и эффективность

использования фильтра Калмана в программно-математическом обеспечении ИИСНС и выработка рекомендаций по заданию указанных параметров.

Применение фильтра Калмана для коррекции вектора состояния в ИИСНС имеет следующие особенности:

- линейная модель динамического процесса получается путем линеаризации исходных нелинейных соотношений и по этой причине является приближенной;
- получаемая линеаризованная модель является нестационарной и существенно зависит от движения, совершаемого объектом;
- шумы не являются гауссовскими белыми и их статистические характеристики известны неточно.

Математическая модель. Рассмотрим упрощенную модель ошибок инерциальной навигации в горизонтальной плоскости, возмущенную только случайными составляющими ошибок измерений:

$$\begin{cases} \Delta v = -\Delta\alpha \cdot g + \xi_a, \\ \Delta\alpha = \frac{\Delta v}{R} + \xi_\omega; \end{cases} \quad (1)$$

где Δv и $\Delta\alpha$ - ошибки определения линейной скорости и угла отклонения от вертикали, ненулевые в начальный момент времени; ξ_a , ξ_ω - шумовая ошибка измерений ускорения и угловой скорости с помощью гироскопа и акселерометра, интенсивность которой задается диагональной матрицей $Q'(2 \times 2)$.

В качестве внешнего измерения примем ошибку линейной скорости с аддитивным шумом $z = \Delta v + \eta$, интенсивность которого R . Задача фильтрации в этих условиях состоит в получении наилучшей неслучайной оценки стохастических переменных Δv и $\Delta\alpha$ с учетом измерения z .

Воспользуемся дискретной формой описания динамического процесса. Полная линеаризованная модель ошибок инерциальной навигации в общем случае является нестационарной, поэтому соответствующие матрицы системы будем считать зависящими от вектора навигационных параметров x , для которого определена рекуррентная зависимость $x_{k+1} = f(x_k, \xi_k, a_k, \Delta t)$, где f – вектор-функция, соответствующая алгоритму «идеальной работы» бесплатформенной инерциальной навигационной системы [4]. С учетом сказанного

$$\delta x_{k+1} = \Phi(x_k, \Delta t) \delta x_k + \Gamma(x_k) \xi_k, \quad (2)$$

где Δt – шаг дискретизации, $\delta x = \text{col}\{\delta\alpha, \delta v\}$ – вектор ошибок, ξ_k – вектор случайных ошибок измерений инерциальных датчиков с матрицей дисперсий $Q = \Delta t \cdot Q^I$, $\Phi = df/dx$, $\Gamma = df/d\xi$ – матрицы линеаризации.

Далее будем различать *истинные* значения матрицы Q и параметра R , соответствующие фактическим характеристикам шумов, и их *оценочные* значения Q^* , R^* , используемые в алгоритме фильтра Калмана.

Алгоритм фильтра Калмана для динамической модели (2) состоит в процедуре последовательного вычисления по формулам (для удобства аргументы матриц):

$$\begin{aligned} \delta x_{k+1}^- &= \Phi \times \delta x_k^+, \\ P_{k+1}^- &= \Phi \times P_k^{+T} \times \Phi^T + \Gamma \times Q^* \times \Gamma^T, \\ K &= P_{k+1}^- \mathbf{H}^T (\mathbf{H} P_{k+1}^- \mathbf{H}^T + R^*)^{-1}, \\ \delta x_{k+1}^+ &= \delta x_{k+1}^- + K(z_{k+1} - \mathbf{H} \delta x_{k+1}^-), \\ P_{k+1}^+ &= (E - \mathbf{K} \mathbf{H}) P_{k+1}^-; \end{aligned} \quad (3)$$

где \mathbf{H} – матрица измерений;

δx_{k+1}^- – априорное значение вектора состояния, вычисленное на основе линеаризованной динамической модели системы без учета случайных воздействий;

P_{k+1}^- – априорное значение ковариационной матрицы ошибок оценивания вектора состояния;

K – коэффициент усиления ФК;

δx_{k+1}^+ – апостериорное значение вектора состояния, вычисленное с учетом коррекции от внешних измерений;

P_{k+1}^+ – апостериорное значение матрицы ошибок оценивания.

Известно, что необходимым условием эффективной работы ФК является адекватность используемой в нем модели шумов. При этом должно выполняться в статистическом смысле следующее условие: фактическая ошибка оценивания (отклонение полученного в результате оценивания вектора состояния от его реального значения) с вероятностью 0.95 не должна превосходить удвоенное значение оценки среднеквадратического отклонения, получаемой в ковариационном блоке фильтра, состоящем из второго, третьего и пятого выражений в (3). Если сформулированное условие выполняется, можно говорить о целостности внутренней структуры фильтра и, соответственно, его эффективной работе.

На основании сказанного для оценки целостности фильтра на одной реализации динамического процесса введем характеристику $K_{2\sigma}$, суть

которой – доля времени от общей продолжительности работы алгоритма, когда фактические ошибки оценивания вектора состояния не превышают удвоенное среднеквадратическое отклонение (СКО), вычисляемое в ковариационном блоке. Для статистической устойчивости введенной характеристики необходимо, чтобы общая продолжительность работы алгоритма была достаточно большой. Вторым показателем эффективности работы фильтра в составе ПМО является установившееся значение оценочного СКО σ^* , характеризующее предельно возможную точность оценивания. Проведем исследование влияния так называемой настройки фильтра на характеристики $K_{2\sigma}$ и σ^* , определяющие эффективность работы алгоритма фильтрации.

К настройке фильтра относится выбор *матриц интенсивностей* входных и измерительных шумов, а также начальное задание *матрицы ковариаций* P , используемых в алгоритме фильтрации. В идеальном случае диагональные элементы матриц Q и R равны дисперсиям фактических шумов, а начальное значение матрицы P связывается с интервалами неопределенности задаваемого начального значения вектора состояния.

Статистические характеристики шумов в реальной системе всегда известны с некоторой неопределенностью, при этом можно лишь утверждать, что их реализации гарантированно принадлежат некоторому интервалу. Установим, как влияет на эффективность работы фильтра занижение и завышение значений Q^* , R^* и P_0^* относительно их фактических значений.

Исследование проведено с помощью моделирования работы ФК для системы (1).

Моделирование. В ходе моделирования произведено 100 запусков алгоритма фильтрации продолжительностью по 20000 с каждый. В каждом запуске воспроизводились одни и те же шумы ξ_{ω} и ξ_a , при этом значение матрицы Q^* в данном запуске отличалось от значения, использованного в предыдущем запуске, на $0.02Q$. Таким образом во всей серии экспериментов матрица Q^* менялась в диапазоне от нулевого до удвоенной величины истинной матрицы Q . Работа фильтра в каждом запуске оценивалась двумя параметрами: параметром адекватности $K_{2\sigma}$ и установившимся значением СКО ошибок на момент окончания процесса фильтрации.

Полученные зависимости указанных параметров для различных переменных вектора состояния системы (1) приведены на рис.1, 2 (моделирование проводилось при точном значении матрицы R).

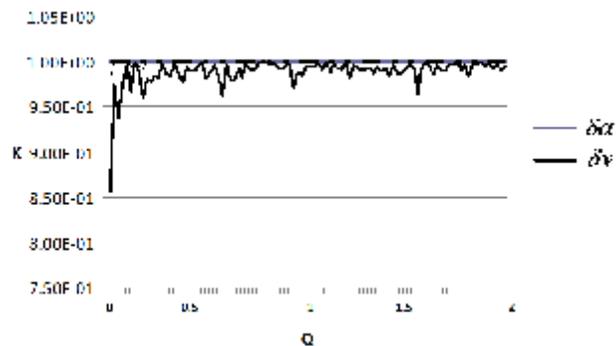


Рис. 1 – Зависимость параметров адекватности от оценочной матрицы Q^*

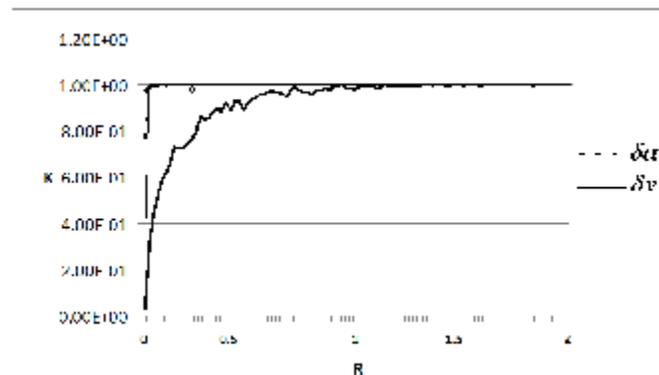


Рис. 3 – Зависимость параметра адекватности от значения матрицы R^*

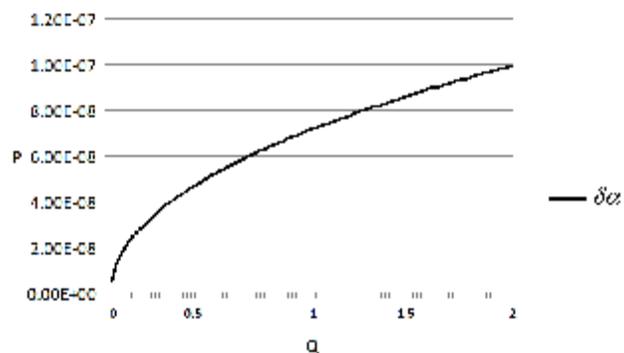


Рис. 2 – Зависимость установившегося СКО da от значения оценочной матрицы Q^*

Как видно, установившееся значение СКО при увеличении оценочной матрицы Q^* возрастает. При этом параметр адекватности при любых значениях, кроме близких к нулю, остается на уровне 0.95 – 0.97, что является удовлетворительным результатом.

При аналогичном варьировании значения параметра R^* в диапазоне от нулевого (близкого к нулю) до удвоенного истинного значения были получены результаты, представленные на рис. 3, 4 (моделирование проводилось при точном значении матрицы Q).

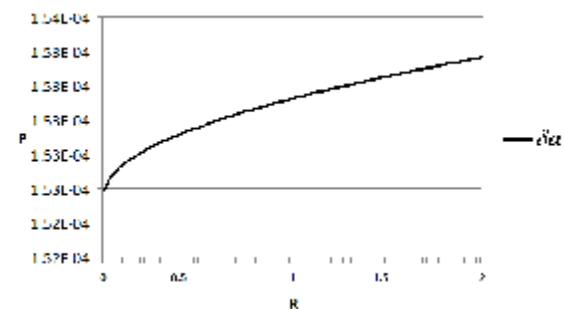


Рис. 4 – Зависимость СКО Δa от значения матрицы R^*

Таким образом, в условиях, когда точная информация о характеристиках входных и измерительных шумов для системы (1) отсутствует, матрицу интенсивностей входных шумов Q^* без потери адекватности фильтра целесообразно «занизить» относительно ожидаемого истинного значения, а матрицу R^* завязать относительно ее истинного значений. При этом, поскольку завышение матрицы R^* приводит к увеличению СКО остаточной погрешности, оно не должно быть чрезмерным.

Что касается влияния на эффективность работы алгоритма фильтрации матрицы P_0^* , задаваемой на основании априорного представления об интервале неопределенности начального значения вектора состояния системы, то установлено следующее:

- при большом времени моделирования начальное значение матрицы P_0^* практически не оказывает влияния на конечную эффективность фильтрации;
- на начальном участке фильтрации занижение матрицы P_0^* негативно сказывается на целостности фильтра: фактическое значение ошибки превышает оценочное СКО, что приводит к замедлению сходимости оценки и потере оптимального качества фильтрации.

Отмеченные закономерности поведения фильтра в зависимости от его настроек полностью подтверждаются при использовании полной нестационарной линеаризованной модели ошибок инерциальной навигации, включающей ошибки определения угловой ориентации объекта, скорости и координат.

Выводы. Таким образом, в результате проведенного исследования установлено, что матрицу интенсивностей входного измерительного шума лучше занижить по отношению к ее истинному неизвестному значению, так как это не ведет к потере адекватности и уменьшает оценочное СКО. Исходя из тех же соображений, матрицу интенсивности шумов внешних измерений лучше завязать, однако следует делать это умеренно, так как с увеличением матрицы наблюдается рост асимптотической погрешности оценивания. При задании матрицы P_0^* целесообразно завязать ее значение относительно теоретически оптимального, но, как правило, неизвестного на практике значения. Высказанные рекомендации могут быть полезны при проектировании программно-математического обеспечения не только интегрированных навигационных систем, но и других информационных систем реального времени с избыточной информацией.

Список литературы: 1. X Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. – СПб. : ГНЦ РФ-ЦНИИ «Электронприбор». – 2003. – 306 с. 2. Красовский А. А. Справочник по теории автоматического управления / А. А. Красовский. – М. : Наука, 1987. – 712 с. 3. Дмитриев С. П. Исследование способов комплексирования данных при построении инерциально-спутниковых систем / С. П. Дмитриев, О. А. Степанов // Сборник статей Интегрированные инерциально-спутниковые системы навигации. – СПб: ГНЦ РФ-ЦНИИ «Электронприбор». – 2001. – 235 с. 4. Бромберг П. В. Теория инерциальных систем навигации / П. В. Бромберг // М. : Наука, 1979. – 294 с. 5. Фомичёв А. А. Комплексирование информации в интегрированной навигационной системе при неполном рабочем созвездии спутников / А. А. Фомичёв, В. Б. Успенский // Гироскопия и навигация. – 2007. – № 1. – с. 3–17.

Надійшла до редколегії 12.11.2010

УДК 621.311.24

В. Б. УСПЕНСКИЙ, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ»;
А. В. ГУДЗЕНКО, асп. НТУ «ХПИ»

АЛГОРИТМ СОГЛАСОВАНИЯ ОЦЕНОК КУРСА, ПОЛУЧЕННЫХ ОТ ТРЕХ НЕЗАВИСИМЫХ СИСТЕМ ГИРОСКОПОВ

Розглянуто задачу перетворення трьох незалежних вимірів деякого незмінного параметра, кожен з яких має відомий інтервал невизначеності, в набір узгоджених оцінок, точніших за вихідні виміри за критерієм гарантованої точності.

Рассмотрена задача преобразования трех независимых измерений некоторого неизменяемого параметра, каждый из которых имеет известный интервал неопределенности, в набор согласованных оценок, точнее, чем исходные измерения по критерию гарантированной точности.

It was analyzed the sum of transformation of the three independent instrumentations of some invariable parameter. Each of them has well-known interval of undistinctness in set of concerted estimations.

Введение. В настоящее время широкое применение находят измерительные системы с избыточным числом датчиков различной точности. Используя априорную информацию о точности таких датчиков и собственно независимые измерения, возможно получить согласованные оценки измеряемой величины, имеющие меньшую погрешность, чем исходные измерения.

В статье рассмотрен алгоритм уточнения разноточных измерений, полученных от трех независимых источников, построенный с использованием доверительных интервалов и метода вложенных отрезков. Алгоритм излагается на примере согласования оценок курса, полученных на этапе выставки трех бесплатформенных навигационных систем, построенных на основе оптических (лазерных или волоконно-оптических) гироскопов.

В этих условиях при гироскопировании – процедуре определения угла курса по измерениям угловой скорости вращения Земли, из-за систематических дрейфов гироскопов неизбежно возникает ошибка курсоопределения. Величина такой ошибки зависит, в частности, от величин реализованных в запуске дрейфов. В условиях неопределенности относительно истинного курса и реализованных дрейфов можно вычислить только гарантированную оценку точности курсоопределения в зависимости от величины доверительного интервала систематических дрейфов.

Данная работа является развитием методики согласования оценок курса, полученных независимо двумя системами в результате гироскопирования, для случая трех систем. Изложенные здесь результаты опираются на [1]. В основу согласования независимых оценок курса положены следующие соображения:

1. Гарантированная оценка точности курсоопределения для всех систем после согласования оценок в общем случае должна быть выше, чем для независимых оценок;
2. Максимальный «разброс» согласованных оценок в общем случае должен быть меньше, чем для независимых оценок;
3. Согласованные оценки для разных систем в общем случае должны различаться.

В статье описаны методика и алгоритм согласования независимых оценок курса от трех систем. Дан пример численной реализации. Рассмотрим задачу согласования оценок угла курса, независимо сформированных тремя системами в результате гирокомпасирования.

Постановка задачи. Пусть имеются три независимые оценки $\psi_1^o \leq \psi_2^o \leq \psi_3^o$ истинного значения угла курса ψ^* , полученные по измерениям трех пар гироскопов с попарно параллельными осями чувствительности. При этом для гироскопов i пары ($i=1,2,3$) интервалы неопределенности систематических дрейфов определяется величинами $\Delta\omega_{x\max i}, \Delta\omega_{z\max i}$.

В этом случае максимально возможные отклонения оценок ψ_1^o, ψ_2^o и ψ_3^o от истинного значения угла курса соответственно составляют величины [1]

$$\delta\psi_i^o = \frac{\sqrt{\Delta\omega_{x\max i}^2 + \Delta\omega_{z\max i}^2}}{\Omega \cos \varphi}, \quad i = 1, 2, 3,$$

где Ω – угловая скорость вращения Земли;
 φ – широта места выставки.

Следовательно, истинное значение курса одновременно удовлетворяет условиям $\psi^* \in [\psi_i^o - \delta\psi_i^o, \psi_i^o + \delta\psi_i^o]$, $i=1,2,3$, что равносильно $\psi^* \in \Psi = \Psi_1 \cap \Psi_2 \cap \Psi_3$, в котором Ψ_i отрезки $[\psi_i^o - \delta\psi_i^o, \psi_i^o + \delta\psi_i^o]$, $i=1,2,3$ соответственно.

Очевидно, что нижнюю и верхнюю границы интервала неопределенности истинного курса – отрезка $\Psi = [\psi^-, \psi^+]$, с учетом трех его оценок можно определить как:

$$\psi^- = \max\{\psi_1^o - \delta\psi_1^o, \psi_2^o - \delta\psi_2^o, \psi_3^o - \delta\psi_3^o\},$$

$$\psi^+ = \min\{\psi_1^o + \delta\psi_1^o, \psi_2^o + \delta\psi_2^o, \psi_3^o + \delta\psi_3^o\}.$$

Длина такого интервала неопределенности $\Delta\psi = \psi^+ - \psi^-$.

Как показано ранее [1], в случае согласования двух оценок их разброс в общем случае уменьшается, а гарантированная точность курсоопределения

увеличивается. Очевидно, что учет третьей независимой оценки в общем случае не увеличивает интервал неопределенности истинного курса, вычисленный для двух оценок.

Интервалы неопределенности для трёх оценок. Действительно, построим интервал неопределенности для двух оценок ψ_1^o и ψ_2^o (рис. 1) и добавим к нему третью оценку в различных вариантах (рис. 2, рис. 3). Для интервала неопределенности здесь и далее принято обозначение $\Psi = [\mathfrak{Z}, \mathfrak{R}]$.

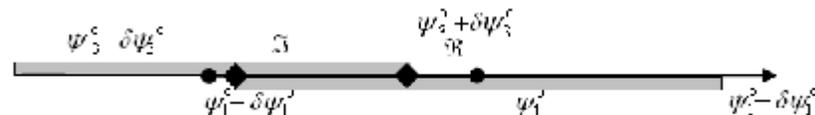


Рис. 1 – Интервал неопределенности с учетом двух независимых оценок

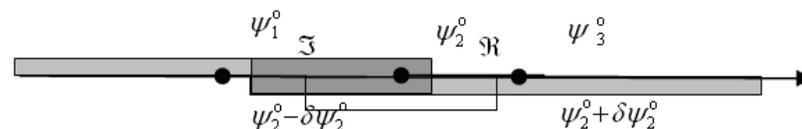


Рис. 2 – Интервал неопределенности с учетом трех оценок

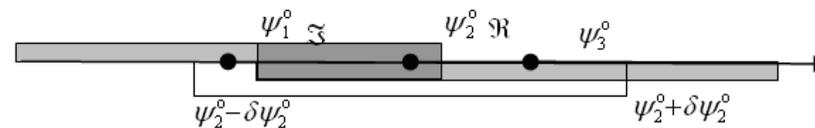


Рис. 3 – Интервал неопределенности с учетом трех оценок

В случае, изображенном на рис. 2, интервал неопределенности Ψ , принимая во внимание оценку ψ_2^o , уменьшился по отношению к случаю учета только двух оценок (рис. 1), на рис. 3 – остался прежним.

Таким образом, учет третьей независимой оценки приводит к уменьшению интервала неопределенности истинного курса или, по крайней мере, не увеличивает его.

В соответствии с разработанной ранее методикой, согласованные оценки выбираются на отрезке Ψ , соответствующем интервалу неопределенности истинного угла курса. Так для двух оценок, в случае, когда независимые оценки лежат вне Ψ , в качестве согласованных принимаются концы указанного отрезка. В противном случае они совпадают с независимыми. Напомним, что наилучшей оценкой курса с точки зрения гарантированной точности является середина отрезка Ψ .

При наличии трех независимых оценок предлагается следующая стратегия построения согласованных оценок.

Если максимальный «разброс» независимых оценок больше длины интервала неопределенности истинного курса, то крайние оценки отображаются в концы отрезка Ψ , а средняя оценка ψ_2^o – во внутреннюю точку отрезка Ψ с делением последнего пропорционально отрезкам $[\psi_1^o, \psi_2^o]$ и $[\psi_2^o, \psi_3^o]$ рис. 4, рис. 5.



Рис. 4 – Расположение независимых оценок относительно интервала неопределенности угла курса



Рис. 5 – Расположение согласованных оценок

В случае, когда максимальный «разброс» независимых оценок меньше длины интервала неопределенности, по крайней мере одна из крайних независимых оценок ψ_1^o либо ψ_3^o лежит в отрезке Ψ , причем по процедуре построения интервала неопределенности ψ_1^o обязательно левее середины отрезка Ψ , ψ_3^o – правее середины. Пусть, к примеру, $\psi_3^o \in \Psi$. В этих условиях осуществляется «стягивание» отрезков $[\psi_1^o, \psi_2^o]$, $[\psi_2^o, \psi_3^o]$ к точке ψ_3^o такое, что $\psi_1^{o*} = \mathcal{S}$. При этом $\psi_3^{o*} = \psi_3^o$ (рис. 6, рис. 7).

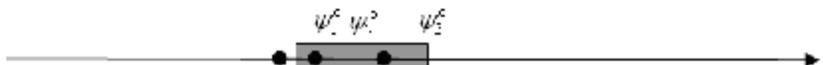


Рис. 6 – Расположение независимых оценок относительно интервала неопределенности угла курса

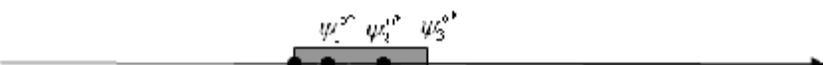


Рис. 7 – Расположение согласованных оценок

Если все три независимые оценки принадлежат отрезку Ψ , то в качестве согласованных принимаются независимые.

Предлагаемая стратегия построения согласованных оценок, естественно, не единственно возможная. Альтернативные стратегии будут отличаться от данной только тем либо иным выбором согласованных оценок внутри интервала неопределенности. Предложенный способ в общем случае уменьшает «разброс» между различными оценками пропорционально, т.е.

$$\frac{\psi_2^{o*} - \psi_1^{o*}}{\psi_3^{o*} - \psi_1^{o*}} = \frac{\psi_2^o - \psi_1^o}{\psi_3^o - \psi_1^o}.$$

При этом максимальный «разброс» после согласования и максимальная ошибка определения угла курса не превышают значения $\Delta = \psi^+ - \psi^-$.

Всевозможные реализации дрейфов. На рис. 8 приведен максимальный «разброс» согласованных оценок в зависимости от максимального «разброса» независимых оценок курса при всевозможных реализациях дрейфа гироскопов из множества $\{-1; -0.75; -0.5; -0.25; 0; 0.25; 0.5; 0.75; 1\}$ град./час.

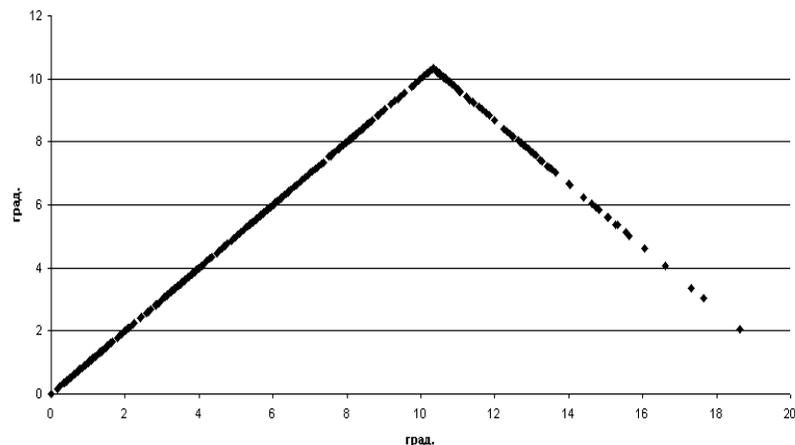


Рис. 8 – Максимальный разброс согласованных оценок в зависимости от максимального разброса независимых оценок курса

Из рассмотренного случая можно сделать следующие выводы:

При «разбросе» независимых оценок до 10 град., согласованные оценки имеют тот же «разброс». При превышении 10 град. – «разброс»

согласованных оценок меньше. Чем больше «разброс» независимых оценок – тем меньше «разброс» согласованных оценок.

Использование алгоритма согласования оценок ни при каких условиях не ухудшает общий результат.

Эффективность процедуры согласования оценок в смысле уменьшения их «разброса» тем выше, чем меньше используются в алгоритме «оценки максимально возможного дрейфа» гироскопов. При этом достоверность согласованных оценок курса возможна только при условии: абсолютное значение реального дрейфа не превосходит «оценки максимально возможного дрейфа».

При нарушении условия $\psi^- < \psi^+$, которое свидетельствует, что в какой-то системе реализовался дрейф, превосходящий «оценку максимально возможного дрейфа» (ОМВД), параметры ОМВД для всех гироскопов и всех систем увеличиваются на $\Delta = 0.5$ град./час и вычисления повторяются. Так происходит до тех пор, пока условие $\psi^- < \psi^+$ не выполнится. Алгоритм конечен, т.е. выполнение указанного условия за конечное число итераций гарантировано. Для демонстрации эффективности такого алгоритма проведено моделирование в указанных ранее условиях (реализованные дрейфы гироскопов первой системы брались из диапазона -3 град./час $+3$ град./час). Результаты приведены на рис. 9.

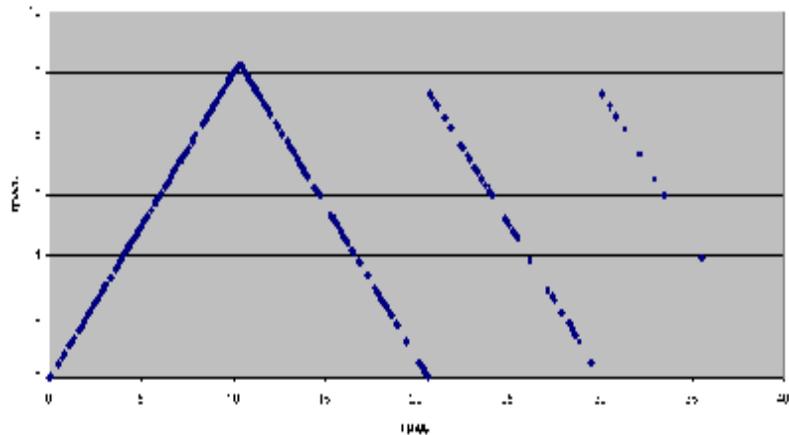


Рис. 9 – Зависимость максимального разброса оценок после коррекции от максимального разброса независимых оценок

Можно сделать вывод, что оценки не «ухудшатся» ни при каких реализациях дрейфов. С учетом проведенной доработки алгоритма в смысле адаптации параметров ОМВД, их исходные значения целесообразно задавать «заниженными», например на уровне 0.5 град./час. Максимальное значение «максимального разброса согласованных оценок» это не уменьшит, но интегрально, т.е. с учетом всевозможных реализаций дрейфов, максимальный разброс оценок будет меньше.

Численный пример.

Условия моделирования.

Пусть в запуске реализовались следующие систематические дрейфы гироскопов: для первой пары (0.4, 0.5), для второй (0.4, -0.2), для третьей (-0.8, -0.5) град./ч соответственно. В результате гирокомпасирования получены следующие оценки 45.8 град, 48.9 град и 56.3 град соответственно при истинном значении 50 град.

Таким образом, максимальный «разброс» оценок составил 10.5 град. Действительная ошибка для трех систем составила соответственно -4.2 град., -1.1 град. и 6.3 град.

В алгоритме формирования согласованных оценок принимались следующие параметры доверительных интервалов дрейфов для 3 пар: 1 град./ч, 0.5 град./ч и 1 град./ч соответственно с учетом $\Delta\omega_{x\max i} = \Delta\omega_{z\max i}$, $i = 1, 2, 3$.

В результате вычислений получен интервал неопределенности для истинного курса – отрезок [46.9, 53.6] град. Его длина 6.7 град.

В соответствии с алгоритмом получены следующие согласованные оценки: $\psi_1^{ос} = 46.9$ град., $\psi_2^{ос} = 48.9$ град., $\psi_3^{ос} = 53.6$ град. Максимальный «разброс» оценок уменьшился более чем на треть, и составил 6.7 град. Гарантированная точность курсопределения (вычисленная) 6.7 град.

Выводы. Таким образом, численный пример демонстрирует эффективность предлагаемой методики. При этом очевидно, что согласование оценок будет тем эффективнее, чем меньше доверительные интервалы дрейфов гироскопов, т.е. чем точнее информация о действительных погрешностях измерений. Предложенная методика может использоваться при обработке разноточных измерений с учетом известных доверительных интервалов.

Список литературы: 1. Гардер С. Е. Согласование независимых оценок курса, полученных в режиме гирокомпасирования / С. Е. Гардер, Ю. И. Зайцев, В. Б. Успенский // Вестник науки и техники. – Харьков : НГУ «ХПИ», ООО «ХДНТ», 2005. – № 2 – 3 (21 – 22). – С. 67–76.

Надійшла до редколегії 11.11.2010

А. Е. ГОЛОСКОКОВ, канд. тех. наук, проф., НТУ «ХПИ»
А. В. РУДНИЦКИЙ, аспирант НТУ «ХПИ»

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИКЛАДНОГО ПАКЕТА COMSOL MULTIPHYSICS ДЛЯ РЕШЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЙ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО ТИПА

В статті наведено рішення диференційного рівняння параболічного типу за допомогою прикладного пакету COMSOL Multiphysics. Наведена послідовність алгоритму моделювання за допомогою пакету. Побудована модель у двовірному вимірі для вирішення задачі нагріву металевієї пластини в печі прокатного стану (кондукція, перехідний аналіз, лагранжево-квадратичний вигляд скінченний елементів).

Описывается решение дифференциального уравнение параболического типа с помощью прикладного пакета COMSOL Multiphysics. Приведен алгоритм моделирования с помощью пакета. Построена модель в двухмерном пространстве для решения задачи нагрева металлической пластины в печи прокатного стану (кондукция, переходной анализ, лагранжево-квадратичный вид конечных элементов).

Authors describe an approach how a parabolic partial differential equation can be solved with the help of COMSOL Multiphysics software. The algorithm for the simulation is described in the article as well. 2D model is built to show an example how a metal plate heating can be solved (conduction, transient analysis, Lagrange – Quadratic).

Введение. Как известно, математическая физика занимается исследованием физических задач на математическом уровне, а результаты представляются в виде теорем, графиков, таблиц и т. д. и получают физическую интерпретацию. В этой области для изучения физических явлений используется широкий круг математических средств: дифференциальные уравнения в частных производных, теория операторов, теория обобщённых функций, теория функций многих комплексных переменных, теория чисел, асимптотические и вычислительные методы и т.д. Уравнения в частных производных позволяют описать множество разнообразных физических явлений, и с их помощью можно с успехом моделировать самые сложные явления и процессы (диффузия, гидродинамика, квантовая механика, экология и т. д.). Одним из преимуществ является то, что решениями дифференциальных уравнений в частных производных являются функции, зависящие от нескольких переменных.

Уравнение диффузии или уравнение теплопроводности представляет собой частный вид дифференциального уравнения в частных производных (уравнение параболического типа). При решении уравнения теплопроводности речь идет о нахождении зависимости температуры среды от пространственных координат и времени, причем задана теплоемкость и теплопроводность среды (также в общем случае неоднородной).

Постановка задачи. Приведем вывод уравнения теплопроводности на основе [1–3]. Пусть $t(x, y, z, \tau)$ – температура, τ – время, dS – элемент площади поверхности тела, ξ_0 – орт нормали к поверхности, направленный по направлению потока теплоты, то есть в сторону уменьшения температуры.

Тогда $\frac{dt}{d\xi_0} < 0$.

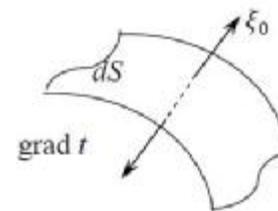


Рис. 1 – Нормаль к поверхности и градиент температуры

Производная $\frac{dt}{d\xi_0}$ равна проекции $grad t$ на направлении ξ_0 , то есть

$\frac{dt}{d\xi_0} = grad_{\xi_0} t$. По закону (гипотезе) Фурье количество теплоты, протекающее через поверхность dS за время dt в направлении ξ_0 равно

$$dQ = -\lambda \frac{dt}{d\xi_0} dS dt, \quad (1)$$

где $\lambda > 0$ - коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом теплопроводности, Вт/м·К или ккал/м·ч·К.

Для определенности рассмотрим случай, когда тело (V), ограниченное поверхностью (S), нагревается, тогда ξ_0 – орт внутренней нормали.

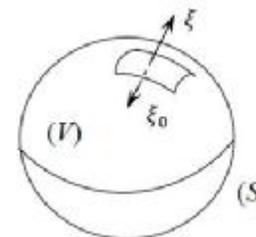


Рис. 2 – Внешняя и внутренняя нормали к поверхности

Возьмем орт внешней нормали $\xi_0 = -\xi_0$. Из вышеприведенных формул получим

$$dQ = \lambda grad_{\xi_0} dS d\tau. \quad (2)$$

Количество теплоты, протекающее через всю поверхность (S) за время $d\tau$, равно

$$Q = d\tau \iint_{(S)} \lambda grad_{\xi_0} dS d\tau. \quad (3)$$

Применяя теорему Гаусса-Остроградского

$$\iint_{(S)} a_n dS = \iiint_{(V)} div a dV \quad (4)$$

Получим

$$cp \frac{\partial t}{\partial \tau} dV = div(\lambda grad t). \quad (5)$$

Будем считать λ постоянным, тогда

$$\lambda grad t = \lambda \frac{\partial t}{\partial x} \vec{i} + \lambda \frac{\partial t}{\partial y} \vec{j} + \lambda \frac{\partial t}{\partial z} \vec{k}. \quad (6)$$

$$div(grad t) = \lambda \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right). \quad (7)$$

Последнее выражение можно записать в виде

$$cp \frac{\partial t}{\partial \tau} = \lambda \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right). \quad (8)$$

Выражение $\frac{\lambda}{cp} = a$ называют коэффициентом теплопроводности.

Но для решения каждой конкретной задачи, кроме дифференциального уравнения, должны быть заданы условия, специфические именно для задачи.

Так, чтобы найти температурное поле тела в любой момент времени, нужно знать распределение температуры в начальный момент времени, начальные условия и закон взаимодействия тела с окружающей средой, граничные условия.

Метод конечных элементов. Для решения полученного дифференциального уравнение параболического типа возможно использование следующих методов:

- использование рядов Тейлора,
- вариационный метод,
- метод взвешенных невязок,
- метод контрольного объема,
- метод конечных элементов,
- и др.

Метод конечных элементов [4, 5] является аналитической процедурой и основными преимуществами являются: удобство формирования уравнения, возможность представления нерегулярных и сложных объектов и условий. Отдельно необходимо отметить, что метод возможно применять, если объект неоднороден и состоит из большого числа отдельных конструктивных элементов, что является главнейшим преимуществом данного метода для исследуемой задачи.

Метод конечных элементов (МКЭ) является сеточным методом, предназначенным для решения задач микроуровня, для которого модель объекта задаётся системой дифференциальных уравнений в частных производных с заданными краевыми условиями.

Идея метода заключается в следующем: в методе взвешенных невязок воспользоваться простыми пробными и весовыми функциями, но не во всей области S , а в её отдельных подобластях (конечных элементах), а точность решения задачи обеспечить использованием большого числа конечных элементов (КЭ). При этом КЭ могут быть простой формы и вычисление интегралов по ним достаточно простая процедура.

Пусть состояние некоторой среды описывается следующим дифференциальным оператором, с заданным граничным условием:

$$LV + P = 0, \quad (9)$$

$$V(\Gamma) = V_\Gamma. \quad (10)$$

здесь L – дифференциальный оператор (например, оператор Лапласа),

V – фазовая переменная – неизвестная функция, которую следует найти,

P – величина, независящая от V ,

$V(\Gamma) = V_\Gamma$ – граничное условие первого рода (Дирихле), то есть на

границе задано значение фазовой переменной.

Этапы решения задач с помощью МКЭ:

- Выбор конечного элемента.
- Разбиение области на КЭ.
- Получение функции формы.
- Получение матрицы жёсткости и вектора нагрузок.

- Ансамблирование или получение глобальных матрицы жёсткости и вектора нагрузок.
- Учёт граничных условий.
- Решение системы алгебраических уравнений.

В результате на каждом КЭ действует строго определенное число ненулевых глобальных базисных функций и вместо вычисления интеграла по всей области можно вычислить интегралы по КЭ и сложить их. Процедура сложения получила название ансамблирование. Использование глобальных базисных функций приводит к тому, что процедура вычисления интегралов по КЭ становится достаточно простой и, поскольку в узлах аппроксимации $N_i = 1$, коэффициенты A приобретают физический смысл, они становятся равными значению фазовой переменной в узлах. В аппроксимации теперь можно отказаться от использования функции F , поскольку удовлетворить граничные условия можно естественным образом, задавая значения V в узлах, расположенных на границе.

В пределах одного КЭ, при условии, что он включен между i -м и j -м узлами, аппроксимацию решения можно определить с помощью глобальных базисных функций следующим образом:

$$V = (1 - \frac{x}{L})V_i + \frac{x}{L}V_j = N_e V, \quad (11)$$

где x – текущая координата, отсчитываемая от начала КЭ,

L – его длина,

V_i и V_j – значения фазовых переменных в узлах КЭ.

Например, получение квадратичной функции формы выглядит следующим образом. При этом, естественно, в пределах конечного элемента должно использоваться три узла аппроксимации, один из которых является внутренним для КЭ. При расположении внутреннего узла в середине КЭ (что необязательно) полином, аппроксимирующий решение внутри конечного элемента, будет иметь вид:

$$Y = A_0 + A_1 x + A_2 x^2 \quad (12)$$

при $x = 0$ $Y_i = A_0$,

$$x = \frac{L}{2} \quad Y_j = A_0 + A_1 \frac{L}{2} + A_2 \frac{L^2}{4},$$

$$x = L \quad Y_k = A_0 + A_1 L + A_2 L^2.$$

Решая эту систему относительно коэффициентов A_0 , A_1 и A_2 получим:

$$A_0 = Y_i, \quad A_1 = \frac{(4Y_j - 3Y_i - Y_k)}{L}, \quad A_2 = \frac{(2Y_k - 4Y_j - Y_i)}{L^2}, \quad (13)$$

$$Y = Y_i + (4Y_j - 3Y_i - Y_k) \frac{x}{L} + (2Y_k - 4Y_j - Y_i) \frac{x^2}{L^2} =$$

$$= (1 - 3\frac{x}{L} + 2\frac{x^2}{L^2})Y_i + (4\frac{x}{L} - 4\frac{x^2}{L^2})Y_j + (-\frac{x}{L} + 2\frac{x^2}{L^2})Y_k. \quad (14)$$

В матричной форме решение принимает следующий вид:

$$Y = \begin{bmatrix} (1 - 3\frac{x}{L} + 2\frac{x^2}{L^2}) & (4\frac{x}{L} - 4\frac{x^2}{L^2}) & (-\frac{x}{L} + 2\frac{x^2}{L^2}) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Y_0 \\ Y_1 \\ Y_2 \end{bmatrix}. \quad (15)$$

Данную задачу будем решать методом конечных элементов, используя подход множителей Лагранжа (вид конечных элементов будет Лагранжево-квадратичный). Метод конечных элементов основан на идее аппроксимации непрерывной функции (в физической интерпретации – температуры, давления, перемещения и т. д.) дискретной моделью, которая строится на множестве кусочно-непрерывных функций, определенных на конечном числе подобластей, называемых конечными элементами. Исследуемая геометрическая область разбивается на элементы таким образом, чтобы на каждом из них неизвестная функция аппроксимировалась пробной функцией (как правило, полиномом). Причем эти пробные функции должны удовлетворять граничным условиям непрерывности, совпадающим с граничными условиями, налагаемыми самой задачей. Выбор для каждого элемента аппроксимирующей функции будет определять соответствующий тип элемента.

Применение прикладного пакета COMSOL Multiphysics.

Преимущества пакета COMSOL Multiphysics [6]:

- моделирование основано на дифференциальных уравнениях в частных производных (PDE) и позволяет решать уравнения методом конечных элементов;
- позволяет расширять стандартные модели, использующие одно дифференциальное уравнение, в мульти-физические модели для расчета связанных между собой физических явлений;
- коэффициенты PDE задаются в виде понятных физических свойств и условий, таких как: теплопроводность, теплоемкость, коэффициент теплоотдачи, объемная мощность;
- использование различных математических способов для задания систем;
- различные виды анализа (стационарный и переходный анализ, линейный и нелинейный анализ, модальный анализ и анализ собственных частот);

- применяется конечноэлементный анализ вместе с сеткой, учитывающей геометрическую конфигурацию тел и контролем ошибок с использованием разнообразных и дополнительных численных решателей;
- позволяет с помощью переменных связи (coupling variables) соединять модели в разных геометриях и связывать между собой модели разных размерностей.

Последовательность шагов для решения задачи в пакете приведена на блок-схеме (рис. 3).

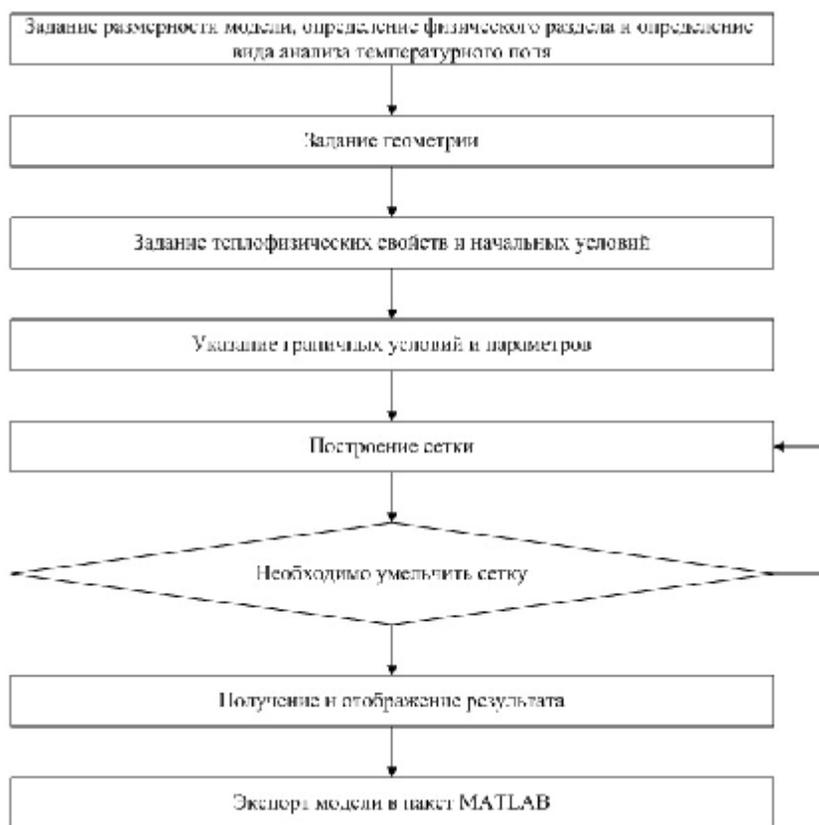


Рис. 3 – Блок-схема алгоритма решения

Создадим модель в двухмерном пространстве и зададим следующие параметры:

- кондукция;
- переходной анализ;
- лагранжево-квадратичный вид конечных элементов.

Модель в этом случае будет иметь следующий вид:

$$\delta_{is} \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} - \nabla \cdot (k \nabla T) = Q + h_{trans} (T_{ext} - T) - C_{trans} (T_{ambtrans}^4 - T^4), \quad (16)$$

где T – температура K ,

K – теплопроводность $W/(m \cdot K)$,

Q – источник тепла W/m^3 ,

h_{trans} – конвективный коэффициент теплоотдачи $W/(m^2 \cdot K)$,

T_{ext} – внешняя температура K ,

C_{trans} – константа $W/(m^2 \cdot K^4)$,

$T_{ambtrans}$ – температура окружающей среды K ,

δ_{is} – коэффициент масштабирования,

ρ – плотность,

C_p – теплоемкость при постоянном давлении.

В ходе технологического процесса прокатки используются следующие металлические пластины: титан, сталь, ниобий и медь. Физические размеры различны и приведены в таблице ниже

Физические размеры пластин

Толщина	$32^{\pm 0,5} \dots 0,3^{\pm 0,5}$
Ширина	$80^{\pm 0,2}$
Длина	$250^{\pm 0,5} \dots 230^{\pm 0,5}$

Ниже на рис. 4 приведен пример построения сетки, состоящей из 3008 элементов.

Полученная сетка конечных элементов используется для решения дифференциального уравнения, что позволяет получить распределение температуры для моделируемого объекта. Полученный результат представляет собой график распределения температуры.

Отличительной чертой пакета COMSOL Multiphysics является то, что результаты моделирования можно использовать в пакете MATLAB. Взаимодействие между COMSOL Multiphysics и MATLAB основано на технологии клиент-сервер, что позволяет использовать COMSOL Multiphysics для получения результатов моделирования тепловых свойств металлов, а MATLAB для моделирования системы управления и использования данных из COMSOL Multiphysics

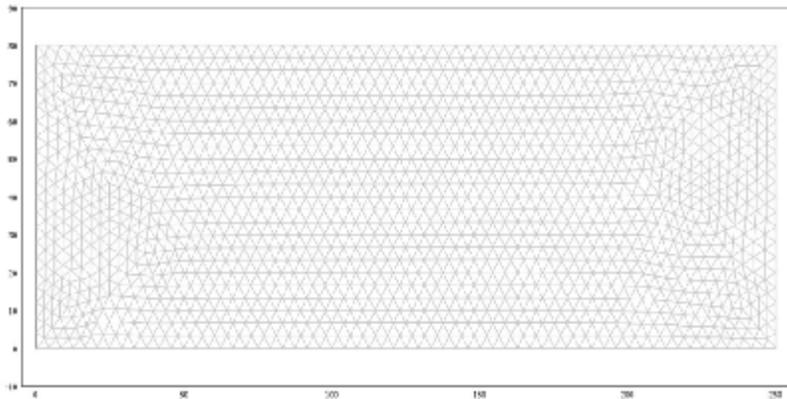


Рис. 4 – Сетка конечных элементов

Выводы. В работе приведен пример решения уравнения диффузии или уравнения теплопроводности (уравнение параболического типа) в двухмерном пространстве с помощью прикладного пакета COMSOL Multiphysics. Как было указано ранее при решении уравнения теплопроводности речь идет о нахождении зависимости температуры среды от пространственных координат и времени, причем задана теплоемкость и теплопроводность среды. Пакет COMSOL позволяет учитывать в ходе моделирования различные виды моделей, параметры моделей, а также задавать различные характеристики самого решателя, что делает этот пакет эффективным средством для решения подобных задач. Дальнейшим развитием работы авторы видят построение моделей в трехмерном пространстве с различными физическими характеристиками пластин.

Список литературы: 1. Егоров В.И. Точные методы решения задач теплопроводности / В. И. Егоров. – СПб. : СПб ГУ ИТМО, 2006. – 48 с. 2. Патанкар С.В. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости / С. В. Патанкар. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 154 с. 3. Лыков А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – М. : Высшая школа, 1967. – 600 с. 4. Трудоношин В. А. Введение в метод конечных элементов / В. А. Трудоношин. – М. : МГТУ, 2000. – 20 с. 5. Галлагер Р.Н. Метод конечных элементов. / Р. Н. Галлагер. – М. : Мир, 1984. – 428 с. 6. Егоров В. И. Применение ЭВМ для решения задач теплопроводности теплопроводности / В. И. Егоров. – СПб. : СПб ГУ ИТМО, 2006. – 77 с.

Надійшла до редколегії 11.11.2010

УДК 332.145

И. В. КОНОНЕНКО, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»;
И. В. ПРОТАСОВ, соискатель НТУ «ХПИ»;
В. А. МИРОНЕНКО, студентка НТУ «ХПИ»

ОПТИМИЗАЦИЯ СОДЕРЖАНИЯ ПРОЕКТА ПО ПЛАНИРОВАНИЮ СОЗДАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ВРЕМЕНИ И СТОИМОСТИ ЕГО ВЫПОЛНЕНИЯ

Наведено опис проекту з планування виробництва нової продукції у вигляді заданих альтернативних варіантів виконання його етапів. Визначено обмеження на строки та вартість реалізації проекту, а також на якість продуктів окремих етапів проекту. Описано результати двокритеріальної оптимізації змісту проекту з планування створення виробництва зі збірки комп'ютерів за допомогою програмного забезпечення «Project Scope Optimization». Зроблено висновки про раціональність використання моделі та методу оптимізації змісту проекту за часом і вартістю його виконання та програмного забезпечення «Project Scope Optimization».

Приведено описание проекта по планированию производства новой продукции в виде заданных альтернативных вариантов выполнения его этапов. Определены ограничения на сроки и стоимость реализации проекта, а также на качество продуктов отдельных этапов проекта. Описаны результаты двухкритериальной оптимизации содержания проекта по планированию создания сборочного производства компьютеров с помощью программного обеспечения «Project Scope Optimization». Сделаны выводы о рациональности использования модели и метода оптимизации содержания проекта по времени и стоимости его выполнения и программного обеспечения «Project Scope Optimization».

A project of planning a new production has been described as alternatives of its stages. Constraints on time and cost of the project, and quality of products of the certain project stages have been defined. Software «Project Scope Optimization» has been used for two-objective optimization of the scope of the project of planning for assembling computers and the results have been described. The conclusions about the rationality of using the model and method of project's scope optimization by time and cost of its implementation and the software «Project Scope Optimization» have been made.

Введение. Ранние стадии проектов, посвященных созданию производства новой продукции, имеют большое значение для успеха проектов. От качества работ, которые выполняются на стадиях маркетинга, прогнозирования состояния внешней и внутренней среды, формирования целей, разработки планов действий зависит эффективность проекта в целом. В свою очередь качество работ непосредственно связано с затратами времени и средств на их выполнение. Таким образом оптимизация содержания проектов, посвященных планированию создания производства продукции и составляющих часть больших проектов, связанных с созданием этих производств, является актуальной.

Среди задач оптимизации содержания проектов выделяются задачи, в которых для отдельных этапов работ задаются альтернативные варианты их

выполнения, характеризуемые временем, стоимостью и качеством продукта этапа. Причем каждый из альтернативных вариантов представляет собой совокупность взаимосвязанных работ. Для описания этих вариантов используются сетевые модели. В работе [1] предложены модель и метод оптимизации времени проекта при условии, что заданы, в виде сетевых моделей, альтернативные варианты выполнения работ на отдельных этапах. В работе [2] для аналогичных задач, но при условии оптимизации стоимости проекта, также предложены модель и метод решения. Многокритериальная задача оптимизации содержания проекта при альтернативном задании вариантов выполнения отдельных этапов работ впервые рассматривалась в работе [3]. Для её решения было предложено использовать минимаксный подход в сочетании с методом неявного перебора. В работе [4] было предложено решить данную задачу с использованием обобщённого критерия и применить ограничения на качество продуктов отдельных этапов проекта.

В работе [5] было описано программное обеспечение «Project Optimum», с помощью которого можно проводить оптимизацию проекта по срокам либо по стоимости его выполнения при заданных альтернативных вариантах выполнения этапов проекта. В основу данного программного продукта были положены метод минимизации сроков выполнения работ по проекту, описанный в работе [1], и метод минимизации стоимости проекта при ограничениях на сроки выполнения работ, предложенный в работе [2].

Для автоматизации метода, представленного в работе [4], было разработано программное обеспечение «Project Scope Optimization», которое позволяет выполнить двукритериальную оптимизацию содержания проекта по времени и стоимости, если заданы альтернативные варианты выполнения этапов проекта. Для этого необходимо предварительно ввести в программу альтернативные варианты выполнения этапов проекта в виде перечня работ, указать их связи с предыдущими и последующими работами, определить ограничения по срокам и стоимости выполнения проекта, указать существующие ограничения на качество продуктов отдельных этапов проекта, а также задать взаимосвязи между альтернативными вариантами соседних этапов. Перед выполнением оптимизации необходимо указать важность временного и стоимостного критериев, задав соответствующие весовые коэффициенты. Для наглядного представления структуры проекта программа реализует отображение дерева проекта. В окне вывода результатов указываются срок и стоимость выполнения проекта, оптимальная комбинация альтернатив, а также дерево оптимального проекта.

Постановка задачи. Применить модель и метод двукритериальной оптимизации содержания проекта с точки зрения времени и стоимости его реализации при заданных альтернативных вариантах выполнения этапов проекта и ограничениях на качество продуктов отдельных этапов для проекта по планированию создания производства новой продукции. Оптимизацию

проекта выполнить с использованием программного обеспечения «Project Scope Optimization».

В данной работе рассматривается проект планирования создания сборочного производства компьютеров. Проект состоит из десяти этапов, для каждого из которых заданы альтернативные варианты выполнения работ, представленные в табл. 1.

Таблица 1 – Описание проекта по планированию производства продукции

Номер этапа	Название этапа	Название альтернативного варианта
Этап 1	Анализ состояния внешней и внутренней среды предприятия.	Вариант 1 – Сбор детальной информации о внешней и внутренней среде предприятия, накопление ее в базах данных, в виде файлов, на бумажных носителях, подробный анализ каждого фактора.
		Вариант 2 – Сбор наиболее важной информации, касающейся внешней и внутренней среды предприятия, накопление ее в базах данных, в виде файлов, на бумажных носителях, укрупненный анализ факторов без использования математических методов и программных средств.
		Вариант 3 – Сбор детальной информации о внешней и внутренней среде предприятия, накопление ее в базах данных, в виде файлов, на бумажных носителях, подробный анализ каждого фактора с применением математических методов и программных средств.
Этап 2	Прогнозирование состояния внешней и внутренней среды предприятия.	Вариант 1 – Специалисты предприятия своими силами разрабатывают прогнозы развития факторов внешней и внутренней среды.
		Вариант 2 – Для разработки прогнозов факторов внешней и внутренней среды привлекается консалтинговая фирма.
Этап 3	Разработка сценариев развития предприятия и его окружения.	Вариант 1 – Специалисты предприятия своими силами разрабатывают сценарии развития предприятия и его окружения.
		Вариант 2 – Для разработки сценариев развития предприятия и его окружения привлекается консалтинговая фирма.

Продолжение таблицы 1

Этап 4	SWOT-анализ.	Вариант 1 – Специалисты предприятия своими силами делают SWOT-анализ.
		Вариант 2 – Для выполнения SWOT-анализа привлекается консалтинговая фирма.
Этап 5	Разработка миссии, видения, главных целей предприятия.	Вариант 1 – Специалисты предприятия своими силами разрабатывают миссию, видение, главные цели предприятия.
		Вариант 2 – Для разработки миссии, видения, главных целей предприятия привлекается консалтинговая фирма.
Этап 6	Формирование критериев достижения главных целей предприятия. Формирование приоритетных направлений развития предприятия.	Вариант 1 – Специалисты предприятия своими силами разрабатывают критерии достижения главных целей и приоритетные направления развития предприятия.
		Вариант 2 – Для разработки критериев достижения главных целей и приоритетных направлений развития предприятия привлекается консалтинговая фирма.
Этап 7	Выбор стратегии предприятия в области выпуска продукции.	Вариант 1 – Специалисты предприятия определяют рациональный типаж продукции исходя из анализа перспективного спроса.
		Вариант 2 – Специалисты предприятия определяют рациональный типаж продукции с использованием программного обеспечения.
		Вариант 3 – Для разработки стратегии предприятия в области выпуска продукции привлекается консалтинговая фирма.
Этап 8	Разработка бизнес-плана проекта освоения производства новой продукции.	Вариант 1 – Специалисты предприятия разрабатывают бизнес-план проекта.
		Вариант 2 – Бизнес-плана проекта заказывают у консалтинговой фирмы.
		Вариант 3 – Специалисты предприятия разрабатывают бизнес-план проекта с использованием программного обеспечения Project Expert.

Продолжение таблицы 1

Этап 9	Разработка технического задания, технического предложения, эскизного проекта, технического проекта, рабочей документации создания нового продукта.	Вариант 1 – Специалисты предприятия разрабатывают техническое задание, техническое предложение, эскизный проект, технический проект, рабочую документацию создания нового продукта.
		Вариант 2 – Разработку технического задания, технического предложения, эскизного проекта, технического проекта, рабочей документации создания нового продукта заказывают в проектно институте.
Этап 10	Планирование технологической подготовки производства продукта проекта.	Вариант 1 – Специалисты предприятия разрабатывают план технологической подготовки производства продукта проекта.
		Вариант 2 – Разработку плана технологической подготовки производства продукта проекта заказывают в технологическом институте.

Каждый альтернативный вариант представлен в виде сетевой модели с заданными взаимосвязями между работами. Сетевые модели альтернативных вариантов первого этапа представлены на рис. 1.

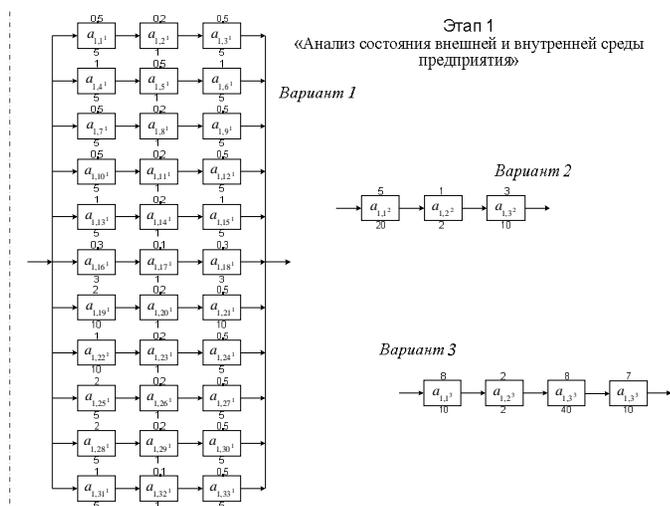


Рис. 1 – Сетевые модели альтернативных вариантов этапа 1

Для некоторых этапов проекта были определены ограничения по качеству продукта, которые выделены исходя из специфики каждого этапа.

Для измерения показателей качества на этапах 1, 2, 4, 5, 7, 8, 9, 10 определена шкала в баллах от 1 до 5 со следующими значениями:

- 1 – совсем плохое качество;
- 2 – неудовлетворительное качество;
- 3 – удовлетворительное качество;
- 4 – хорошее качество;
- 5 – отличное качество.

Значение показателя качества «Вероятность осуществления сценариев развития предприятия и его окружения» на этапе 3 изменяется в диапазоне от 0 до 1. На этапе 6 не было определено ни одного показателя качества.

Показатели качества рассматриваемого проекта представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Показатели качества

Номер этапа	Показатель качества	Ограничение по качеству	Значения показателей качества для альтернатив
Этап 1	Качество анализа состояния внешней и внутренней среды предприятия	$\Psi_1(x_{1,j}) > Q_{1,1}^{\text{задан}}$ $Q_{1,1}^{\text{задан}} = 3$	$\Psi_1(x_{1,1}) = 4$ $\Psi_1(x_{1,2}) = 3$ $\Psi_1(x_{1,3}) = 5$
Этап 2	Качество прогноза состояния внешней и внутренней среды предприятия	$\Psi_2(x_{2,j}) \geq Q_{2,2}^{\text{задан}}$ $Q_{2,2}^{\text{задан}} = 4$	$\Psi_2(x_{2,1}) = 4$ $\Psi_2(x_{2,2}) = 5$
Этап 3	Вероятность осуществления сценариев развития предприятия и его окружения	$\Psi_3(x_{3,j}) > Q_{3,3}^{\text{задан}}$ $Q_{3,3}^{\text{задан}} = 0,5$	$\Psi_3(x_{3,1}) = 0,5$ $\Psi_3(x_{3,2}) = 0,8$
Этап 4	Качество SWOT-анализа	$\Psi_4(x_{4,j}) \geq Q_{4,4}^{\text{задан}}$ $Q_{4,4}^{\text{задан}} = 4$	$\Psi_4(x_{4,1}) = 3$ $\Psi_4(x_{4,2}) = 5$
Этап 5	Качество миссии, видения, главных целей предприятия	$\Psi_5(x_{5,j}) \geq Q_{5,5}^{\text{задан}}$ $Q_{5,5}^{\text{задан}} = 3$	$\Psi_5(x_{5,1}) = 4$ $\Psi_5(x_{5,2}) = 5$
Этап 7	Качество стратегии предприятия в области выпуска продукции	$\Psi_6(x_{7,j}) \geq Q_{7,6}^{\text{задан}}$ $Q_{7,6}^{\text{задан}} = 4$	$\Psi_6(x_{7,1}) = 3$ $\Psi_6(x_{7,2}) = 4$ $\Psi_6(x_{7,3}) = 5$
Этап 8	Качество маркетингового плана	$\Psi_7(x_{8,j}) \geq Q_{8,7}^{\text{задан}}$ $Q_{8,7}^{\text{задан}} = 4$	$\Psi_7(x_{8,1}) = 3$ $\Psi_7(x_{8,2}) = 3$ $\Psi_7(x_{8,3}) = 5$

Продолжение таблицы 2

Этап 8	Качество финансового плана	$\Psi_8(x_{8,j}) > Q_{8,8}^{\text{задан}}$ $Q_{8,8}^{\text{задан}} = 4$	$\Psi_8(x_{8,1}) = 3$ $\Psi_8(x_{8,2}) = 4$ $\Psi_8(x_{8,3}) = 5$
Этап 9	Качество ТЗ, технического предложения, эскизного проекта, технического проекта, рабочей документации создания нового продукта	$\Psi_9(x_{9,j}) \geq Q_{9,9}^{\text{задан}}$ $Q_{9,9}^{\text{задан}} = 4$	$\Psi_9(x_{9,1}) = 4$ $\Psi_9(x_{9,2}) = 5$
Этап 10	Качество плана технологической подготовки производства продукта проекта	$\Psi_{10}(x_{10,j}) \geq Q_{10,10}^{\text{задан}}$ $Q_{10,10}^{\text{задан}} = 4$	$\Psi_{10}(x_{10,1}) = 4$ $\Psi_{10}(x_{10,2}) = 5$

В табл. 2: $\Psi_r(x_{h,j})$ – функция, определяющая значение r -го показателя качества продукта в результате выполнения h -го этапа для j -го варианта выполнения операций, $x_{h,j}$ – булева переменная, равная единице, если осуществляется j -й вариант выполнения операций на h -м этапе, и равная нулю в противном случае, $Q_{h,r}^{\text{задан}}$ – заданное граничное значение r -го показателя качества продукта в результате выполнения этапа h . Обозначения в табл. 2 и далее соответствуют модели задачи оптимизации содержания проекта по критериям время и стоимость, описанной в работе [4].

Расчет оптимального содержания проекта с точки зрения времени и стоимости его выполнения для проекта по планированию создания сборочного производства компьютеров был проведён с помощью программного обеспечения «Project Scope Optimization». Исходные данные представлены в табл. 3, 4.

Таблица 3 – Исходные данные

Этап 1	Этап 2	Этап 3	Этап 4	Этап 5
$h = 1$	$h = 2$	$h = 3$	$h = 4$	$h = 5$
$K_1 = 25$	$K_2 = 3,5$	$K_3 = 3$	$K_4 = 1$	$K_5 = 4$
$M_1 = 3$	$M_2 = 2$	$M_3 = 2$	$M_4 = 2$	$M_5 = 2$
$t_{1,1} = 21$	$t_{2,1} = 26$	$t_{3,1} = 6$	$t_{4,1} = 2$	$t_{5,1} = 17$
$t_{1,2} = 32$	$t_{2,2} = 32$	$t_{3,2} = 17$	$t_{4,2} = 11$	$t_{5,2} = 21$
$t_{1,3} = 62$	$w_{2,1} = 3,4$	$w_{3,1} = 0,5$	$w_{4,1} = 0,3$	$w_{5,1} = 4$
$w_{1,1} = 20,5$	$w_{2,2} = 12,9$	$w_{3,2} = 3,5$	$w_{4,2} = 1,4$	$w_{5,2} = 4,9$
$w_{1,2} = 9$				
$w_{1,3} = 25$				

Таблица 4 – Исходные данные

Этап 6	Этап 7	Этап 8	Этап 9	Этап 10
$h = 6$	$h = 7$	$h = 8$	$h = 9$	$h = 10$
$K_6 = 5$	$K_7 = 12$	$K_8 = 20$	$K_9 = 65$	$K_{10} = 30$
$M_6 = 2$	$M_7 = 3$	$M_8 = 3$	$M_9 = 2$	$M_{10} = 2$
$t_{6,1} = 10$	$t_{7,1} = 30$	$t_{8,1} = 24$	$t_{9,1} = 80$	$t_{10,1} = 25$
$t_{6,2} = 18$	$t_{7,2} = 13$	$t_{8,2} = 35$	$t_{9,2} = 84$	$t_{10,2} = 33$
$w_{6,1} = 4$	$t_{7,3} = 24$	$t_{8,3} = 31$	$w_{9,1} = 63$	$w_{10,1} = 24$
$w_{6,2} = 5,4$	$w_{7,1} = 12,5$	$w_{8,1} = 13,5$	$w_{9,2} = 101$	$w_{10,2} = 39,5$
	$w_{7,2} = 13$	$w_{8,2} = 30,1$		
	$w_{7,3} = 11,9$	$w_{8,3} = 21,2$		

В табл. 3, 4: h – номер этапа выполнения операций; K_h – объем денежных средств, выделяемых на h -м этапе; M_h – количество вариантов выполнения операций на этапе h ; $w_{h,j}$ – стоимость выполнения операций j -го варианта сетевой модели на h -м этапе (может складываться из стоимостей нескольких операций); $t_{h,j}$ – срок выполнения операций j -го варианта сетевой модели на h -м этапе (находится с использованием метода критического пути).

В табл. 3, 4 время выполнения альтернатив измеряется в рабочих днях, а стоимость выполнения альтернатив и объем выделенных средств на каждом этапе – в тыс. грн.

Также установлено ограничение на время реализации проекта, которое составляет 265 дней. Общий бюджет проекта равен 168,5 тыс. грн. Весовые коэффициенты стоимостного и временного критериев соответственно составляют 0,3 и 0,7. Последнее свидетельствует о том, что оптимизация по времени для заказчика имеет большее значение, чем оптимизация по стоимости.

В результате оптимизации содержания проекта по планированию создания сборочного производства компьютеров с помощью программного продукта «Project Score Optimization» были получены следующие результаты:

- стоимость проекта составила 160,4 тыс. грн.;
- время выполнения проекта составило 251 дней;
- оптимальная комбинация альтернатив представлена в табл. 5.

Таблица 5 – Оптимальная комбинация альтернатив

№	Название этапа	Альтернатива	Стоимость, тыс. грн.
1	Этап 1. Анализ состояния внешней и внутренней среды предприятия	Вариант 1	20,4
2	Этап 2. Прогнозирование состояния внешней и внутренней среды предприятия	Вариант 1	3,4

Продолжение таблицы 5

3	Этап 3. Разработка сценариев развития предприятия и его окружения	Вариант 2	3,5
4	Этап 4. SWOT-анализ	Вариант 2	1,4
5	Этап 5. Разработка миссии, видения, главных целей предприятия	Вариант 1	4
6	Этап 6. Формирование критериев достижения главных целей предприятия. Формирование приоритетных направлений развития предприятия	Вариант 1	4
7	Этап 7. Выбор стратегии предприятия в области выпуска продукции	Вариант 2	13
8	Этап 8. Разработка бизнес-плана проекта освоения производства новой продукции	Вариант 3	21,2
9	Этап 9. Разработка технического задания, технического предложения, эскизного проекта, технического проекта, рабочей документации создания нового продукта	Вариант 1	65,5
10	Этап 10. Планирование технологической подготовки производства продукта проекта	Вариант 1	24

Окно вывода результатов оптимизации представлено на рис. 2.

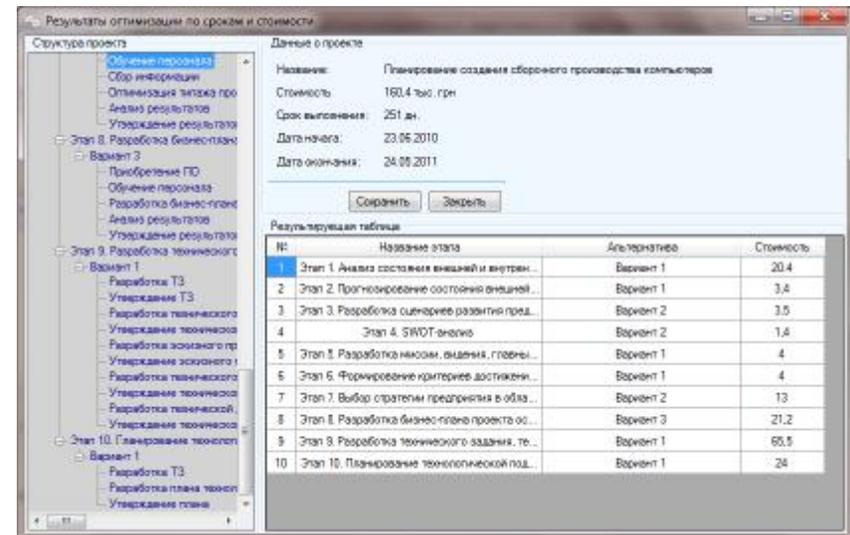


Рис. 2 – Результаты оптимизации

Описанный проект по планированию создания сборочного производства компьютеров состоит из 10 этапов и содержит 23 варианта их выполнения. В случае использования метода полного перебора пришлось бы рассмотреть все возможные сочетания этих вариантов, а именно 3456 сочетаний. При этом каждый раз необходимо было бы использовать метод критического пути, что достаточно трудоемко. При оптимизации содержания описанного проекта с помощью программного обеспечения «Project Score Optimization» было рассмотрено только 2 полных сочетания вариантов, а остальные были отсечены в процессе работы используемого метода. Решение данной задачи в среднем занимает всего 452 миллисекунды. Следовательно, полученные результаты подтверждают рациональность использования модели и метода оптимизации содержания проекта с точки зрения времени и стоимости его выполнения, а также программного обеспечения «Project Score Optimization».

Заключение. Таким образом, в работе были применены ранее разработанные модель и метод оптимизации содержания проекта с точки зрения времени и стоимости его выполнения для решения задачи планирования производства новой продукции на примере проекта по планированию создания сборочного производства компьютеров. Важной особенностью рассматриваемой задачи является то, что альтернативные варианты выполнения работ по проекту заданы в виде сетевых моделей и заданы ограничения на качество продуктов отдельных этапов проекта. Используемый метод основан на применении обобщенного критерия в сочетании с методом неявного перебора. Для автоматизации работы метода использовано разработанное программное обеспечение «Project Score Optimization».

Список литературы: 1. Кононенко И. В. Математическая модель и метод минимизации сроков выполнения работ по проекту / И. В. Кононенко, Е. В. Емельянова, А. И. Грицай // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2007. – №2/6 (26). – С. 16–20. 2. Кононенко И. В. Математическая модель и метод минимизации затрат по проекту при ограничениях на сроки выполнения работ / И. В. Кононенко, Е. В. Емельянова // Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». – Харьков: НТУ «ХПИ», 2009. – № 4. – С. 46–53. 3. Кононенко И. В. Математическая модель и метод оптимизации содержания проекта с точки зрения времени и стоимости его выполнения / И. В. Кононенко, В. А. Мироненко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – №1/2 (43). – С. 12–17. 4. Кононенко И. В. Двухкритериальная оптимизация содержания проекта при ограничениях на качество продукта / И. В. Кононенко, И. В. Протасов // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2010. – №5/4 (47). – С. 57–60. 5. Кононенко И. В. Программная реализация методов оптимизации сроков и стоимости осуществления проекта с учетом заданных альтернативных вариантов выполнения работ / И. В. Кононенко, Е. В. Емельянова // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2009. – № 4/8 (40). – С. 57–61.

Надійшла до редколегії 09.11.2010

УДК 005.94

А. Д. ДАНИЛОВ, инженер каф. СИ ХНУРЭ, г. Харьков

К ВОПРОСУ О СИСТЕМАТИЗАЦИИ ЗНАНИЙ В ОБЛАСТИ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

В статті описана робота з побудови класифікації функцій соціальних мереж з метою систематизації знань в предметній галузі "соціальні мережі в Інтернеті". Методом дослідження обрано системологічний класифікаційний аналіз. В результаті проведеної роботи створені системологічні моделі системи функцій та фрагмент онтології предметної галузі соціальних мереж в Інтернеті. Отримані моделі системи функцій соціальних мереж в Інтернеті реалізовані в програмному інструменті онтологічного інжинірингу Protégt 3.2.

В данной статье описана работа по построению классификации функций социальных сетей с целью систематизации знаний в предметной области «социальные сети в Интернете». Методом исследования выбран системологический классификационный анализ. В результате проведенной работы созданы системологические модели системы функций и фрагмент онтологии предметной области социальных сетей в Интернете. Полученные модели системы функций социальных сетей в Интернете реализованы в программном инструменте онтологического инжиниринга Protégt 3.2.

In this article the work is described on the construction of classification of functions of social networks with the purpose of knowledge systematization in the domain "Social Networks in the Internet". Systemological classification analysis is chosen as a research method. Resulting from the conducted work the systemological models of functions system and the domain fragment of the social networks in the Internet were created. The obtained models of functions system of the social networks in the Internet were realized in the ontological engineering tool Protégt3.2.

Введение. Актуальность темы исследования обуславливается тем, что современные предприятия вынуждены постоянно заниматься усовершенствованием своей деятельности для повышения конкурентоспособности. С каждым днем все чаще появляется необходимость решения сложных задач, требующих знаний специалистов предметной области. Для обучения высококвалифицированных специалистов прогрессивные компании предлагают использовать концепцию обучающихся организаций. Обучающаяся организация является превосходным инструментом для решения задач, связанных с повышением профессионального уровня компании. Для создания и приобретения знаний компании необходимо постоянно находиться в процессе самосовершенствования. Одним из передовых методов развития организации является использование социальных сетей.

Использование социальных сетей открывает, для всего общества, огромные возможности для самосовершенствования, ниже приведены только некоторые из них:

- удобный обмен опытом и знаниями между людьми из разных городов (стран) без личного присутствия;
- доступ к информации, которой располагают участники сети;

- быстрый и легкий способ связи с экспертами;
- ощущение причастности сотрудников к тем идеям и продуктам, которые рождаются в результате обсуждений;
- возможность распределить выполнение задач между сотрудниками в соответствии со способностями или ресурсами.

Использование социальных сетей украинскими компаниями даст им возможность не только повысить свою конкурентоспособность на рынке труда, но и создать в своей организации мощный фундамент для дальнейшего развития.

Проведенный анализ показывает, что вопросы построения классификаций функций социальных сетей в Интернете являются недостаточно проработанными.

Для более эффективного использования социальных сетей, необходимо понимать, какие функции предоставляют социальные сети. Для этого проведен анализ понятия «социальная сеть», проанализированы существующие функции наиболее популярных социальных сетей и на основе полученных результатов анализа разработаны рекомендации для улучшения функционирования рассматриваемых сетей, построена классификация функций социальных сетей.

Анализ понятия социальная сеть. Существует ряд различных определений «социальной сети», которые зависят от сферы применения. В качестве примеров приведены некоторые наиболее распространенные определения «социальной сети» из различных источников:

1. В социологии. «Социальная сеть – это социальная структура, состоящая из группы узлов, являющихся социальными объектами (люди или организации), и связей между ними (социальных взаимоотношений)»[1].
2. В Интернете. «Социальная сеть – это веб-сервис предоставляющий on-line средства группе людей, публично проявивших потребность друг в друге на основе общего интереса к определенной предметной области»[2].
3. С точки зрения математики. «Социальная сеть – социальная структура (математически – граф), состоящая из группы узлов, которыми являются социальные объекты (люди или организации), и связей между ними (социальных взаимоотношений)»[3].

Проанализировав 11 определений термина «социальная сеть», было решено рассматривать социальную сеть в Интернете, как *социальную структуру, предназначенную для удовлетворения потребностей социальных объектов путем взаимодействия между ними в Интернет пространстве.*

Выбор метода исследования. В процессе исследования использовался метод системологического классификационного анализа.

«Системология – современная концепция системного подхода, соответствующая ноосферному этапу развития науки»[4].

«Системологический подход позволяет, увидеть картину мира как бесконечную и безграничную иерархию функционирующих систем, такую, что функционирование любой системы (целого) поддерживается функционированием ее подсистем (частей) и поддерживает функционирование ее надсистемы (еще более целого)»[5].

Применение системологического классификационного анализа позволит обосновать полученные классификации социальных сетей в Интернете, учесть в них существенные свойства объектов. Данная классификация дает возможность обнаружения и предсказания свойств объектов по их месту в классификации, то есть с точки зрения возможности применения классификации в качестве не только эффективного практического инструмента, но и инструмента теоретического анализа в соответствующей области.

Использование системологического классификационного анализа позволяет сформулировать рекомендации по иерархической структуре реализации функций в социальной сети, их содержательному размещению в меню в соответствии с построенной классификацией. Такое естественное размещение позволит существенно уменьшить нагрузку на пользователя, улучшить его работу, освоение сетей и принципов их функционирования.

Результаты содержательного анализа системы функций социальных сетей. Исследование функций происходило путем практического использования сети с выявлением функции при непосредственной работе с сетью. Из-за слабой структурированности предметной области и различающимся названиям функций в различных сетях, которые на практике зачастую имеют одинаковое функциональное назначение в большинстве сетей, приходилось проходить процесс регистрации (либо просто заходить в рабочее пространство сети) и практически использовать функции социальной сети для определения их функционального назначения. Так же в процессе анализа, возникли трудности из-за не четко сформулированных названий функций, что потребовало дополнительных исследований и проведение сравнительного анализа функций.

Построенные классификации – реализованы в программном средстве Protgt 3.2. Выбор данного программного средства обоснован тем, что Protgt является свободным, открытым редактор онтологий. Protgt имеет открытую, легко расширяемую архитектуру за счет поддержки модулей расширения функциональности, которые находятся в свободном доступе на официальном сайте Protgt[6]. Модель знаний Protgt является ОКВС (Open Knowledge Base Connectivity – это прикладной интерфейс программирования для доступа к базам знаний) совместимой, это позволяет применять в Protgt один настраиваемый интерфейс для обработки различных языков семантической разметки. Примером таких языков является OWL (язык веб-онтологий) [7].

Все вышеперечисленные возможности Protgt, а так же наглядность полученных классификаций послужила причиной использования именно этого программного средства.

Примером классификации системы функций первого уровня иерархии по отношению «часть-целое», приведена классификация функций социальной сети «В Контакте.ru», реализованная в программном средстве Protgt 3.2. (см. рис. 1). Рекомендуемое содержательное размещение функций первого уровня иерархии, с учетом использования системологического классификационного анализа, изображено на рис. 2. В результате анализа было предложено разделить все функции первого уровня иерархии на такие группы: информация пользователя, мои данные, мои сообщения, поиск и функция входа (выхода) из рабочего пространства сети. Такое размещение функций позволит уменьшить нагрузку на пользователя и ускорить процесс поиска необходимой функции, так как оно отображает отношение способности поддержания функционирования целого.

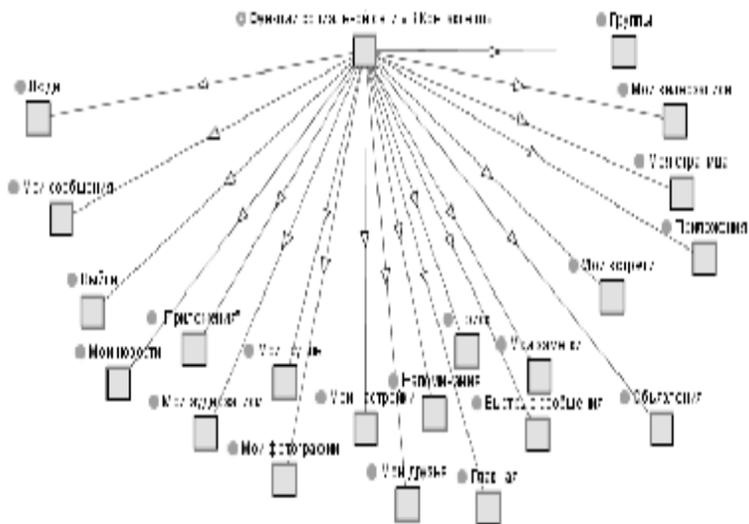


Рис. 1 – Классификация функций социальной сети «В Контакте»

Содержательное размещение функций в социальных сетях, предложенное, как результат проведенного анализа системы функций, облегчит поиск функций для новых пользователей сети, уменьшит смысловую нагрузку на пользователя при работе с сетью, путем уменьшения количества функций на одном уровне иерархии.

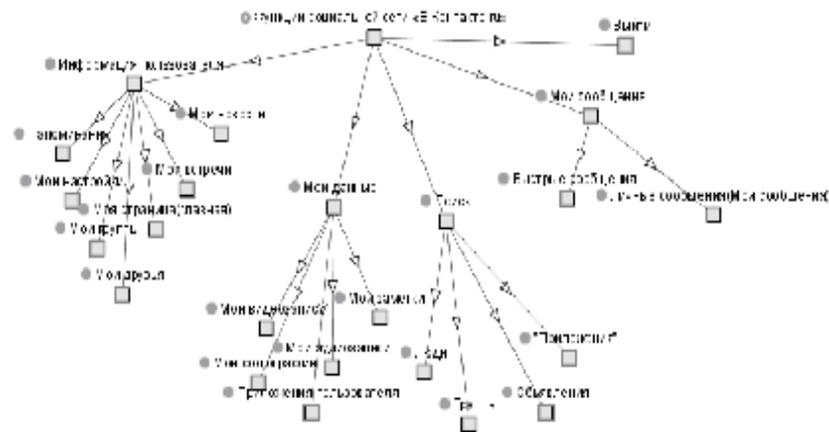


Рис. 2 – Рекомендуемое содержательное размещение функций социальной сети «В Контакте»

Под содержательным размещением понимается – структура функций в меню социальной сети, которая наилучшим образом отображает взаимосвязь функций с учетом систематизации знаний и семантики отношений между ними.

Также систематизация знаний в области функций конкретных социальных сетей поможет систематизировать знания в области рассмотренных социальных сетей в Интернете.

Проанализировав классификации функций социальных сетей, построенных в процессе работы, было выявлено, что большинство социальных сетей имеют ряд схожих функций. В большинстве случаев функциональное назначение совпадало полностью, а название функций существенно отличались, например функция «работа с группами» выступала под названиями «группы», «сообщества», «группы и обсуждения».

Рассмотренные социальные сети имеют ряд недостатков при реализации содержательного размещения функций. Основной причиной таких недостатков является низкий уровень систематизации знаний в данной предметной области. В рассмотренных сетях не соблюдается иерархия связей (функции разных уровней иерархии размещены в меню социальной сети на одном уровне) что затрудняет процесс ознакомления пользователя с социальной сетью и усложняет работу в сети. Для решения таких проблем необходимо располагать функции социальных сетей в меню социальной сети с учетом их функционального назначения.

Знания, полученные при построении вышеуказанных классификаций в области социальных сетей, были использованы для разработки

классификации функций социальных сетей. В дальнейшем полученную классификацию функций социальных сетей можно использовать для построения социальных сетей и усовершенствования функционирования уже существующих.

Построение классификации функций социальных сетей. Для облегчения работы с социальными сетями и дальнейшего изучения предметной области социальные сети, была построена классификация функций социальных сетей с основанием деления по функциональному назначению. Полученная классификация функций социальных сетей в Интернете позволяет легко определить, к какому классу относится та или иная конкретная функция социальных сетей, с которой пользователь может столкнуться в процессе работы с рассмотренными социальными сетями в Интернете. Наибольшее количество функций относится к функциям «поиска» и «работы с ресурсами сети», немаловажными являются также функции «общения». Данную классификацию функций социальных сетей в Интернете можно рассматривать как параметрическую (включающую классификацию свойств), так как из названий классов видно их функциональное назначение.

Далее полученная классификация была реализована в программном средстве построения онтологий Protgt 3.2. (см. рис. 3).

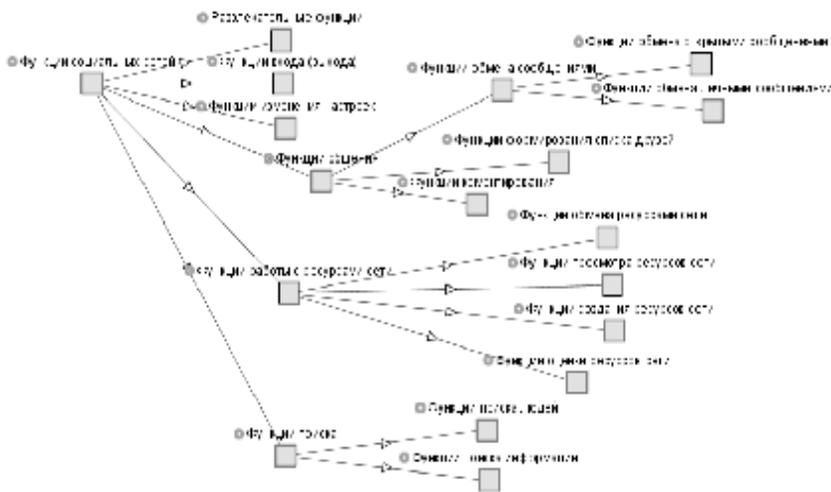


Рис. 3 – Классификация функций социальных сетей, по функциональному назначению реализованная в программном средстве Protgt 3.2.

Поскольку количество функций социальных сетей постоянно увеличивается, данная классификация не является окончательной, и будет совершенствоваться в дальнейшем.

Выводы. Полученные результаты:

1. Проведен анализ родо-видовых определений понятия «социальная сеть»;
2. Проведен анализ системы функций социальных сетей и построены классификации по отношению «часть-целое» функций социальных сетей;
3. Разработаны рекомендации по усовершенствованию функционального меню для социальной сети «В Контакте» на основе системологического классификационного анализа;
4. Построена классификация функций социальных сетей в Интернете;
5. Построенные классификации функций социальных сетей были реализованы с помощью программного средства Protgt 3.2.

Использование данных классификаций позволит в дальнейшем усовершенствовать рассматриваемые сети с функциональной точки зрения, расширить набор их функций. Так же результаты работы можно применить для построения новой социальной сети с учетом полученных результатов.

Использование компаниями социальных сетей позволит объединить усилия сотрудников компании для решения конкретных проблем, создать благоприятный климат в коллективе, проводить непрерывное обучение сотрудников с минимальными финансовыми затратами, производить обмен опытом между сотрудниками в различных сферах знания, ускорить обмен информации внутри компании. Все это поможет компании существенно повысить свой интеллектуальный капитал без использования крупных капиталовложений.

Социальные сети с каждым днем расширяют свой круг пользователей. Пользуясь Интернетом, человек рано или поздно регистрируется в одной из множества социальных сетей. Разработанные модели призваны, в дальнейшем, упростить пользователю выбор социальной сети и сделать его более осознанным.

Список литературы: 1. *Социальные сети.* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://sozial.ru/index.htm> – Последнее обращение 13.02.2010. 2. *Определение “социальной сети”.* Редакции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://wklm.ru/opredelenie-sotsialnoy-seti-redaktsii/> – Последнее обращение 13.02.2010. 3. *Социальная сеть.* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: http://lurkmore.ru/Социальная_сеть – Последнее обращение 15.02.2010 4. *Бондаренко М. Ф. Основы системологии / М. Ф. Бондаренко, Е. А. Соловьева, С. И. Маторин.* – Х: ХТУРЭ, 1998. 5. *Соловьева Е. А. Естественная классификация: системологические основания / Е. А. Соловьева.* – Х: ХТУРЭ, 1999. 6. *Википедия Protgt.* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Protgt> – Последнее обращение 14.03.2010 7. *Несколько слов о протоколе Open Knowledge Base Connectivity (OKBC) и редакторе онтологий Protgt.* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://semantificuture.net/index.php?title> – Последнее обращение 14.03.2010.

А. Е. ГОЛОСКОКОВ, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»;
И. Ю. САВЕЛЬЕВ, студент НТУ «ХПИ»

ПРОЦЕДУРА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА

У даній статті розглянута задача оцінки ефективності системи електронного документообігу. Описано основні проблеми, пов'язані з даною процедурою, показана актуальність даної проблеми й сформульована постановка задачі процедури оцінки ефективності системи електронного документообігу. Здійснено аналіз методів рішення даної задачі. Описано подальші напрямки досліджень.

В данной статье рассмотрена задача оценки эффективности системы электронного документооборота. Описаны основные проблемы, связанные с данной процедурой, показана актуальность данной проблемы и сформулирована постановка задачи процедуры оценки эффективности системы электронного документооборота. Осуществлен анализ методов решения данной задачи. Описаны дальнейшие направления исследований.

This article considers the problem of evaluating the effectiveness of electronic document management system. Describes the main problems associated with this procedure, shown the actuality of the problem and formulate the problem of procedure of evaluating the effectiveness of document management system. Analysis methods for solving this problem. Describes the future directions of research.

Введение и актуальность. В современном постиндустриальном обществе одним из самых значимых и влиятельных факторов научно-технического прогресса являются информационные технологии, которые позволяют решить огромное число самых разнообразных задач, при этом количество таких задач стремительно растет. Одной из наиболее востребованных и актуальных задач информатизации современного общества является задача организации электронного документооборота.

В наше время в производственной деятельности организациями используются сотни пакетов систем электронного документооборота. Более того, существует практика внедрения в организацию не одного, а сразу нескольких пакетов. Менеджмент компаний объясняет это тем, что ни один из пакетов не обладает достаточно полной функциональностью. Как следствие внедрения нескольких информационных систем возникает значительная избыточность информационных потоков. Избыточность требует неоправданного потребления дорогостоящих информационных, технологических и людских ресурсов.

В то же время, на сегодняшний день, задача оценки эффективности проектирования, разработки и внедрения систем электронного документооборота является малоисследованной. Этот факт и актуальность задач электронного документооборота говорят о том, что приведенные в настоящей статье исследования являются актуальными.

Описание объекта исследования. В качестве объекта исследования выступает система электронного документооборота (СЭД), предназначенная для автоматизации финансово-хозяйственной деятельности строительных компаний. Система учитывает специфику бизнес-процессов, связанных со строительством объектов недвижимости, и позволяет в полном объеме управлять созданием, регистрацией, визированием, движением и хранением документов строительной организации. Основные возможности системы и решаемые задачи следующие:

- управление закупками и планирование потребности в материалах;
- оперативное управление складскими запасами;
- управление себестоимостью строительных объектов;
- финансовый и бухгалтерский учет с аналитикой обработкой;
- управление строительными проектами;
- управление взаимоотношениями с клиентами.

Постановка задачи. Для современных компаний внедрение и дальнейшее использование систем электронного документооборота является одним из важнейших процессов, который оказывает влияние на деятельность всей компании и обеспечивает ей сильное конкурентное преимущество. Процесс внедрения новых информационных технологий (ИТ) для каждой компании, является индивидуальным, специфичным, зависящим от многих факторов. Иногда компании могут внедрять информационные технологии, практически не задумываясь об экономическом эффекте. Это возможно в случаях, когда закрываемые ИТ проблемы очевидны и не требуют дополнительных обоснований. В данных случаях мотивом выступает зрелость технологий компании, без которой предприятие просто не может считаться эффективным.

В других случаях эффект посчитать практически невозможно, хотя необходимость внедрения сомнений не вызывает. А иногда подсчет эффекта обходится дороже самой технологии.

В основном во всех случаях внимание уделяется скорее затратам на проект и потенциалу решения, например тому, насколько легко с помощью внедренной системы будут решаться те или иные задачи компании.

Задача обоснования ИТ-инвестиций становится тем острее, чем сильнее дифференцируются функции выделения и распоряжения средств на ИТ-бюджет. Обоснование ИТ-затрат, как инвестиционных затрат, целесообразных и выгодных для конкретной компании, становится все более и более актуальным. Причем для полноценной, качественной оценки результата, следует сделать упор на то, ради чего осуществляется внедрение ИТ-проекта, выделить главную цель и основные положения проекта. И уже на основе этого проводить оценивание эффективности данного проекта. Т.е. можно сказать, что оценивать эффективность внедрения ИТ-системы без оценки эффективности изменения работы предприятия невозможно.

На практике данное утверждение упирается в следующую проблему. На уровне высшего менеджмента организации тот или иной ИТ-проект осуществляется ради проведения определенной стратегической линии – элемента бизнес-стратегии.

При этом важно понимать, что информационные технологии сами по себе не улучшают положение организации на рынке, не сокращают материалоемкость конечной продукции, не повышают конкурентоспособность организации на рынке и т. д., а вооружают управленческий персонал новыми средствами и технологиями. И эффективность их использования напрямую зависит от того, насколько хорошо налажен мост от возможностей информационных технологий к бизнес-возможностям конкретной организации [1].

Для ИТ-проектов, где система электронного документооборота или решения на ее основе занимают центральное место, сложно оценить конкретный денежный эффект. СЭД воспринимается как инфраструктурная система, эффект в лучшем случае описывают словесно, качественно.

Однако СЭД и бизнес-приложения на их основе решают широкий спектр бизнес-задач, где считать отдачу можно и нужно. Можно выделить два класса эффектов, которые может привести ИТ-решение, в том числе СЭД и решения на ее основе. Первый – прямые экономические эффекты. Сюда относим влияние на доходы или сокращение затрат, в частности издержек на внутренние процессы [2].

Второй класс эффектов – влияние на стратегические показатели компании, такие как производительность труда, качество сервиса и другие классические показатели. Ясно, что подсчитать в цифрах степень влияния ИТ-проекта на «глобальные» показатели практически невозможно. Этому есть свое логическое обоснование, во-первых, в любой компании происходят сотни мелких и крупных событий, влияющих на эти показатели. И, соответственно, нужен сложный многофакторный анализ всех этих изменений, который может обойтись дороже самой системы. Во-вторых, изменения, привносимые системой, и влияние на глобальные показатели будут отложенными во времени. Считать глобальные показатели нужно не по результатам конкретного проекта, а периодически, месяц за месяцем, отслеживая динамику улучшений и анализируя принятые за это время решения [3].

Выяснить, на какие глобальные показатели внедренное ИТ-решение, и в частности СЭД, окажет влияние, можно и необходимо, а следовательно и необходима оценки эффективности данного ИТ-решения.

Процедура оценки эффективности СЭД важна и актуальна, однако, на сегодняшний день является слабоизученной и трудноформализуемой процедурой. И целью данной статьи, данного исследования, является попытка формализации данной процедуры и формулировка задачи исследования.

Анализ методов решения задачи. Одной из проблем определения эффективности систем электронного документооборота является выбор методики оценки. В классической литературе, посвященной вопросу оценки эффективности, она рассчитывается по формуле:

$$\text{Эффективность} = \frac{\text{Эффект}}{\text{Затраты}}$$

Затраты – совокупные затраты на приобретение, установку и конфигурирование, сопровождение и поддержку, а также затраты связанные с простоем оборудования во время технического обслуживания или устранения неисправностей.

Эффект – эффект, достигаемый при внедрении СЭД. Однако из-за специфики использования прямой эффект от их внедрения затруднительно определить. Вследствие этого возникает задача выбора метода оценки, все множество которых можно разделить на:

- *Затратные методы.* Оценка производится не на основе измерения конечного продукта или результата, а на основе затраченных ресурсов или сил.
- *Методы оценки прямого результата.* Методика оценивает прямой измеримый результат, например, снижение стоимости владения, повышение функциональности системы, снижение трудозатрат или появление побочного продукта основного трудопроизводства.
- *Методы, основанные на оценке идеальности процесса.* Такие методики базируются на статических или динамических сравнительных алгоритмах. Базовым показателем выбирается объект рассматриваемой системы, тогда идеальной считается информационная система с лучшими для отрасли показателями затрат на единицу выхода. Популярны также подходы на базе сравнения с альтернативным решением.
- *Квалиметрические подходы.* Такие методики комплексно рассматривают информационную систему, организуют ее измерение и обрабатывают полученные результаты статистическими, социологическими и/или экспертными методами.

Кратко рассмотрим методы каждой из групп.

Затратные методы оценки. Котловой метод. Метод основан на определении соотношения объемов вложений в программное обеспечение, включая внедрение и сопровождение, с размерами предприятия и направлениями его бизнеса. Часто данное соотношение задается в виде максимально-допустимого объема вложений по отношению к годовому обороту компании, например не более 1% для небольших компаний и не более 3% для крупных.

Метод функциональной точки. Данный метод используется для приблизительной оценки стоимости создания и внедрения информационной системы (ИС) в зависимости от требований пользователя. Каждое такое требование оценивается как по шкале трудности (легкие, средние и трудные), так и по шкале важности для пользователя. Требования представляются в виде вектора (функциональной точки) в многомерном пространстве. Далее в соответствии с гипотезой «компактности» предполагается, что чем ближе функциональные точки проектов друг к другу в пространстве требований, тем их параметры, включая и эффективность, более схожи. Соответственно в базе ранее внедренных проектов находится такой, чья функциональная точка ближе всего находится к проектируемой ИС, и предполагается, что их эффективности максимально близки.

Совокупная стоимость владения (ТСО – Total cost of ownership). Данный метод предполагает количественную оценку на внедрение и сопровождение программного обеспечения, рассчитываемую по формуле:

$$Z_t^{\text{инт}} = Z_t^{\text{факт}} + \sum_t^T (1 + E)^{-t} \cdot Z_t^{\text{оп}},$$

где $Z_t^{\text{инт}}$ – оценка интегрированных затрат по проекту в момент t ;

E – норма дисконтирования, отражающая временной характер финансовых ресурсов;

$Z_t^{\text{факт}}$ – дисконтированная сумма фактически произведенных интегральных затрат на момент t ;

T – период жизненного цикла системы;

$Z_t^{\text{оп}}$ – оценка интегральных затрат на проект в периоде t .

Модель ТСО позволяет разобраться в структуре расходов, связанных с ИС, и открывает широкие перспективы для их сокращения, также способствует выявлению текущих проблем, обеспечивает постоянную обратную связь в управлении затратами.

Методы оценки прямого результата. *Потребительский индекс (Customer index).* Этот метод предполагает оценку результатов внедрения СЭД в виде совокупности индексов, отражающих положительные изменения в работе компании.

Прикладная информационная экономика (AIE – Applied information economics) – методика аналогична потребителскому индексу, но в отличие от нее также предполагает оценку различных субъективных показателей, например, простота работы с системой, удовлетворенность клиентов и т.п.

Источник экономической стоимости (EVS – Economic value sourced). Представляет собой оценку того, какую пользу СЭД приносит компании при ее использовании, оценивается по четырем показателям: увеличение доходов,

повышение производительности труда, сокращение времени выпуска продуктов, снижение рисков.

Экономическая добавленная стоимость (EVA – Economic value added). Данная методика предполагает определение эффекта как фактическую прибыль от использования СЭД, которая равна чистой операционной прибыли за минусом стоимости капитала. Это позволяет рассматривать ИТ как центр прибыли, а не затрат, при этом четко отображая, как увеличиваются доходы.

Методики, основанные на идеальности процесса. Данные методы основаны на сравнении результатов внедрения СЭД с уже существующими хорошими (идеальными) примерами. И предполагается, чем ближе мы приближаемся к этим примерам, тем выше эффективность внедряемой СЭД. К таким методам относятся:

Среднеотраслевые результаты. В этом случае оценка результативности внедрения СЭД проводится по сравнению со средними отраслевыми результатами. Эти результаты обычно приводятся в открытых публикациях и маркетинговых материалах.

Гартнер-измерение (Gartner Measurement). Согласно этому методу эффективность определяет, насколько данная информационная система соответствует нуждам пользователя. При этом ориентирование идет не только на внутренние возможности системы, но и на субъективное мнение клиентов и объективные данные различных вариантов внедрения. Для этого качественно оцениваются такие критерии как время, затраченное на настройку системы, реализованные функциональные возможности, среднее число пользователей на один сервер, среднее и пиковое число транзакций в единицу времени, стоимость одной транзакции, среднее и пиковое время отклика системы, используемые методы обучения, стоимость инфраструктуры информационной системы на одного пользователя.

На основе такого исследования оценивается конкретный вариант внедрения, при этом он сравнивается с другими (ранее внедренными) и на основе анализа даются рекомендации по улучшению работы информационной системы, подбору оптимальной конфигурации ПО, по наиболее эффективным для данного клиента методикам обучения, по интеграции информационных систем с другими системами заказчика.

Возвратность инвестиций (ROI – Return of investment). Суть методики заключается в выборе для компании типового проекта, оптимального по показателю сроков возврата инвестиций в СЭД.

Квалиметрические методы. *Модель совокупного экономического эффекта (TEI – Total economic impact).* В качестве затратной компоненты данного метода используется модель ТСО, а эффект рассчитывается на основе следующих факторов:

- Преимущества. Сравнение вариантов организации труда существующей и в прогнозируемой информационной системе.

Оценка различий и сопоставление результатов с целями проекта позволяет определить преимущества или недостатки новой информационной системы.

- Гибкость. Гибкость информационной системы оценивается с точки зрения ее расширяемости, а также ее адаптируемости к новым условиям. Одним из гарантов гибкости является использование стандартизированных и унифицированных решений, а также продуманная архитектура информационной системы.
- Риск. Подразумевается вероятность финансовых потерь при инвестировании в ИТ.

Сбалансированная система показателей (BSC – Balanced scorecard). Это система стратегического управления организацией на основе измерения и оценки ее эффективности через использование комплексной функции, включающей набор показателей, учитывающих все аспекты деятельности компании. К таким показателям обычно относят:

- критические факторы успеха (*Critical Factors of Success, CFS*) – стратегические показатели: финансы, клиенты, внутренние бизнес-процессы, обучение и рост;
- ключевые показатели эффективности (*Key performance indicators, KPI*), включая достигнутые результаты деятельности компании.

Состав и количество сбалансированных показателей определяются исходя из специфики каждой компании [4].

Обобщенный критерий. Считается, что производительность информационных систем определяется взвешенным сочетанием эффективности компонент. Использование обобщенного критерия позволит проводить быстрый анализ о состоянии системы документооборота и получать рекомендации о направлении модификации существующей системы или проекта системы документооборота. Следовательно, данная методика оценивания применима как ко всему документообороту в целом, так и ко всем компонентам информационных составляющих документооборота [5].

На основе приведенного обзора методов оценки эффективности СЭД сделаем сравнительный анализ методов, в результате которого определим нужный нам метод. При выборе метода оценки эффективности необходимо учитывать следующие факторы:

- оценка как эффекта, так и затратной компоненты эффективности; возможность определения эффекта;
- возможность определения показателей без проведения глубокого обследования бизнес-процессов организации (данное обследование является очень затратным и трудоемким.);
- универсальность методики – определяется универсальностью параметров и силе их влияния (при изменении) на алгоритм расчета.

Результаты возможности применения различных методов приведены в таблице ниже.

Сравнение методов оценки эффективности СЭД

Метод	Оценка эффекта и затрат	Определение эффекта косвенного СЭД	Необходимость глубокого обследования организации	Универсальность
Котловой метод	затраты	не считается	не требуется	универсален
Метод функциональной точки	эффект, затраты	применим	не требуется	не универсален
TCO	затраты	не считается	не требуется	универсален
Потребительский индекс	эффект	не применим	требуется	не универсален
AIE	эффект	применим	не требуется	универсален
EVS	эффект	не применим	требуется	не универсален
EVA	эффект, затраты	применим	требуется	универсален
Среднеотраслевые результаты	эффект	не применим	не требуется	универсален
Gartner Measurement	эффект, затраты	применим	не требуется	универсален
Return of investment	эффект, затраты	не применим	не требуется	универсален
TEI	эффект, затраты	применим	не требуется	универсален
BSC	эффект, затраты	применим	требуется	универсален
Обобщенный критерий	эффект, затраты	применим	не требуется	универсален

Анализ показал, что три метода оценки соответствуют всем перечисленным факторам: Gartner Measurement, TEI и обобщенный критерий.

Особенность использования метода Gartner Measurement для оценки эффективности, является необходимость в большой и подробной базе данных (БД) ранее проведенных инсталляций. Что делает его использование весьма затруднительным.

Что касается метода TEI, то его использование для оценки эффективности не нуждается в наличие большой БД, а использование модели TCO в качестве затратной компоненты данного метода позволяет полностью разобраться в структуре расходов связанных с ПО. Эффект рассчитывается на основе дополнительных факторов, которые позволяют определить преимущества или недостатки новой информационной системы, оценить

гибкость, а так же учесть возможные финансовые риски при внедрении новой СЭД. Все это позволяет получить достаточно точную оценку.

Однако более комплексным и подходящим является метод оценки эффективности на основе обобщенного критерия. Задача оценки эффективности СЭД заключается в получении критериев оценки, которые позволяют с высокой степенью адекватности оценивать проектирование, разработку и внедрения систем электронного документооборота. Для этого предварительно необходимо решить следующие задачи:

- выявить набор критериев, которые позволяют провести оценку эффективности СЭД;
- из полного списка критериев, выделить достаточный список;
- определить корреляцию между выбранными критериями;
- изучить характер корреляции и связность критериев;
- выяснить степень зависимости каждого критерия и каждой связи между критериями от субъективности оценивающих экспертов.

В результате решения вышеописанных задач, получается некоторый список критериев, между которыми устанавливаются связи. Полученный связный критерий позволяет проводить две оценки – качественная оценка и количественная оценка. Качественная оценка включает в себя большее количество параметров и поэтому является более общей. Следовательно, дает менее точные результаты, но является более объективной. Количественная оценка включает в себя меньше параметров, дает более точные оценки, но является более громоздкой в расчетах и дает более субъективные результаты.

С использованием данного комплексного критерия планируется проводить процедуру оценки эффективности системы электронного документооборота, для облегчения процедуры будет разработано соответствующее программное обеспечение. На основе которого, будут проведены численные исследования и анализ данной процедуры, выявлены достоинства и недостатки данного решения, а также сформулированы соответствующие предложения по улучшению данной процедуры.

Список литературы: 1. *Беляев Д.* Оценка эффективности информационных систем управления. [Электронный ресурс]: / *Д. Беляев* // – режим доступа к статье: <http://bda-expert.com/2010/08/ocenka-effektivnosti-informacionnyh-sistem-upravleniya>. – Название с экрана. 2. *Круковский М. Ю.* Оценка эффективности систем Workflow / *М. Ю. Круковский* // Корпоративные системы. – 2007. – №1. – С. 14–18. 3. *Круковский М. Ю.* Критерии эффективности систем электронного документооборота / *М. Ю. Круковский* // Системы підтримки прийняття рішень. Теорія і практика. – 2005. – С. 107–111. 4. *Волков И.* Оценка эффективности информационных систем. [Электронный ресурс]: / *И. Волков, А. Денисов* // – режим доступа к статье: http://www.ibm.com/developerworks/ru/library/1-otcenka_effektivnosti_2. – Название с экрана. 5. *Болгаров А. Д.* Критерии эффективности внедрения и функционирования национальной программы информатизации Украины / *А. Д. Болгаров* // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2009. – С. 134–142.

Надійшла до редколегії 10.11.2010

УДК 519.7

Г. Г. СЕРГЕЕВ, канд. техн. наук, доц. СевНТУ, г. Севастополь

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РЕФАКТОРИНГА НА ОСНОВЕ СИМВОЛЬНОЙ ЗАПИСИ СТРУКТУРЫ КЛАССОВ

В статті пропонується символічний запис структури класів програмної системи як засобу абстрактного синтаксису та семантики понять об'єктного моделювання. Розглядаються операції над символічним записом і їх вживання в процесі оптимізації програмних систем.

В статье предлагается символьная запись структуры классов программной системы как средства абстрактного синтаксиса и семантики понятий объектного моделирования. Рассматриваются операции над символьной записью и их применение в процессе рефакторинга программных систем.

In this paper symbol record of class structure is offered. It is tools abstract syntax and semantics where objective design used. Operations above a symbol record are declaring. Process of code refactoring are supported by.

Введение. В настоящее время практически все программное обеспечение использует средства объектно-ориентированного программирования. Именно это объясняет исключительную важность задач, связанных с облегчением сопровождения и развития существующего программного кода [1]. В то же время, этим задачам уделяется недостаточное внимание, ощущается явный недостаток методик и эффективных инструментов поддержки работы с существующим кодом. При разработке объектно-ориентированных систем, необходимо решать две классических задачи: задачу анализа и задачу синтеза. Решение задач синтеза во многом автоматизировано средствами различных CASE систем, Framework и т.п. Для моделирования бизнес-процессов системного проектирования и отображения организационных структур в большинстве приложений используется язык UML. В работах [2, 3] рассматривается использование UML-диаграмм для решения задачи синтеза и декларативные подходы к решению задачи анализа. Однако решение задачи анализа на основе UML не формализовано, а сама диаграмма не дает возможности выполнять формальные преобразования над классами с целью рефакторинга проекта [4].

Формальное представление структуры классов программных объектов в виде символьной записи. На основании материалов работы [2], можно утверждать, что класс – это триплет вида $C = \{Pv, Pt, Pb\}$, где Pv, Pt, Pb – множество частных, защищенных и публичных данных и методов класса. С другой стороны, основываясь на свойстве инкапсуляции, класс – это пара $C = \{F, M\}$, где F – множество полей, а M – множество методов класса. Таким образом,

$$C = \{PvF \cup PvM, PtF \cup PtM, PbF \cup PbM\} \quad (1)$$

где PvF, PtF, PbF - множество частных, защищенных и публичных полей класса, PvM, PtM, PbM - множество частных, защищенных и публичных методов класса. Очевидно, что $PvF \in F, PtF \in F, PbF \in F, PvM \in M, PtM \in M, PbM \in M, PvF \mathbf{I} PtF = \emptyset, PvF \mathbf{I} PbF = \emptyset, PtF \mathbf{I} PbF = \emptyset, PvM \mathbf{I} PtM = \emptyset, PvM \mathbf{I} PbM = \emptyset, PtM \mathbf{I} PbM = \emptyset, PvF \cup PtF \cup PbF = F, PvM \cup PtM \cup PbM = M.$

Для описания структуры класса в виде символической записи предлагается следующая нотация. Символ, обозначающий атрибут класса, записывается как N^{type} , где N - имя поля, а $type$ - тип поля. Метод класса предлагается записывать как $Meth_{prim}^{type}(param)$, где $Meth$ - идентификатор метода, $param$ - перечень формальных параметров, а $prim \subseteq [virtual, abstract, override]$. Допустимо, что $prim = \emptyset$ и/или $param = \emptyset$. Класс определяется как $Cname_{Cprim}$, где $Cprim = abstract|\emptyset$. Синтаксис символической записи структуры класса определяется грамматикой, представленной в таблице 1.

Таблица 1 – Грамматика символической записи структуры класса

$\langle ClassDeclare \rangle \mathbf{\hat{a}} \langle CN \rangle = \langle CNbase \rangle + \{ \langle PrvF \rangle, \langle PrvM \rangle \}; \{ \langle PtF \rangle, \langle PtM \rangle \}; \{ \langle PubF \rangle, \langle PubM \rangle \}$	
$\langle CN \rangle \mathbf{\hat{a}} \langle id \rangle \langle Cprim \rangle$	$\langle FIELD \rangle \mathbf{\hat{a}} \langle id \rangle \langle type \rangle$
$\langle PrvF \rangle \mathbf{\hat{a}} \langle FIELD \rangle$	$\langle FIELD \rangle \mathbf{\hat{a}} \epsilon$
$\langle PtF \rangle \mathbf{\hat{a}} \langle FIELD \rangle$	$\langle METHODS \rangle \mathbf{\hat{a}} \langle METHOD \rangle$
$\langle PubF \rangle \mathbf{\hat{a}} \langle FIELD \rangle$	$\langle METHODS \rangle \mathbf{\hat{a}} \langle METHOD \rangle, \langle METHODS \rangle$
$\langle PrvM \rangle \mathbf{\hat{a}} \langle METHODS \rangle$	$\langle METHOD \rangle \mathbf{\hat{a}} \langle id \rangle \langle type \rangle \langle prim \rangle \langle param \rangle ()$
$\langle PtM \rangle \mathbf{\hat{a}} \langle METHODS \rangle$	$\langle Cprim \rangle \mathbf{\hat{a}} abstract \epsilon$
$\langle PubM \rangle \mathbf{\hat{a}} \langle METHODS \rangle$	$\langle prim \rangle \mathbf{\hat{a}} virtual abstract override \epsilon$
$\langle FIELD \rangle \mathbf{\hat{a}} \langle FIELD \rangle, \langle FIELD \rangle$	$\langle CNbase \rangle \mathbf{\hat{a}} \langle id \rangle + \epsilon$

Таким образом, в символическом виде описание нового класса $newClass$, порожденного от базового класса $baseClass$ это выражение вида

$$newClass = baseClass + \{ [PvF, PvM], [PtF, PtM], [PbF, PbM] \}$$

Рассмотрим пример символической записи структуры классов, показанной в виде UML-диаграммы на рис. 1.

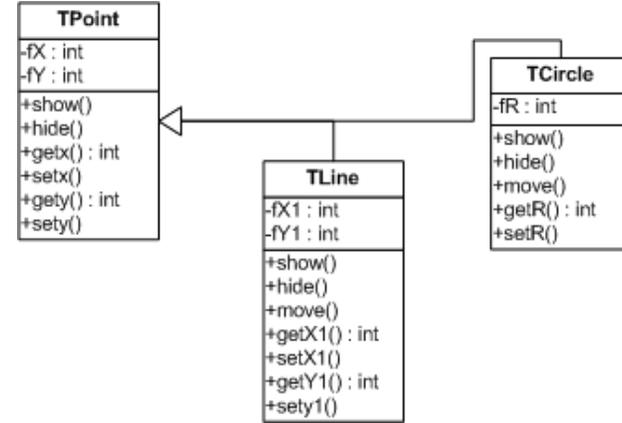


Рис. 1 – UML-диаграмма представления классов геометрических фигур

$$TPoint = \left\{ [fX^{int}, fY^{int}], [], [show_{virtual}(), hide_{virtual}(), getX_{virtual}(), setX_{virtual}(newX^{int}), getY_{virtual}(), setY_{virtual}(newY^{int})] \right\},$$

$$TLine = Tpoint + \left\{ [fX1^{int}, fY1^{int}], [], [show_{override}(), hide_{override}(), getX1_{virtual}(), setX1_{virtual}(newX1^{int}), getY1_{virtual}(), setY1_{virtual}(newY1^{int})] \right\},$$

$$TCircle = Tpoint + \left\{ [fR^{int}], [], [show_{override}(), hide_{override}(), getR_{virtual}(), setR_{virtual}(newR^{int})] \right\}.$$

Очевидно, что символическая запись структуры классов компактнее соответствующей ей UML-диаграммы. Определим на основании предложенной символической записи операции над классами для решения задачи анализа структуры проекта и его последующего рефакторинга.

Определим для двух произвольных классов $C1$ и $C2$ операцию пересечения, которую будем записывать как $C1 \mathbf{I} C2$. Введем в рассмотрение функцию $I(c_1, c_2) = [c_1 \setminus (c_1 \mathbf{I} c_2), c_2 \setminus (c_1 \mathbf{I} c_2)]$. Пусть операция $C1 \mathbf{I} C2$ в соответствии со спецификацией (1) определяется как:

$$baseC = \left\{ \begin{array}{l} [PvF_{C1} \mathbf{I} PvF_{C2}, PvM_{C1} \mathbf{I} PvM_{C2}] \\ [PtF_{C1} \mathbf{I} PtF_{C2}, PtM_{C1} \mathbf{I} PtM_{C2}] \\ [PbF_{C1} \mathbf{I} PbF_{C2}, PbM_{C1} \mathbf{I} PbM_{C2}] \end{array} \right\},$$

$$C1 \mathbf{I} C2 = baseC + \left\{ \begin{array}{l} [I(PvF_{C1}, PvF_{C2}), I(PvM_{C1}, PvM_{C2})], \\ [I(PtF_{C1}, PtF_{C2}), I(PtM_{C1}, PtM_{C2})], \\ [I(PbF_{C1}, PbF_{C2}), I(PbM_{C1}, PbM_{C2})] \end{array} \right\}$$

Базовый класс *baseC* – это ближайший общий предок в дереве иерархии или единый базовый класс *BaseObject* (*NSObject*, *java.lang.Object*, *System.Object*, *TObject* и т. п.), если такого не существует. Если реализация методов с одинаковым объявлением *PvM*, *PtM*, *PbM* различна для операндов операции пересечения, то в результате пересечения они получают дополнительный префикс *abstract*. Проиллюстрируем операцию строгого пересечения на примере UML-диаграммы классов, представленных на рис. 2.

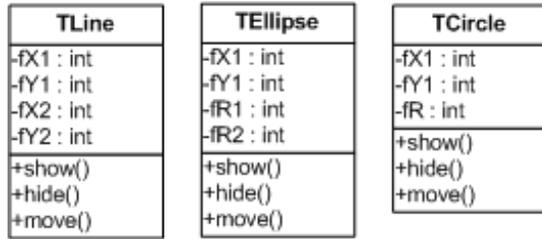


Рис. 2 – UML-диаграмма классов без общего предка

$$TEllipse \mathbf{I} TLine = BaseObject + \left\{ \begin{array}{l} [fX1^{int}, fY1^{int}] [], \\ [show_{virtual,abstract}(), \\ hide_{virtual,abstract}(), move()] \end{array} \right\}$$

$$TEllipse \mathbf{I} TCircle = TEllipse \mathbf{I} TLine$$

$$TCircle \mathbf{I} TCircle = TEllipse \mathbf{I} TLine$$

Результатом пересечения классов, как правило, является новый класс или общий предок классов, заявленных в качестве операндов. Таким же образом определяем операцию вычитания классов $C1 \setminus C2$:

$$C1 \setminus C2 = \left\{ \begin{array}{l} [PvF_{C1} \setminus PvF_{C2}, PvM_{C1} \setminus PvM_{C2} + \bigvee_{Mi \in C1} Mi_{abstract}] \\ [PtF_{C1} \setminus PtF_{C2}, PtM_{C1} \setminus PtM_{C2} + \bigvee_{Mi \in C1} Mi_{abstract}] \\ [PbF_{C1} \setminus PbF_{C2}, PbM_{C1} \setminus PbM_{C2} + \bigvee_{Mi \in C1} Mi_{abstract}] \end{array} \right\}$$

То есть операция вычитания есть традиционное вычитание множеств полей и методов класса с учетом необходимости перегрузки абстрактных методов.

Решение задачи рефакторинга на основе символьной записи. Образование новых классов в результате выполнения операции пересечения является основой для процесса рефакторинга, описанного в [3]. При этом следует действовать по следующему формальному алгоритму вне зависимости от лингвистических сред и особенностей реализации.

Шаг 1. Выполнить преобразование в символьную запись всех объявлений классов программной системы.

Шаг 2. Для всех классов, имеющих общего предка в дереве иерархии выполняется операция строгого пересечения: $TParentObject = \mathbf{I} C_i$.

Шаг 3. Если результат операции пересечения не равен $TParentObject \neq BaseObject$, определяем новый класс предка.

Шаг 4. Выполняем рефакторинг кода путем вычитания из каждого класса C_i класса $TParentObject$.

Рассмотрим пример рефакторинга программных классов, представленных на рисунке 2.

$$TFigure = BaseObject + \left\{ \begin{array}{l} [fX1^{int}, fY1^{int}] [], \\ [show_{virtual,abstract}(), hide_{virtual,abstract}(), move()] \end{array} \right\}$$

$$TLine = TFigure + \{ [fX2^{int}, fY2^{int}] [], [show_{override}(), hide_{override}()] \}$$

$$TEllipse = TFigure + \{ [fR1^{int}, fR2^{int}] [], [show_{override}(), hide_{override}()] \}$$

$$TCircle = TFigure + \{ [fR^{int}] [], [show_{override}(), hide_{override}()] \}$$

Выводы. Формальный подход к решению задачи рефакторинга программных систем на основе символьной записи структуры классов является основой для построения программного продукта, позволяющего выполнять автоматизированный рефакторинг архитектуры программных систем практически без участия программиста.

Список литературы: 1. Ксензов М. В. Рефакторинг архитектуры программного обеспечения / М. В. Ксензов // Труды института системного программирования РАН. – 2004. – Т. 8. – С. 180–192. 2. Буч Г. Язык UML. Руководство пользователя / Д. Рамбо, А. Джексонсон. – СПб. : ДМК Пресс, 2007. – 435 с. 3. Буч Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование приложений на С++ / Г. Буч. – М. : Бином, 1998. – 560 с. 4. Фаулер М. Рефакторинг: улучшение существующего кода / М. Фаулер. – СПб. : Символ, 2003. – 432 с.

В. А. КОЛБАСИН, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ»;
Е. А. ЖЕЛУДКОВА, магистрант НТУ «ХПИ»

МЕТОД ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОПЕРАТОРА ТОНАЛЬНОЙ КОМПРЕССИИ

У статті запропоновано чисельний критерій оцінки якості роботи операторів тональної компресії. Розглянуто головні фактори, які впливають на сприйняття перетвореного зображення глядачем. Виконано порівняння візуальних оцінок якості перетворення зображень найбільш поширеними операторами тональної компресії з оцінками, що були отримані за запропонованим критерієм.

В статье предложен численный критерий оценки качества работы операторов тональной компрессии. Рассмотрены основные факторы, влияющие на восприятие преобразованного изображения зрителем. Выполнено сравнение визуальных оценок качества преобразования изображений наиболее распространенными операторами тональной компрессии с оценками, полученными при помощи предложенного критерия.

The numerical criterion for the quality of tone mapping operator was proposed. The main factors which affected on human perception of converted image were considered. For most common tone mapping operators visual and numerical estimates, which are calculated using proposed method, were compared.

Введение. В последнее десятилетие в компьютерной графике и цифровой обработке изображений все большее внимание уделяется работе с растровыми изображениями с расширенным динамическим диапазоном (High Dynamic Range Imaging, HDR). Такие изображения хранят информацию об интенсивностях цветовых компонент пикселя в виде чисел с фиксированной точкой большой разрядности или в виде чисел с плавающей точкой и позволяют передавать по каждому цветовому каналу намного больше 256 градаций интенсивности, обеспечиваемых стандартной моделью RGB. За счет этого становится возможным более точно передавать перепады яркостей реальных сцен и обеспечивать пропорциональность данных изображения физическим величинам освещенности, что в перспективе может позволить отделить исходные данные изображения от его представления, пригодного для отображения на конкретном устройстве вывода.

Однако, динамический диапазон большинства устройств вывода существенно меньше как динамического диапазона устройств ввода (фотоаппаратов, сканеров и т.д.), так и человеческого глаза. Поэтому для отображения HDR изображения на неспециализированном устройстве вывода необходимо его преобразовать к более узкому, малому динамическому диапазону (Low Dynamic Range, LDR) устройства вывода. Такое преобразование называется тональной компрессией (tone mapping).

Из-за большой разницы динамических диапазонов простое линейное преобразование значений интенсивностей пикселей может привести к потере деталей изображения, поэтому операторы тональной компрессии являются

нелинейными и могут быть локальными, т.е. учитывать освещенность в окрестности преобразуемого пикселя. Такое преобразование, по сути, является модификацией исходного изображения и может исказить восприятие преобразованного изображения зрителем.

Выделению критериев, по которым можно оценить результат выполнения тональной компрессии, и сравнительному анализу методов тональной компрессии посвящены работы [1, 2]. Однако методов автоматической оценки качества тональной компрессии в данных работах не предлагается. Таким образом, целью данной работы является создание метода для численной оценки качества тональной компрессии, пригодного для частично или полностью автоматизированного выбора метода тональной компрессии для конкретного изображения.

Качество работы оператора тональной компрессии. Преобразование HDR изображения к более узкому динамическому диапазону не может быть выполнено без потерь, однако в идеальном случае эффект от визуального восприятия получившегося LDR изображения должен быть таким же, как и от восприятия исходной сцены. Из выделенных в [1] критериев, на наш взгляд, наиболее сильно на восприятие преобразованного изображения влияют следующие два:

- сохранение соотношения яркостей разных частей изображения;
- сохранение деталей изображения.

Первый критерий определяет, насколько в результате применения тональной компрессии сохраняется характер соотношения яркостей различных частей (сегментов) изображения. Чем больше он сохраняется, тем лучше воспринимается изображение. Для иллюстрации этого, рассмотрим изображение зимнего пейзажа: в нем после выполнения тональной компрессии небо должно остаться светлее снега, а снег должен остаться светлее деревьев. Естественно, что отношения абсолютных значений яркостей соответствующих участков в HDR и LDR изображениях не будут совпадать, но характер отношения должен оставаться неизменным.

Второй критерий определяет, насколько визуально различимыми остаются детали изображения после применения тональной компрессии. Чем больше деталей, видимых на исходной сцене, остается различимыми после тональной компрессии и чем меньше появляется новых деталей, неразличимых на исходной сцене, тем лучше. Например, для того же зимнего пейзажа на результирующем изображении должны быть видны границы облаков, детали леса и рельеф снега, если они были различимы на исходном HDR изображении.

Для численной оценки степени выполнения описанных выше критериев HDR и LDR изображения необходимо разбить на сегменты, отвечающие участкам различной освещенности. Однако, учитывая сложность решения такой задачи и априорную неопределенность количества сегментов изображения, в данной работе было принято решение использовать заранее

задаваемое разбиение изображения на части, так как это делается в системах экспонетрического замера фотоаппаратов. За основу была взята самая простая зонная система замера, предполагающая разбиение кадра на 6 частей по длинной и на 4 части – по короткой стороне

Исходя из принятой схемы разбиения изображения сформулируем численные оценки выполнения выбранных критериев.

Обозначим $Sh_{i,j}$ и $Sl_{i,j}$ средние яркости сегментов i, j HDR и LDR изображений соответственно. Нормированные средние яркости $\tilde{Sh}_{i,j}$ и $\tilde{Sl}_{i,j}$ будут вычисляться по формуле:

$$\tilde{Sh}_{i,j} = \frac{Sh_{i,j} - \min Sh_{i,j}}{\max Sh_{i,j} - \min Sh_{i,j}}, \quad \tilde{Sl}_{i,j} = \frac{Sl_{i,j} - \min Sl_{i,j}}{\max Sl_{i,j} - \min Sl_{i,j}} \quad (1)$$

Оценку изменения относительной яркости участков изображения после выполнения тональной компрессии запишем в виде:

$$L = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^4 (\tilde{Sh}_{i,j} - \tilde{Sl}_{i,j})^2 \quad (2)$$

Для линейного отображения HDR изображения в LDR значение (2) будет равно 0, с ростом нелинейности преобразования оно будет увеличиваться.

Различимость деталей на изображении во многом определяется величиной перепада яркости по контурам объектов на изображении. Чтобы оценить выраженность контуров и убрать области равномерной яркости, применим к изображению фильтр Собеля [3]. Полученное в результате его применения изображение обозначим E .

Контур является визуально различимым, если перепад яркостей на нем больше некоторого порогового значения. Однако нахождение порогового значения представляет определенную проблему для HDR изображения, так как такое изображение невозможно адекватно отобразить, а только лишь по его цифровому представлению сложно определить, какие детали увидел бы зритель, наблюдай он исходную сцену.

Исходя из того, что для LDR изображений значение порогового уровня различимости Tl составляет около 10 единиц освещенности по 256 уровневой шкале, можно предположить, что для HDR изображения, аналогичное соотношение будет действовать внутри участка одной освещенности. Иными словами, предлагается для HDR изображений использовать в качестве порогового уровня различимости контуров 1/12 от средней яркости изображения на данном участке, но не менее, чем некоторый

порог T , определяемый экспериментально для каждой камеры и способа создания HDR изображения:

$$Th_{i,j} = \begin{cases} Sh_{i,j}/12 & Sh_{i,j}/12 > T \\ T & Sh_{i,j}/12 \leq T \end{cases} \quad (3)$$

Тогда для количественной оценки наличия визуально различимых контуров будем использовать отношение количества точек в сегменте изображения E , значение которых больше соответствующего порога, к общему количеству точек в данном сегменте:

$$Ch_{i,j} = \frac{CntH_{i,j}}{w \cdot h}, \quad Cl_{i,j} = \frac{CntL_{i,j}}{w \cdot h}, \quad (4)$$

где w, h - длина и высота сегмента изображения;

$CntL_{i,j}, CntH_{i,j}$ - количество точек изображения E , значение которых больше порогового значения для HDR и LDR изображений, соответственно.

Величина изменения визуально различимой контрастности изображения определяется из нормированных по изображению оценок (4) $\tilde{Ch}_{i,j}, \tilde{Cl}_{i,j}$ как:

$$D = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^4 (\tilde{Ch}_{i,j} - \tilde{Cl}_{i,j})^2 \quad (5)$$

Поскольку разные зрители могут акцентировать внимание на разных критериях качества тональной компрессии, итоговый критерий качества будет представлять собой взвешенную сумму:

$$K = a \cdot L + b \cdot D, \quad (6)$$

где a, b - коэффициенты учета каждого критерия.

Результаты. Данный критерий качества был применен для оценки качества тональной компрессии HDR-изображений, полученных из 12-битных данных с матрицы цифрового фотоаппарата (RAW-файлов). Для выполнения тональной компрессии были использованы методы, предложенные в работах [4,5,6]. Результаты сравнения и тестовые изображения представлены в таблице и на рисунке ниже.

Результаты сравнения методов тональной компрессии

	Пейзаж		Арка		Аудитория		Улица		Закат	
	<i>L</i>	<i>D</i>	<i>L</i>	<i>D</i>	<i>L</i>	<i>D</i>	<i>L</i>	<i>D</i>	<i>L</i>	<i>D</i>
Drago, [4]	2,06	5,33	0,19	8,07	0,9	7,47	0,64	0,82	4	4,67
Pattanik, [5]	0,96	3,96	0,20	12,35	0,57	9,91	0,36	2,11	3,03	2,27
Renhard, [6]	2,33	5,96	0,16	7,99	0,81	7,5	0,7	1	4,31	5,48



Тестовые изображения

При визуальном анализе изображений, полученных в результате тональной компрессии, было обнаружено, что оператор [5] чрезмерно увеличивает локальный контраст однородных темных участков изображения (парты в изображении «аудитория» и стены в изображении «арка»), что отражается в увеличении значения компоненты D критерия. С другой стороны, он обеспечивает сохранение общей схемы освещения изображения и детализации при отсутствии однородных областей на изображении (см. изображения «закат» и «пейзаж»), что также отражается в значениях предложенного критерия. Наиболее сложным для анализа стало изображение «улица», поскольку визуально приемлемым были как результат работы метода [5] с избыточным контрастом, так и результат работы метода [4].

Таким образом, оценки качества работы метода тональной компрессии, вычисленные с использованием предложенного метода, в целом совпадают с визуальными оценками, и предложенный критерий может найти применение при автоматической оценке качества работы методов тональной компрессии.

Список литературы: 1. *Yoshida A.* Testing tone mapping operators with human-perceived reality / *A. Yoshida, V. Blanz, K. Myszkowski, H-P. Seidel* // Journal of Electronic Imaging. – 2007. – Vol. 16, № 1. – P. 013004 1–14. 2. *Čadik M.* Evaluation of HDR Tone Mapping Methods Using Essential Perceptual Attributes / *M. Čadik, M. Wimmer, L. Neumann [at al.]* // Elsevier. Computers & Graphics. – 2008. – Vol. 32, I. 3. – P. 330–349. 3. *Яне Б.* Цифровая обработка изображений / *Б. Яне* – М.: Техносфера, 2007. – 584 с. 4. *Drago F.* Adaptive Logarithmic Mapping For Displaying High Contrast Scenes / *F. Drago, K. Myszkowski, T. Annen [at al.]* // Proc. of Eurographics, 2003. – Vol. 22. – P. 419–426. 5. *Biswas K.K.* A simple spatial tone mapping operator for high dynamic range images / *K.K. Biswas, S. Pattanaik* // Proc. of 13th Color Imaging Conference, 2005. – P. 291–296. 6. *Reinhard E.* Dynamic Range Reduction Inspired by Photoreceptor Physiology / *E. Reinhard, K. Devlin* // IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics. – 2005. – Vol. 11. – P. 1077–1089.

Надійшла до редакції 16.06.2010

УДК 519.2

А. А. ЗЕМЛЯНОЙ, ассистент каф. АСУ НТУ «ХПИ»;
Н. В. ТКАЧУК, д-р техн. наук, проф. каф. АСУ НТУ «ХПИ»

КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА ПРОТОТИПИРОВАНИЯ КОМПОНЕНТНЫХ ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА

Розглядаються проблеми забезпечення якості компонентних програмних рішень, зроблено огляд існуючих технологій забезпечення якості. Дається короткий опис запропонованої технології прототипування програмних систем та розглянуто комплексну методику оцінки ефективності технологій забезпечення якості.

Рассматриваются проблемы обеспечения качества компонентных программных решений, представлен обзор существующих технологий обеспечения качества. Приводится краткое описание предлагаемой технологии прототипирования программных систем и рассматривается комплексная методика оценки эффективности технологий обеспечения качества.

Problems of quality assurance for component software solutions are considered. An overview of existing technologies for quality assurance is provided. A short description of the suggested prototyping technology for software systems is provided and the complex methodology for estimation of quality assurance technologies is considered.

Введение. В процессах разработки программного обеспечения (ПО) при условиях ограниченности ресурсов различных видов (временных, финансовых и других) и с учетом уровня требований, предъявляемых к разрабатываемой системе, актуальной является проблема обеспечения качества ПО на самых ранних этапах жизненного цикла программной системы (ПС). Обеспечение качества предполагает, что готовый продукт, помимо желаемой функциональности, будет соответствовать ряду заданных нефункциональных характеристик или атрибутов качества (quality attribute) ПО. С этой целью на ранних этапах разработки ПС должны применяться специфические средства, которые призваны с достаточной степенью точности дать оценку предполагаемых значений атрибутов качества, учитывая имеющуюся информацию о разрабатываемой системе. В настоящее время к таким средствам относится целый ряд развивающихся методов и технологий моделирования ПС, основанных на аналитических, метрических, имитационных моделях, а также прототипах, которые можно объединить под общим названием технологий обеспечения качества (ТОК) ПО [1].

В зависимости от типа разрабатываемой ПС возникает необходимость в обеспечении тех или иных ее атрибутов качества. Согласно SWEBOOK (Software Engineering Body of Knowledge) [2] выделяются такие основные атрибуты качества ПО как: производительность (performance), надежность (reliability), функциональность (functionality), сопровождаемость (maintainability), удобство использования (usability). Так, например, в

автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУ ТП) в виду протекания процессов в режиме реального времени и критичности сбоев на первый план выходят характеристики производительности и надежности ПС.

Поскольку число существующих ТОК, предназначенных для ПС различной степени сложности и для различных предметных областей, постоянно возрастает, возникает проблема выбора эффективной ТОК в зависимости от типа разрабатываемой ПС. Целью исследований в данной статье является комплексная методика оценивания эффективности технологий прототипирования компонентных ПС.

Существующие технологии обеспечения качества программных систем. В настоящее время используются ТОК самых различных типов: с использованием аналитических моделей [3], метрических оценок, имитационных моделей, а также прототипов [4]. Для расчета показателей качества наиболее широко используются аналитические модели на основе теории массового обслуживания, разнообразных модифицированных моделей очередей, маркированных сетей Петри. Метрические оценки производительности позволяют вычислить количественные ресурсные характеристики отдельных блоков ПС на основе их графов выполнения. Недостаток оценок таких типов в том, что они могут дать лишь приблизительную оценку характеристик. С ростом сложности разрабатываемой ПС также значительно увеличивается сложность построения таких моделей. В таком случае могут использоваться имитационные модели ПС, которые позволяют исследовать более сложные системы с более высокой точностью. Имитационные модели могут быть реализованы как с помощью специфических программных решений, так и при помощи универсальных средств имитационного моделирования (GPSS, Arena, Matlab/Simulink). Недостаток использования имитационного моделирования состоит в том, что хотя трудозатраты на моделирование поведения системы высоки, эти модели не могут быть использованы в дальнейшем в ходе разработки как компоненты создаваемой ПС. Одновременно и оценки, и готовые для использования компоненты позволяют получить ТОК с использованием прототипов. Они основаны на различных подходах и инструментальных средствах, например Computer-Aided Prototyping System (CAPS), Ripple, Axure RP Pro, iRise Studio. Стоит отметить, что данные средства позволяют преимущественно прототипировать только функциональные характеристики ПС, но не другие характеристики качества. В связи с этим была разработана Интегрированная Технология Эволюционного Прототипирования (ИТЭП), которая позволяет исследовать характеристики надежности и производительности ПС при помощи эффективной технологии обеспечения качества [5, 6]. Общая схема рассматриваемой технологии прототипирования в нотации IDEF1X представлена на рис. 1.

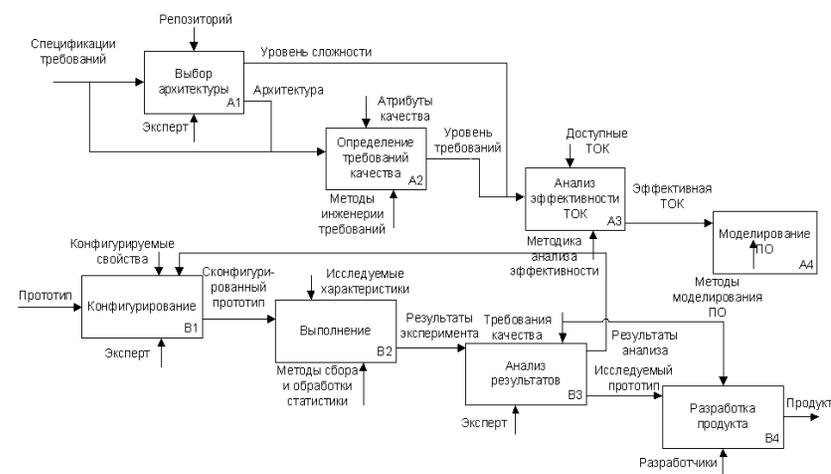


Рис. 1 – Общая схема технологии прототипирования ПС

Технология прототипирования компонентных программных систем. ИТЭП состоит из набора взаимосвязанных логических блоков, которые в комплексе позволяют решить такие задачи процесса исследования качества, как определение требований к качественным характеристикам ПС, выбор архитектуры проектируемого решения, выбор наиболее эффективной технологии обеспечения качества, конфигурирование свойств каждого из компонентов, входящих в выбранную архитектуру, сборка, запуск и выполнение прототипа, сбор статистических данных в ходе его выполнения, а также анализ собранных данных и расчет результатов.

Блок выполнения прототипа с целью сбора данных и блок анализа данных реализованы в виде отдельных программных инструментов, которые при помощи заданных интерфейсов подключаются к компонентам прототипа в процессе его выполнения. Сбор данных по predetermined параметрам производится в режиме реального времени с последующим накоплением в базе данных. После завершения работы прототипа производится анализ накопленных данных с целью расчета экспериментальных значений характеристик качества и их последующего сравнения с требуемыми значениями. В результате каждая из характеристик получает расчетное значение, которое сравнивается с допустимыми интервалами значений и затем формируется оценка соответствия в виде баллов по шкале [0,10]. Оценки соответствия в баллах далее с учетом их приоритетов важности используются для расчета оценок каждого из исследуемых параметров. Пример результатов прототипирования приведен на рис. 2 и в таблице 1.

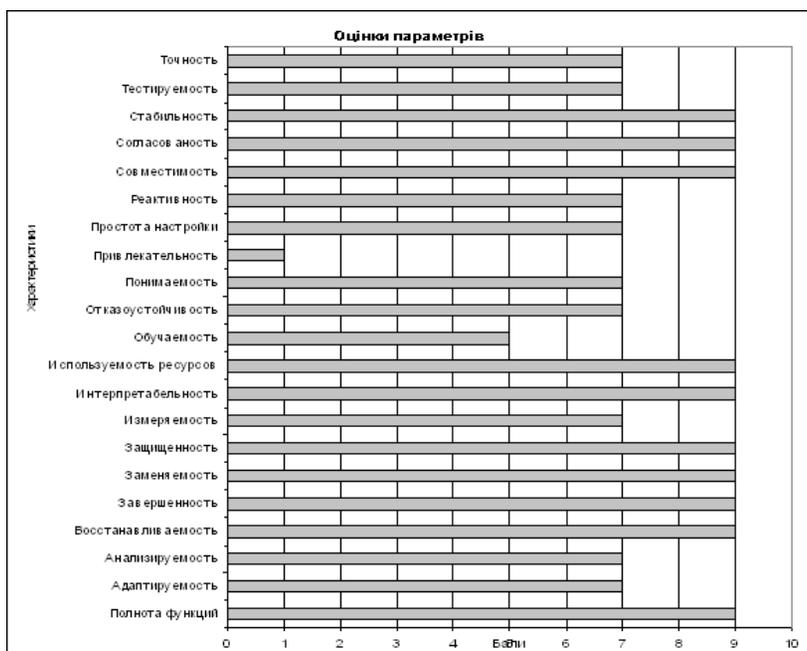


Рис. 2 – Результаты расчета оценок параметров качества ПС

Таблица 1 – Оценки соответствия исследуемых параметров качества ПС

Параметры профилирования	Единицы измерения	Допустимый интервал значений	Измеренные значения	Оценка соответствия
Количество запросов в очереди клиента	1/с	[0;5]	0,04	9
Количество запросов в очереди сервера	1/с	[0;10]	4,20	9
Время отклика на запрос клиента	мс	[0;85]	64,90	9
Время отклика на запрос сервера	мс	[0;85]	86,34	7
Количество сбоев при ответе клиенту	ед.	[0;500]	511	7

Очевидно, что предложенная технология будет эффективна не для всех типов разрабатываемых программных систем. Для простых ПС с низкой строгостью требований могут быть более применимы другие ТОК, например, с использованием аналитических моделей. Для решения проблемы выбора эффективной ТОК в зависимости от типа разрабатываемой ПС и предъявляемых к ней требований была предложена специализированная комплексная методика оценки [7].

Методика оценки эффективности технологий обеспечения качества.

Данная методика основывается на комплексной оценке эффективности применения той или иной ТОК при определенных условиях, которые задаются сложностью разрабатываемой ПС и строгостью предъявляемых к ней требований качества. Оценка эффективности включает в себя два критерия: адекватность и удельные трудозатраты применения ТОК в заданных условиях. Данные для расчета этих критериев получается методом экспертного опроса, для чего была разработана процедура опроса экспертов. Каждый эксперт дает ответ в лингвистическом виде об адекватности применения ТОК в заданных условиях. Исходя из ответов, рассчитывается результирующая оценка адекватности в интервале значений [0;1]. Оценка удельных трудозатрат производится по методу PERT, то есть каждый из экспертов дает оптимистическую, пессимистическую и ожидаемую длительность работ по таким составляющим процесса применения ТОК, как создание модели, проведение эксперимента, анализ результатов. Окончательное решение принимается на основе метода пересечения нечетких множеств. При этом рассматривается множество альтернатив $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ и множество критериев $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$. Оценки альтернатив по каждому i -му критерию представляются нечеткими множествами $C_i = \{\mu_{C_i}(a_1)/a_1, \mu_{C_i}(a_2)/a_2, \dots, \mu_{C_i}(a_m)/a_m\}$. Правило выбора лучшей альтернативы можно представить как пересечение нечетких множеств $D = C_1 \cap C_2 \cap \dots \cap C_n$. Лучшей считается альтернатива a^* , которая имеет наибольшее значение функции принадлежности $\mu_D(a^*) = \max_{j=1,m} \mu_D(a_j)$.

Для примера рассмотрим три различных ТОК: 1) имитационное моделирование в среде Matlab/Simulink (Т1), 2) имитационное моделирование в проблемно-ориентированной среде (Т2), 3) прототипирование (Т3). Выделим 9 областей в зависимости от сложности ПС и уровня предъявляемых требований качества. Для каждой из областей проведем экспертный опрос и расчет эффективной ТОК. Результаты расчетов приведены на рис. 3. Для каждой области обозначена эффективная ТОК согласно результатам экспертного опроса. Из рисунка видно, что, например, технологию прототипирования эффективно применять для областей 6, 8, 9 с высокой сложностью ПС и высоким уровнем требований качества.

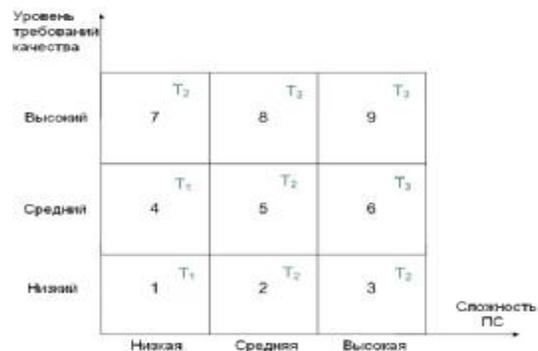


Рис. 3 – Результаты оценки эффективности применения ТОК для ПС различных типов

Выводы. В работе рассмотрены актуальные вопросы обеспечения качества программных систем и сделан обзор основных существующих подходов к их решению. Представлены новая технология прототипирования компонентных программных решений, а также экспертный подход к оцениванию эффективности применения различных технологий обеспечения качества ПО. Они имеют важное практическое значение, поскольку позволяют экономить ресурсы за счет оценивания качества создаваемых компонентных решений уже на ранних этапах процесса разработки ПО.

Список литературы: 1. Андон Ф. И. Основы инженерии качества программных систем / Андон Ф. И., Коваль Г. И., Коротун Т. М. [и др.]. – 2-е изд. – К. : Акадампериодика. – 2007. – 580 с. 2. Офіційний Інтернет-ресурс консорціуму SWEBOK: www.swebok.org. 3. Лаврищева Е. М. Концепция аналитической оценки характеристик качества программных компонентов / Лаврищева Е. М., Рожнов А. М. // Проблемы программирования. – 2004. – № 2–3. – С. 80–187. 4. Ткачук М. В. Про один підхід до оцінки ефективності технологій забезпечення якості програмних систем / Ткачук М. В., Земляний А. О. // Східно-Європейський журнал передових технологій. – № 1 (37). – 2009. – С. 33–38. 5. Tkachuk M. Towards Prototyping-based Technology for Adaptive Software Development / Tkachuk M., Zemlyanoy A., Gamzayev R. // R. Kashek et. al. (Eds.): UNISCON 2008, LNBP 5: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. – 2008. – P. 508–518. 6. Земляной А. А. Комплекс моделей технологии прототипирования для адаптивного проектирования компонентных программных решений / Земляной А. А., Ткачук Н. В., Гамзаев Р. А. // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". – Харків : НТУ "ХПІ". – 2008. – № 5. – С. 97–107. 7. Земляний А. О. Інформаційна технологія дослідження ефективності методів забезпечення якості гарантоздатних програмних систем / Земляний А. О., Ткачук М. В. Олійник О. А. // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – Харків: Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут». – 2009. – № 6 – С. 143–147.

Надійшла до редколегії 10.11.2010

УДК 681.518:658.512

Н. В. ТКАЧУК, д-р техн. наук, проф. каф. АСУ НТУ «ХПИ»;
К. А. НАГОРНЫЙ, асп. каф. АСУ НТУ «ХПИ»;
И. О. МАРТИНКУС, студентка НТУ «ХПИ»

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ДИНАМИЧЕСКОЙ СЛОЖНОСТИ ТРЕБОВАНИЙ В ПРОЦЕССАХ СОПРОВОЖДЕНИЯ УНАСЛЕДОВАННЫХ ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ

Предложен подход к постановке задачи анализа сложности унаследованных программных систем (УПС) в процессе их сопровождения, который комплексно рассматривает такие многомерные факторы как структурная сложность УПС и динамика изменения состояния требований (Т). Предложен алгоритм ранжирования Т в пространстве критериев «Приоритет» - «Функциональная сложность», что позволяет в дальнейшем определить отдельные типы УПС в пространстве их признаков «Ранг Т» - «Структурная сложность УПС» и эффективно проводить выбор инструментальных средств для их структурной адаптации.

Запропоновано підхід до постановки задачі складності успадкованих програмних систем (УПС) у процесі їх супроводу, який комплексно розглядає такі багатовимірні фактори як структурна складність УПС та динаміка зміни стану вимог (В). Запропоновано алгоритм ранжування В у просторі критеріїв «Приоритет» - «Функціональна складність», що дозволяє у подальшому визначити окремі типи УПС у просторі таких ознак як «Ранг В» - «Структурна складність ПС» та адекватно проводити вибір інструментальних засобів для їх структурної адаптації.

An approach to the complex estimation of complication legacy software systems (LSS) complexity in the process of maintenance is proposed, which provides complex consideration of such multidimensional factors as structural complexity of PS and changing's dynamics of the requirement's (R) state. The ranking algorithm for R in the criteria space «Priority» - «Functional complexity» is proposed, which allows in future to define the different types of PS in the attribute space «Rank of R» - «Structural complexity of LSS» and to provide adequately choice of tools for structural adaptation of PS.

1. Введение. Актуальность проблемы и постановка задачи исследования. Согласно стандарту ISO 12207:2007 процесс сопровождения программной системы (ПС) – это процесс модификации существующей системы с целью сохранения её целостности [1]. Он инициируется после передачи разработанной ПС ее пользователям и включает любые действия, направленные на устранения программных ошибок, неточностей реализации бизнес-логики, повышения производительности и т.д., с учетом к постоянно изменяющихся требований. Эта стадия жизненного цикла ПС наиболее трудоемкая и затратная и, по некоторым оценкам [2], занимает около 55% всех затрат жизненного цикла ПС. Если в ходе эксплуатации ПС происходит моральное старение ее проектных решений и технологий, но она продолжает представлять ценность для компании, поскольку реализует важную функциональность и аккумулирует накопленные за годы работы ресурсы

данных и знаний, то такую ПС называют унаследованной программной системой (УПС) [3].

Большинство современных УПС разработаны и продолжают разрабатываться на основе объектно-ориентированной парадигмы (ООП), поэтому при их сопровождении возникают проблемы, связанные как с необходимостью адаптации к воздействиям внешней среды, так и в целом характерные для парадигмы ООП (см., напр., в [4]):

- колебания уровня вычислительной нагрузки на ПС;
 - постоянно изменяющиеся требования;
 - сильная связность (high coupling) программных компонентов;
 - наличие компонентов, выполняющих большое количество разнородных функций (низкая степень сцепления – low cohesion);
 - сложность повторного использования кода;
- и некоторые другие.

Таким образом, задача сопровождения УПС представляет собой актуальную и достаточно сложную научно-техническую проблему. Для ее решения существует несколько типов адаптивных технологий разработки архитектуры ПС и управления ее компонентами, классификация которых приводится в [4]. В соответствии с предложенным в этой работе кибернетическим подходом к решению задачи структурной адаптации УПС, для выбора эффективного управляющего воздействия в процессе целенаправленного изменения структуры системы под влиянием внешней среды (т.е. с учетом изменяющихся требований), необходимо корректно определять такие 2 комплексные характеристики сопровождаемой УПС как:

1. Структурная сложность программного обеспечения системы,
2. Динамика изменения требований в процессе ее функционирования.

В работе [5] была разработана и исследована концепция многомерного информационного метапространства для адаптивной разработки ПС, которая, в частности, предполагает построение нескольких взаимосвязанных локальных подпространств, где происходит накопление и анализ данных о требованиях, моделях и методах проектирования систем. Предлагаемый ниже подход также использует эту концепцию.

2. Многомерный подход к оценке типов унаследованных программных систем. Очевидно, что совокупность определенных значений характеристик (1) – (2), приведенных в предыдущем разделе, позволяет определить несколько различных типов УПС, что в свою очередь, необходимо для дальнейшего эффективного выбора соответствующей технологии для модификации структуры УПС [6]. Для дальнейшего корректного рассмотрения предлагаемого подхода введем ряд определений.

Определение 1. *Тип системы (TS)* – это качественная характеристика УПС, задаваемая парой значений:

$$TS = \langle \text{StructuralComplexity}, \text{RequirementRank} \rangle, \quad (1)$$

где *StructuralComplexity* – структурная сложность ее программного обеспечения (ПО);

RequirementRank – ранг требований, которые должны быть учтены в процессе сопровождения УПС.

Определение 2. Структура программной системы (S) – это формальный объект, который представляется кортежем двух множеств:

$$S = \langle \underline{C}, \underline{R} \rangle, \quad (2)$$

где $\underline{C} = \{c_i\}, i = \overline{1, n}$ – множество компонент (классов) УПС;

$\underline{R} = \{r_j\}, j = \overline{1, m}$ – множество связей между компонентами.

Следует отметить, что для оценки структурной сложности ПО в программной инженерии существует множество подходов и метрик программного кода, начиная от более простых характеристик – например, количество строк исходного кода и инфодинамические метрики Холстеда [7], и заканчивая комплексными показателями сложности взаимодействия компонентов ПО на уровне классов и пакетов (см. напр., в [8]). Эта задача имеет самостоятельное значение в разрабатываемом подходе и будет более подробно исследована в других публикациях.

3. Определение понятия «Ранг требования» и подход к его оценке.

Для того, чтобы предложить адекватный подход к определению понятия «Ранг требования» – см. выражение (1), – прежде всего необходимо уточнить, что понимается по требованиям к ПО в контексте данной работы.

Определение 3. *Требование (T)* – это документированные условия или возможности, которыми должна обладать программная система в целом или ее отдельные компоненты, чтобы выполнить контракт или удовлетворять стандартам, спецификациям или другим формальным документам [9].

Требования разделяются на два вида: *функциональные* (functional requirements) и *не функциональные* (non-functional requirements), и четыре уровня детализации: бизнес-требования (business requirements), пользовательские (user requirements), системные (system requirements), проектная спецификация (software requirements specification, SRS) [3,9]. Под требованиями будем понимать функциональные требования (ФТ), определяющие функциональность ПС, которую разработчики должны построить, чтобы пользователи смогли выполнить свои задачи в рамках бизнес-требований [9].

Опыт работы авторов в реальных проектах показывает, что для корректной работы с требованиями необходимо учитывать два важных параметра: *приоритет выполнения ФТ* и *сложность ФТ*. *Ранг требования* – это кортеж, состоящий из пары значений:

$$RequirementRank = \langle Priority, Complexity \rangle, \quad (3)$$

где *Priority* – приоритет выполнения ФТ;

Complexity – сложность ФТ.

Определение 4. *Приоритет выполнения ФТ* (далее *приоритет ФТ*) – выражение относительной важности требования по отношению к системе либо другим требованиям [10]. В системах управления требованиями (СУТ): IBM Rational Requisite Pro, CalibreRM, Assompra, Gatherspace, *приоритет выполнения ФТ* и *сложность ФТ* часто характеризуются лингвистическими значениями. Например для приоритета значения будут: «низкий», «средний», «высокий», однако в некоторых СУТ существует и более подробная градация приоритета, например: «без приоритета», «низкий», «нормальный», «высокий», «срочный», «немедленный». Приоритет ФТ определяется на основе экспертных оценок заинтересованных лиц (экспертов предметной области).

В формализованном виде *приоритет ФТ* можно представить как множество значений, лингвистической переменной [11]. Лингвистическая переменная *L* – это набор:

$$L = \langle X, T(X), U, G, M \rangle, \quad (4)$$

где *X* – название переменной;

T(X) – терм-множество переменной *X*, т.е. совокупность её лингвистических значений;

U – универсальное множество числовых значений;

G – синтаксическое правило, порождающее термы множества *T(X)*, бесконтекстной грамматики;

M – семантическое правило, которое каждому лингвистическому значению *X*, ставит в соответствие его смысл *M(X)*, причем *M(X)* обозначает нечеткое подмножество множества *U*.

Смысл лингвистического значения *X* характеризуется функцией совместимости $c: U \rightarrow [0,1]$, которая каждому элементу $u \in U$ ставит в соответствие значение совместимости этого элемента с *X* [11].

В качестве функции совместимости предлагается использовать функцию принадлежности Харрингтона [12]. Она определяется следующей формулой:

$$d = e^{-e^{-R}}, \quad (5)$$

где *d* – значение шкалы функции совместимости;

R – значение лингвистической шкалы *L*.

Точками перегиба являются: $d(0) = 1/e \approx 0.37$ и $d(0.78) = 1 - 1/e \approx 0.63$.

Применение функции Харрингтона является не единственной возможностью для решения данной задачи, однако оно мотивировано результатами наблюдений за некоторыми характерными признаками реальных УПС, а так же обладает такими свойствами как непрерывность, монотонность и гладкость. Кроме того, эта кривая хорошо передает тот факт, что в областях желательностей, близких к 0 и 1, «чувствительность» ее существенно ниже, чем в средней зоне [12].

Для *приоритета ФТ* лингвистическая переменная *L*, имеет вид:

$X : Priority$;

$T(Priority) = \{нейтральный, актуальный, немедленный\}$;

U – универсальное множество (пустое, т.к. оценка изначально качественная, однако для определения функции совместимости используется кодированная шкала, для выражения мнения экспертов [-6;-4;-2;0;2;4;6]) [12].

G – синтаксическое правило, порождающее термы множества *T(X)*, контекстно-свободной грамматики;

M – функция совместимости Харрингтона: $d = e^{-e^{-R}}$.

Определение 5. *Сложность ФТ* – это показатель уровня затрат, необходимых для реализации данного требования [10]. В СУТ *сложность ФТ* обычно принимает значения: высокая, средняя, низкая (high, medium, low). В стандарте IEEE 830-1998 [13] приведены восемь основных характеристик качества требований, в список этих характеристик дополнен, т.о. требование должно, быть *корректным* (correct), *недвусмысленным* (unambiguous), *полным* (complete) и т.д. [14].

Количественные метрики *сложности ФТ* на основе приведенных характеристик приведены в [15]. Метрики спецификации NASA [16] позволяют рассчитывать качество ФТ на основе наличия в спецификации тех или иных лингвистических конструкций, например: «должен», «будет», «предполагается», «возможно» и т.д. Следует отметить ряд подходов направленных на оценку функциональности требований: *измерение объема функциональности* (Functional Size Measurement, FSM) концепция которого представлена в стандарте ISO/IEC 14143.1:1998 [17], *метод приближенных баллов Вариантов Использования* (Unadjusted Use Case Points – UNC) основан анализе сценариев Use Case [18], *метод ранних функциональных баллов* (Early Function Points Analysis – EFPA). Для расчета сложности требования предлагается использовать метод ранних функциональных баллов, это модификация метода функциональных баллов (Function Points Analysis – FPA), он апробирован на достаточно большом количестве проектов разных масштабов и применяется на ранних стадиях разработки (этап сбора и анализа требований), для прогнозирования сложности будущей ПС [19, 20]. Детально, этот метод будет рассмотрен в следующих публикациях. Результат,

полученный с помощью этого метода – это количество функциональных баллов приходящихся на оцениваемое ФТ.

Для дальнейших расчетов на основе полученных количественных оценок, для сложности ФТ строится лингвистическая переменная (см. выражение 5):

X : Complexity ;

$T(\text{Complexity}) = \{\text{малая, средняя, большая}\}$;

U – универсальное множество функциональных баллов, полученных по методу EFPA.

G – синтаксическое правило, порождающее термы множества $T(X)$, бесконтекстной грамматики;

M – функция совместимости Харрингтона: $d = e^{-e^{-R}}$.

Рассмотренные выше ранговые признаки [21] образуют пространство признаков, в котором координатные оси ФТ: *приоритет выполнения ФТ*, *сложность ФТ*, а их значения представляются лингвистическими переменными.

4. Алгоритм перехода из пространства «Ранг требований» к пространству «Тип ПС». Для анализа эмпирических многомерных данных существует ряд подходов: логический, геометрический и т.д. [22, 23]. Геометрический подход использует пространство признаков и дает более наглядную трактовку рассматриваемым критериям [22], образующим пространство «Тип ПС» (см. выражение (1)), которое включает в себя обобщенную характеристику требований – *ранг требований* (Requirement Rank), и её начальную объектно-ориентированную *структурную сложность* (Structural Complexity). В свою очередь *ранг требований* – сложный критерий, который тоже представляет пространство. Очевидно, что в такой интерпретации данной проблемы возникает задача корректного перехода из одного пространства в другое. Для ее решения предлагается алгоритм перехода, который проиллюстрирован с численным примером и графической интерпретацией представленной на рис. 1, он использует особенности ранжирования разнородных признаков которые содержатся в источниках [24, 25]:

Шаг 1. Определить зоны сложности (ЗС) в пространстве «Ранг требований».

Имеем n уровней сложности ФТ и m уровней приоритета выполнения ФТ. Количество ЗС – $\#ZoneComplexity$ вычисляется по формуле:

$$\#ZoneComplexity = m \cdot n. \quad (6)$$

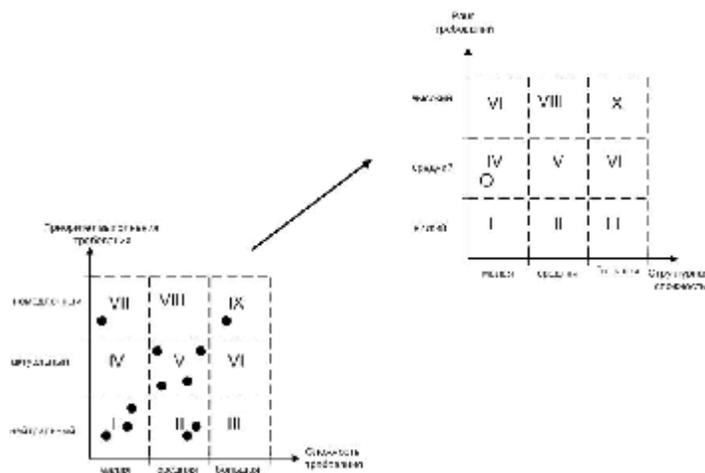


Рис. 1 – Отображение пространства «Ранг требований» в пространство «Тип ПС»

Шаг 2. Экспертным путем определить вес требования в каждой зоне.

Вес для каждого уровня сложности ФТ $w_n = n$, для каждого приоритета выполнения ФТ $w_m = m$. Вес W_{nm} для каждой ЗС вычисляется по формуле:

$$W_{nm} = m + n. \quad (7)$$

Шаг 3. Определить количество обобщенных ЗС.

ЗС относятся к одной обобщенной ЗС, если их вес W_{nm} одинаковый. Максимальное количество обобщенных ЗС – R вычисляется по формуле:

$$R = n + m - 1. \quad (8)$$

Шаг 4. Посчитать общее количество ФТ $\#Requirement^{total}$.

Шаг 5. Вычислить общий вес требований $GeneralRequirementW$

$$GeneralRequirementW = \sum_{i=1}^R W_i \cdot (\#RequirementInZone_i). \quad (9)$$

где $W_i; i = \overline{[1; R]}$ – вес i -ой зоны, вычисленный на шаге 2,

$\#RequirementInZone_i, i = \overline{[1; R]}$ – количество ФТ, принадлежащих одной обобщенной ЗС.

Шаг 6. Вычислить средний вес ФТ $AvgRequirementWeight$ для всего пространства «Ранг требований»:

$$AvgcRequirementWeight = \frac{GeneralRequirementW}{\#Requirement^{total}}. \quad (10)$$

Шаг 7. Определить шкалу ранжирования требований, по которой находится числовое значение ранга требований.

Для данного алгоритма выбрана интервальная шкала т.к. граничные значения для рассчитываются по принципу концентрации всех объектов в двух соседних зонах при этом соотношение между границами интервалов остается неизменным, каждое меняется в одно и то же число раз [17]. Для вычисления граничных значений шкалы используется выражение:

$$W_i = \frac{W_q + W_p}{2}, i = [1; R], \quad (11)$$

где W_q и W_p – веса соседних зон.

Таким образом формируются интервалы, начиная с первой зоны. При этом нижняя граница каждого интервала закрыта, а верхняя – открыта.

Шаг 8. Осуществление перехода от пространства «Ранг требований» в пространство «Тип ПС». Для этого необходимо построить лингвистическую переменную «Ранг требований» (см. выражение 5), графическая интерпретация которой приведена на рис. 2:

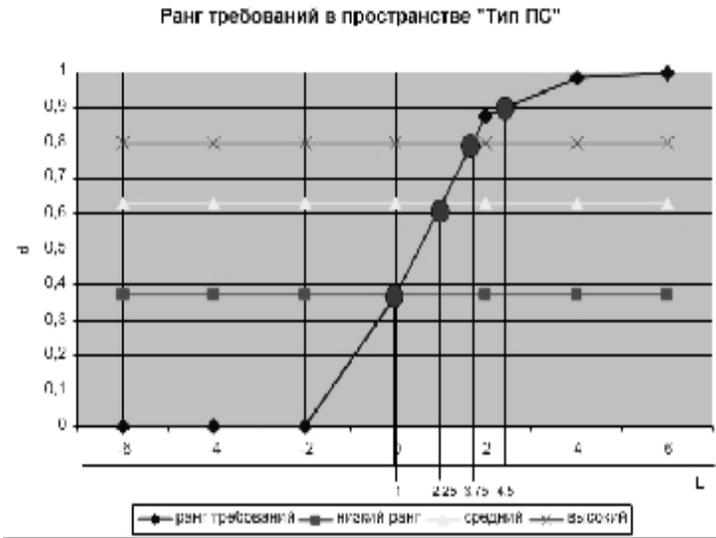


Рис. 2 – Значение функции принадлежности Харрингтона для ранга требований

$X : RequirementRank$;

$T(RequirementRank) = \{низкий, средний, высокий\}$;

U – универсальное множество числовых значений, полученных в результате работы алгоритма перехода»:

$$шкала_ранжирования \begin{cases} [1;2.25) \\ [2.25;3.75); \\ [3.75;4.5] \end{cases}$$

G – синтаксическое правило, порождающее термы множества $T(X)$, бесконтекстной грамматики;

M – функция совместимости Харрингтона: $d = e^{-e^{-R}}$.

Реализация данного подхода в настоящее время разрабатывается в виде перспективного CASE-средства, пример графического интерфейса которого приведен на рис. 3.

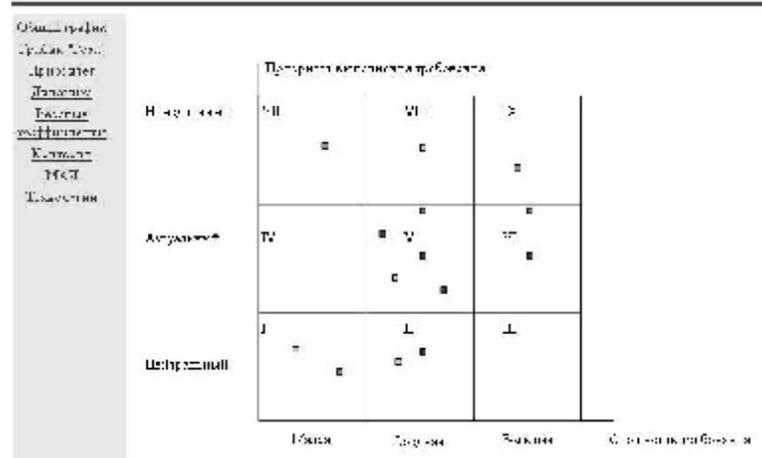


Рис. 3 – Пример графического интерфейса перспективного CASE-средства для пространства «Ранг требований»

5. Выводы и направления дальнейших исследований. В данной научной статье: 1) показана актуальность решения проблемы сопровождения УПС, разработанных на основе ООП, 2) разработана методика оценки сложности требований при сопровождении УПС на основе многомерного подхода для оценки их типов УПС. 3) предложен алгоритм перехода от пространства определения соответствующих типов ПС, 4) представлен пример графического интерфейса перспективного CASE-средства для программной реализации разработанной методики.

Полученные результаты будут в дальнейшем использованы для разработки комплексной оценки эффективности применения некоторых пост объектно-ориентированных технологий в процессах сопровождения унаследованных программных систем.

Список литературы: 1. Software Life Cycle Processes : ISO/IEC 12207:2007. // http://www.ieee.org/publications_standards, 12.2010. 2. Затраты жизненного цикла ПС // <http://www.12207.com>, 11.2010. 3. И. Соммервил. Инженерия программного обеспечения. [6-е изд. / пер. с англ.] – М. : Вильямс. – 2002. – 624 с. 4. Ткачук Н. В., Нагорный К. А. Структурная адаптация программных систем: анализ состояния проблемы и некоторые подходы к ее решению // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2009. – № 6 (42). – С. 33–36. 5. Ткачук М. В. Моделі, методи та інформаційні технології адаптивної розробки і реінжинірингу інформаційно-управляючих систем : автореф. дис. на здоб. вчен. ступеня д-ра техн. наук : спец. 05.13.06 «Інформаційні технології» / Ткачук Микола Вячеславович ; НТУ «ХПІ». – Харків, 2006. – 36 с. 6. Ткачук Н. В., Нагорный К. А. Об одном подходе к оценке эффективности применения пост объектно-ориентированных технологий при сопровождении программных систем // Проблемы программирования (Problems in Programming. Scientific Journal). – К. : НАН України. – 2010. – № 2–3 (спец. выпуск). – С. 252–260. – ISSN 1727–4907. 7. K. K. Aggarwal. Empirical Study of Object-Oriented Metrics // JOURNAL OF OBJECT TECHNOLOGY. – 2006. – Vol. 5. – No. 8. – November–December. – P. 149–173. 8. K. K. Aggarwal. Software Design Metrics for Object-Oriented Software // JOURNAL OF OBJECT TECHNOLOGY. – 2006. – Vol. 6. – No. 1. – January–February. – P. 121–138. 9. К. Вусерс. Разработка требований к программному обеспечению / [пер. с англ.] – М. : Русская Редакция. – 2004. – 576 с. 10. IBM, Get it right the first time: writing better requirements. – 2009. – 60 p. 11. Заде Л. Нечеткая логика : Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М. : Москва. – 1976. – 167 с. 12. Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М. : Наука. – 1976. – 280 с. 13. Recommended Practice for Software Requirements Specification : ISO/IEC 830–1998 // http://www.ieee.org/publications_standards, 11.2010. 14. Д. Леффингуэлл, Д. Уидриг. Принципы работы с требованиями к программному обеспечению. Унифицированный подход. – М. : Вильямс. – 2002. – 448 с. 15. M. M. Mora, C. Denger. Requirements Metrics // IESE-Report No. 096.03. – 2003. – Version 1.0. – October 1. – 45 p. 16. NASA, Software Assurance Technology Center (SATC) // <http://satc.gsfc.nasa.gov/tools/arm/>, 11.2010. 17. Information technology – software measurement – functional size measurement. Part 1 : definition of concepts : ISO/IEC 14143.1:1998 // http://www.ieee.org/publications_standards, 11.2010. 18. B. Henderson-Sellers, D. Zowghi [et al]. Sizing Use Cases : How to create a standard metrical approach. Object Oriented Information Systems. – 2002. – 409–421 p. 19. Q/P Management Group // <http://www.qpmg.com/info.htm>, 10.2010. 20. Luca Santillo, Roberto Meli. Early Function Points : some practical experiences of use // ESCOM – ENCRESS 98, Project Control for 2000 and Beyond. – Rome, Italy. – 1998. – May 27–29. – 13 p. 21. Б. Г. Миркин. Анализ качественных признаков и структур. – М. : Статистика. – 1980. – 319 с. 22. В. Дюк. Обработка данных на ПК в примерах. – СПб. : Питер. – 1997. – 240 с. 23. М. Л. Дейвисо. Многомерное шкалирование. – Миннеаполис. – 1992. – 261 с. 24. Я. Гаек, З. Шидак. Теория ранговых критериев. – М. : Москва. – 1971 – 376 с. 25. Д. М. Чибисов. Лекции по асимптотической теории ранговых критериев. – М. : Москва. – 2009. – 174 с.

Надійшла до редакції 10.11.2010

УДК 681.5

Б. О. КУЗІКОВ, асп. СумДУ, зав. лаб. систем електронного навчання СумДУ, м. Суми

ВИКОРИСТАННЯ СЕМАНТИЧНИХ МЕРЕЖ І ПОКРИТТЯ ЗМІСТУ З ТЕСТАМИ ДЛЯ ФОРМАЛЬНОЇ ПЕРЕВІРКИ ЕЛЕКТРОННИХ НАВЧАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Зростання обсягів знань вимагає постійну модернізацію навчальних матеріалів, що викликає необхідність впровадження методів контролю повноти та узгодженості множин матеріалів суміжних дисциплін. Стаття пропонує метод формального контролю повноти і логічної впорядкованості викладення навчального матеріалу електронного курсу за допомогою семантичних мереж та покриття контенту питаннями тестового контролю знань.

Рост объемов знаний требует постоянной модернизации учебных материалов. Необходимыми становятся методы контроля полноты и согласованности множеств материалов смежных дисциплин. Статья предлагает метод формального контроля полноты и логической упорядоченности изложения учебного материала с использованием семантических сетей и покрытия контента вопросами тестового контроля знаний.

The rapid growth of knowledge requires an understanding of modernization of educational materials as a sustainable process. It becomes necessary to improve methods of control the completeness and consistency of sets of related e-learning disciplines. The article offers a formal method for monitoring the completeness and logical ordering presentation of educational material through the use of semantic networks and coverage issues of content knowledge test control.

Вступ. Сучасні темпи накопичення знань вимагають від освітніх закладів постійного оновлення навчальних матеріалів. Модернізація існуючих навчальних матеріалів є економічно більш доцільною, у порівнянні із їх повторною розробкою. Часткове оновлення навчальних матеріалів може призвести до неповного охоплення матеріалу, що має вивчатися у курсі, або порушення логіки викладання навчального матеріалу. У рамках одного курсу такі порушення можуть бути виявлені рецензентом – фахівцем у відповідній галузі знань. Виявлення подібних порушень на міждисциплінарному рівні є складним завданням. Крім того, постійний перегляд навчальних матеріалів при ітеративному підході до їх модернізації вимагає додаткових затрат часу експертів.

На теперішній час розроблено ряд критеріїв, що дозволяють оцінити якість дистанційного курсу [1, 2]. Більшість з цих критеріїв можуть бути застосовані лише на рівні окремого навчального об'єкта, як виняток – на рівні курсу в цілому. Дослідження якості курсів на міждисциплінарному рівні, важливість врахування якого підкреслюють ряд дослідників [3, 4] більшістю досліджень не розглядається. Контроль якості курсів при їх модернізації також мало висвітлений в вітчизняній та закордонній літературі [5–8]. Недостатню вивченість даного питання на вітчизняних теренах можна

пояснити метою розробників преш за все “закрити” існуючий брак навчальних матеріалів. Між тим, збільшення кількості навчальних дисциплін, колективна розробка курсів, впровадження розгалужених міждисциплінарних зв'язків вимагає розробки відповідних засобів контролю створення та модернізації курсів.

В СумДУ навчання за дистанційною формою ведеться починаючи із 2002 року. При цьому використовується власна система керування дистанційним навчанням (СКДН СумДУ) [9]. У 2010–2011 навчальному році за дистанційною формою навчаються приблизно 1300 студентів, які вивчають 253 різні навчальні дисципліни за 6 спеціальностями. Стратегія ВУЗу спрямована на постійне підвищення якості навчальних матеріалів. Саме тому при підготовці до 2010–2011 навчального року було модернізовано приблизно 20% навчальних дисциплін. Виконання такого обсягу робіт вимагає застосування різного роду засобів контролю та автоматизації праці зокрема для перевірки повноти та впорядкованості навчальних матеріалів.

Постановка задачі. Метою написання статті є опис підходу застосування семантичних мереж і покриття лекційного матеріалу тестовими питаннями для формального контролю повноти і логічної впорядкованості викладення навчального матеріалу. При цьому під повнотою матеріалу розуміється формальний контроль введення усіх понять, що мають бути вивчені у рамках курсу. Під логічною впорядкованістю матеріалу розуміється наявність порядку вивчення навчального матеріалу (“навчальної траєкторії”) при якому учень може вивчити всі поняття курсу користуючись лише такими навчальними матеріалами, що спираються лише на відомі для нього поняття.

Спосіб перевірки повноти викладення матеріалів. Відомо, що багато проблем знаходять своє рішення в суміжних областях. При розробці складних програмних продуктів важливим є контроль збереження функціональності продукту в цілому при внесенні доповнень в окремі його частини. Модернізація навчальних курсів має подібні проблеми. При внесенні коректив у курс розробники не можуть бути впевнені, яким чином ці зміни впливатимуть на повноту і логічність викладення матеріалу, як у самому курсі, так і на міждисциплінарному рівні. Важливість контролю за регресивною сумісністю збільшується пропорційно кількості та обсягу змін у курсі, обсягу елементарних інформаційних блоків і кількості зв'язків між ними. Особливої гостроти це питання набуває, коли модернізація курсу виконується колективом авторів.

Сукупність теоретичних знань, закладених у лекційному матеріалі можна описати низкою понять, характерних для курсу. Поняття та зв'язки між ними ототожнюються із моделлю знань експерта. Вочевидь, що такий набір понять є досить сталим бо спирається на затверджений паспорт дисципліни. У випадку СКДН СумДУ лекційний матеріал курсу представлено у вигляді гіпертекстових сторінок, ключові поняття вказані лише для частини з них. Побудуємо предметну область першого рівня (за класифікацією

Брусиловського [10]) для подальшого аналізу курсу. Модель предметної області такого типу включає множину понять пов'язаних із текстом, без явного вказання співвідношення між поняттями.

Побудова моделі предметної області курсу є складним завданням, але у ряду випадків може бути частково автоматизована. Поняття курсу c_i – $T_{c_i} \subset T_s \cup T_{q_i} \cup T_{o_i}$ відносяться експертом до однієї з категорій: T_s – множини загальнонаукових понять, що є незмінною, T_{q_i} – множини понять, притаманних лише предметній галузі курсу або $T_{o_i} \subset T_s \cap T_{q_i}$ – множині понять, що мають особливе, відмінне від загальнонаукового, значення в рамках курсу. При побудові предметної області курсу на базі статичного електронного конспекту використовуються припущення щодо скінченності множини понять, логічності послідовності викладення матеріалу в конспектах лекцій, можливості виділити ключові поняття з тексту за допомогою частотного аналізу.

Зв'язок між множиною контенту та концептів у більшості випадків не є очевидним. У рамках моделі, що будується, елемент конспекту – лекція – розбивається на множину фрагментів навчального матеріалу $p_j = \{f_1..f_m\}$. Кожному з навчальних фрагментів відповідає множина пар $F_i = \{\langle t_{\varphi}, s_f \rangle, \dots, \langle t_{\zeta}, s_{\pi} \rangle\}$, де $t_{\varphi}, t_{\zeta} \in T_{c_i}$, $s_f, s_{\pi} \in S$ – множина функціональних станів фрагмента тексту по відношенню до поняття – поняття є базовим для вивчення фрагменту, чи поняття вводиться у нього. Встановлення відповідності між поняттями та елементами контенту зведено до задачі обрахування міри TF-IDF для відомої множині лексем. Оцінка кількості понять, які необхідні для індексації фрагмента проводиться за допомогою формули Барабаши [12]:

$$N_k = 0.35 + 2.061 \text{Lg}(N)$$

Можливість використання математичного апарату безмасштабних мереж доведена у роботі [1]. Так для опису цієї статті достатньо 3–4 ключових слова.

На першому етапі, після того, як для кожної сторінки сформована множина F_i перевіряється умова (1):

$$\forall \langle t_j, s_f \rangle \in F_k \rightarrow \exists F_i : \langle t_j, s_{\pi} \rangle \in F_i, k \neq i \quad (1)$$

— для кожного поняття, вказаного як пререквізит існує інший фрагмент навчального матеріалу, у якому він описаний. Це правило дозволяє контролювати, чи всі поняття застосовані у курсі визначені у ньому. Між тим, а цьому етапі неможливо встановити, чи всі поняття, які мають бути вивчені у

рамках курсу введені у ньому, та, чи не порушується формальний логічний порядок викладення матеріалу.

У більшості випадків для контролю повноти засвоєння матеріалу використовують тести. Це означає, що тестові запитання повинні відображати всю множину знань, запропонований у лекціях, а саме: розглянуті поняття і відносин між ними. Нехай Q_i – множина понять, пов'язаних з питанням q_i .

Зауважимо, що $\bigcup_{i=1..n} Q_i \cap T_{c_i} \neq \emptyset$ – тобто поняття у лекційному матеріалі та

тестових питаннях мають однакову природу. У ідеальному випадку $Q = T_{c_i}$.

Таке співвідношень понять розглянутих у лекційному матеріалі та використаних тестових питаннях дає змогу повністю контролювати стан вивчення курсу. У випадку, коли $Q \setminus T_{c_i} \neq \emptyset$, це позначає, що питання розглядають ширшу множину понять, а ніж описані в лекційному матеріалі, $T_{c_i} \setminus Q \neq \emptyset$ – стан вивчення деяких понять лекції не контролюється. При модернізації курсу розробники повинні намагатися задовольнити умову (2):

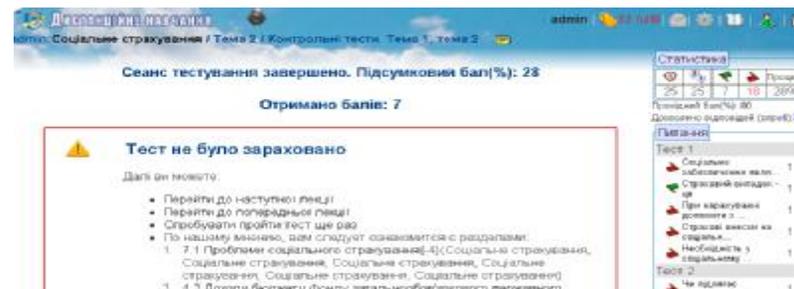
$$Q = T_{c_i} \quad (2)$$

– зміни лекційному матеріалі повинні бути відображені у банку тестових питань і навпаки.

Спосіб використання семантичної мережі для контролю логічної впорядкованості курсу. При модернізації матеріалів курсу можуть виникати дві проблеми – заміна частини матеріалу, таким що несе недостатній обсяг знань, або порушення логічної впорядкованості викладення матеріалу. Повноту викладення матеріалу можна контролювати застосовуючи умови (1) та (2). Другу проблему – формальну логічну впорядкованість викладення матеріалу можна контролювати завдяки аналізу семантичної мережі курсу. Така мережа може бути представлена у вигляді направленої графу, де вузлами будуть елементи контенту, а ребрами – зв'язки між ними. При цьому зв'язки будуються на основі співвідношення понять і елементів навчального матеріалу: кожне ребро йде від елемента контенту, де поняття описане у елемент, де воно відмічено, як таке, що потребує попереднього вивчення.

Вважаємо курс формально логічно впорядкованим, якщо в ньому існує хоча б одна навчальна траєкторія яка складатиметься виключно з прийнятних елементів та при цьому охоплюються всі поняття. Елемент вважається “прийнятним” якщо всі поняття вказані у ньому як пререквізити є вивченими на момент вивчення цього фрагменту. Можна показати, що необхідною і достатньою умовою для формальної логічної упорядкованості курсу є відсутність циклів у графі курсу. Доказ цього положення можна провести використовуючи лему 23.11 та теорему 23.12 [13].

Подальші напрями роботи. В результаті проведених досліджень ми отримали метод формальної перевірки повноти на логічної впорядкованості навчальних матеріалів, що модернізуються. Для цього лекційні матеріали та банк тестових питань були зв'язані між собою через множину понять, які в них використовуються. Отримана таким чином семантична мережа є моделлю знань експерта. Результати тестового контролю знань – відображають знань студента пов'язані з предметною областю курсу. Використовуючи результати тестування можна виділити фрагменти теоретичного матеріалу, пов'язані із відповідями студента на кожне з питань тестового контролю. Приклад реалізації такого підходу в СКДН СумДУ показано на рисунку 1.



Адаптивна навігація, на основі покриття контенту тестовими питаннями

Використовується наступна модель для визначення навчальних матеріалів, що потребують додаткового вивчення:

$$V_k = M \times \frac{aG' \times Q - C \times R_k}{a} - M \times \frac{C \times R_k - bG' \times Q}{b},$$

де C – вектор складності тестових питань, R_k – вектор результатів тестування, $g_i \in G'$ – ймовірність того, що поняття $t_i \in G$ вивчене повністю. Значущість попередньої оцінки стану вивченості поняття коригуються за допомогою коефіцієнтів $a, b \in [0..1]$ Щоб встановити відповідність між концептами та тестовими питаннями використовується матриця зв'язності елементів навчального контенту $M = \|f_{i,j}\|$, де $f_{i,j} = \frac{|Q_i \cap F'_{j_{pr1}}|}{|F'_j|}$, Q_i – множина понять, пов'язаних з питанням q_i , $F'_{j_{pr1}}$ – множина базових понять для фрагменту f_j . Матриця M аналогічна до матриці зв'язності, але замість множини результуючих понять $F'_{j_{pr1}}$ використовується $F''_{j_{pr1}}$ – множина

базових понять [14]. Підсумовуючи вище сказане, відмітимо, що подальшими напрямами роботи будуть вдосконалення методів побудови предметної області курсу на базі конспектів лекцій, ґрунтовне дослідження ефективності запропонованого підходу до побудови адаптивної навігації та вдосконалення засобів для побудови більш тісної міждисциплінарної інтеграції навчального процесу.

Висновки. У статті наведено метод, що дозволяє сформувавши систему правил, перевірка яких дозволяє здійснювати формальний контроль повноти і впорядкованості курсу. Застосування методу дозволяє зменшити витрати часу на рецензування курсу при ітеративному підході до його модернізації. Підкреслимо, що підхід дозволяє проводити контроль на рівні курсу та міждисциплінарному рівні. Крім того побудова семантичної мережі курсу дозволяє запровадити адаптивне керування навчальною діяльністю студента, що є додатковою перевагою. Зазначений метод було впроваджено у СумДУ для контролю якості модернізації навчальних дисциплін за дистанційною формою навчання.

Список літератури: 1. *Гаврилов Н.А.* Некоторые аспекты анализа эффективности формирования дистанционных образовательных ресурсов // Дистанционное и виртуальное обучение. – 2010. – № 2. – С. 15–22. 2. *Соколов А.С.* Деякі аспекти синтезу комп'ютеризованої адаптивної системи навчання // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси і системи. – 2008. – № 2. – С. 89–93. 3. *Мазурок Т.Л.* Ассоциативный подход к моделированию системы межпредметных связей а АОС // Сборник научных трудов IV семинара «Информационные системы и технологии». – Одесса, ОГАХ, 2006. – С. 155–162. 4. *Мазурок Т.Л.* Интеллектуальное управление обучением в виртуальной среде // Новый колеріум. – 2008. – № 6. – С. 48–55. 5. *Babič F., Wagner J.* Trialogical learning – new approach to education. // 5th International Conference on Emerging e-learning Technologies and Applications ICETA. – Stara Lesna, Slovakia, 2007. – С. 183–187. 6. *Оганесян Е.В.* Метод динамического тестирования в определении структуры знаний студентов // Alma mater. – 2008. – № 9. – С. 43–46. 7. *Ширинов Е.В., Ундозерова А.Н.* Комплексный подход к разработке средств учебного назначения для e-learning при подготовке инженеров–программистов в высшей школе // Дистанционное и виртуальное обучение. – 2009. – № 5. – С. 27–37. 8. *Leading the Learning Revolution // Individual Training & Education Modernization Update.* – 2009. – №1. 9. *Vasylyev A., Lavrik T., Lyubchak V.* System of distance education at Sumy State University // 5th International Conference on Emerging e-learning Technologies and Applications. – Stara Lesna, Slovakia. – 2007. – С. 291–294. 10. *Brusilovsky P.* Adaptive hypermedia. an attempt to analyze and generalize // Lect.notes. Comput. Sci. – 1996. – № 1077. – С. 288–304. 11. *Salton G.* Theory of Indexing // Society for Industrial and Applied Mathematics. – Philadelphia. – 1975. – 56 c. 12. *Barabasi A, Reka A.* Emergence of scaling in random networks // Science. –1999. – №15. С. 509–512. 13. *Cormen T., Leiserson C., и др.* Introduction to Algorithms. – MIT Press. – 2001. – 1202 c. 14. *Kuzikov B.O.* Creation connectivity matrix of E-content elements for distance learning // Nauka i studia. – 2009. – № 6(18). – С. 62–66. 15. *Lubchack V., Kuzikov B., Kirichenko K.* Using semantic web and covering context by test for course formal testing // 8th Int. Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications, High Tatras, Slovakia. – 2010. – С. 135–140.

Надійшла до редакції 05.11.2010

УДК 519.766.2

Н. Ф. ХАЙРОВА, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ»;
В. А. ТАРЛОВСКИЙ, асп. ХНТУ, г. Херсон

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕМАНТИКО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ЛИНГВИСТИЧЕСКОГО ПРОЦЕССОРА ДЛЯ ДОБЫВАНИЯ НОВЫХ ЗНАНИЙ ИЗ ПОТОКА ДОКУМЕНТОВ КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

У статті пропонується модель перекладу різноформатної текстової інформації в інтелектуальні активи компанії. Розглядається алгоритм роботи семантико-орієнтованого лінгвістичного процесора, що отримує знання з документів, які надходять до організації. Послідовно описані предлінгвістичний, графемний, морфологічний, контекстний, статистичний і логіко-алгебраїчний етапи роботи процесора.

В статье рассматривается модель перевода разноформатной текстовой информации в интеллектуальные активы компании. Предлагается алгоритм работы семантико-ориентированного лингвистического процессора, извлекающего знания из поступающих в организацию документов. Последовательно описаны предлингвистический, графемный, морфологический, контекстный, статистический и логико-алгебраический этап работы процессора.

In the article there has been proposed model of transfer from textual information in various formats into the company's intellectual assets. In this work there has been showed the algorithm of work of the semantic linguistic processor extracting knowledge from documents of the organization. The semantic linguistic processor has to contain a predlingvistichesky stage, a graphemic stage, a morphological stage, a context-dependent stage, a statistical stage and algebraic logic stage.

Введение. Рассматривая современные корпоративные информационные системы (КИС) с точки зрения управления знаниями можно заметить, что сегодня основной акцент делает не на сохранение разрозненной информации, а на извлечение закономерностей и принципов, позволяющих решать производственные и бизнес задачи, т.е. осуществлять накопление знаний [1, 2]. Источником знаний являются различные документы, поступающие в систему на обработку — это корпоративные стандарты, методики, бизнес-правила и технологии, Технологическая и трудовая документация, накопившаяся в процессе функционирования предприятия. При чем, перед КИС ставится задача извлечь и накопить именно инновационные знания, которые снабжают фирму конкурентным потенциалом, а не коренные, устоявшиеся и даже «старые» знания, которые имеют все участники данной отрасли.

Таким образом, основной задачей повышения эффективности КИС становится разработка системы трансформации информации, доступной снаружи и внутри организации в интеллектуальные архивы компании, представляющие инновационные знания. И если для решения данной задачи

при работе со структурированной информацией используются хорошо разработанные технологии «добычи данных» (data mining), то для обработки слабоструктурированной и неструктурированной информации необходимо разрабатывать единое информационное пространство, представляющее модель знаний предметной области работы КИС.

Постановка задачи. Необходимо разработать подсистему КИС, решающую задачи логического анализа (e-analytics) неструктурированной информации для построения базы знаний, которая должна наряду с архивами и прочими полнотекстовыми массивами, прорабатывать поступающие в корпорацию новые электронные документы. Подсистема должна учитывать, что поступающая в организацию информация (электронная почта, мгновенные сообщения, HTML-документы, XML-документы, электронные документы других форматов) обычно находится в беспорядочном состоянии и представлена в документах различных типов и форматов.

Описание модели. Предлагаемая модель перевода разнородной электронной информации в интеллектуальный актив компании, представляет собой семантико-ориентированный лингвистический процессор, включающий семь этапов:

- предлингвистическая обработка;
- графемная обработка;
- морфологическая обработка;
- контекстный анализ;
- статистическая обработка;
- логико-алгебраическая обработка обучающей выборки;
- динамическая классификация поступающей информации.

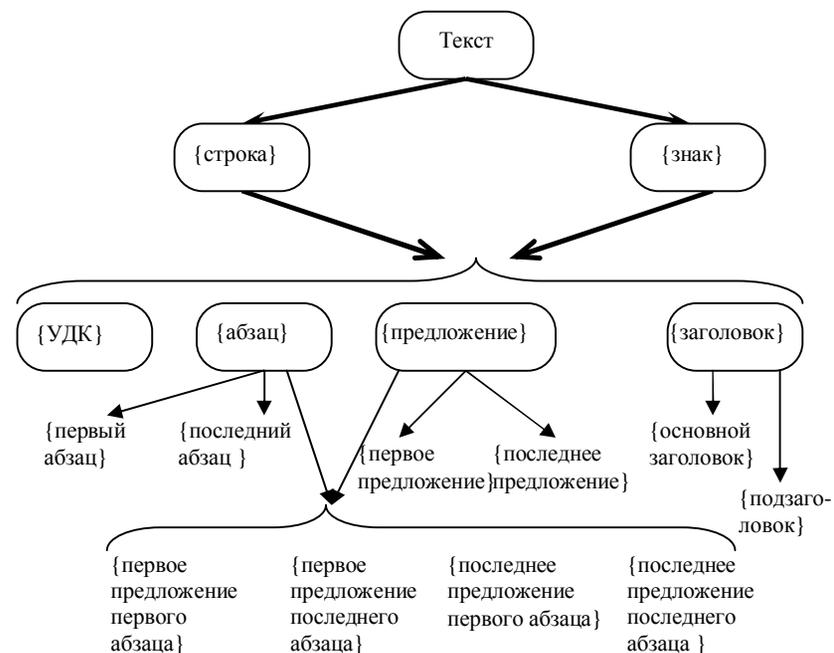
Предлингвистическая обработка. На вход предлингвистического этапа анализа поступают документы широкого спектра форматов. На данном этапе выделяются документы, имеющие в полях иерархических спецификаций списки ключевых слов и словосочетаний документа.

В HTML-документах удаляются описания стилей, сценарии и т.д. Удаляются все HTML-тэги, кроме тегов определяющих структурное деление документов. С помощью мета определителей `<META NAME="subject">` `<META NAME="keywords">` и других выделяются ключевые слова и тема документа, сформулированные автором веб-страницы.

Графемная обработка. На вход графемного анализа поступает множество текстов $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ документов в виде полнотекстовой базы данных. Текст на естественном языке можно представить как целостный объект, элементами, которого являются знаки, организованные определенным образом в строке [3]: $\text{ТЕКСТ} = \{\{\text{знак}\}, \{\text{строка}\}\}$.

Задача графемного этапа обработки состоит в выделении единиц текста, имеющих графемное значение и выделение парадигматических отношений

данных единиц, позволяющих соотнести их с некоторым классом, который отражает одинаковые свойства выделенных элементов (см. рисунок).



Логико-структурная модель графемного значения текста

Морфологическая обработка. Блок морфологической обработки вводится для учета словоизменительных форм и представления слова в канонической форме. Обычно, ключевыми словами (КС) документа являются понятия об объектах информации, обозначаемые существительными (иногда вместе с определениями), в канонической форме. Определением в текстах на украинском и русском языках выступают прилагательные, причастия, порядковые числительные или существительные в родительном, творительном, дательном и предложном падежах.

Морфологическая обработка осуществляется методом квазиокончаний. На вход поступает множество L всех лексем текста в соответствующей форме, за исключением слов отрицательного словаря. Конечный сегмент каждой словоформы из множества L проверяется на совпадение со словарем квазиокончаний, начиная от трех конечных буквосочетаний. В случае их совпадения квазиокончание у словоформы отсекается, и основа помещается в словарь квазиоснов $L' = \{l'_1, l'_2, \dots, l'_k\}$. Словарь окончаний представляет

собой множество окончаний прилагательных, причастий, порядковых числительных единственного и множественного числа, существительных в родительном, творительном, дательном и предложном падежах соответствующего языка (русского или украинского).

Для аналитического английского языка (языка со слабо развитой морфологией) у каждой словоформы из множества L , отсекается конечный сегмент, в случае его принадлежности множеству квазиокончаний $\{-a, -e, -ed, -er, -es, -est, -en, -iest, -ing, -is, -on, -s, -s', -'s, -t, -m, -y, -ying, -ies\}$. Правая, оставшаяся часть словоформы помещается в словарь квазиоснов. В случае отсутствия квазиокончания ключевое слово l_i переносится в словарь L' целиком $L' = \{l_1, l_2, \dots, l_k\}$ ($l_i = l_i, i \in \{1, 2, \dots, k\}$).

На этапе контекстного анализа из множества лексем текста L определяются словосочетания. Словосочетаниями считаются два или больше последовательно расположенных слов текста, синтаксически связанных по типу управления или согласования. Для определения словосочетаний выбираются рядом стоящие существительное и определение, обладающие эквивалентной морфологической информацией или несколько рядом стоящих существительных, все кроме одного из которых имеют грамматическую форму родительного или творительного падежа.

На следующем *статистическом этапе* работы алгоритма система получаем информационное представление каждого документа в виде множества ключевых слов и словосочетаний текста $L_m = \{l_m^i\}, 1 \leq i \leq n$, УДК-текста u_m и множества значений рубрикатора данного текста, $R_m = \{r_m^i\}, 1 \leq i \leq n$, где m — номер документа, поступающего в корпоративную информационную систему. Информационное представление текста — это структура, с одной стороны, отображающая суть документа, назначение и взаимосвязь его составляющих, и, с другой стороны, показывающая отношение документа, поступающего на обработку в КИС предметной области деятельности менеджера [4].

Для определения алфавитного словаря ключевых слов документа, не содержащего соответствующие поля мета информации, на этапе статистической обработки формируется множество квазиоснов L'_m , каждая из которых проверяется на совпадение слева со всеми словоформами текста.

Для учета информационной значимости ключевых слов вводим весовые коэффициенты, являющиеся дополнительным средством семантической дифференциации лексических единиц документа (ЛЕД). Алгоритм определения веса ключевого слова l_i базируется на гипотезе зависимости информационной значимости ЛЕД от ее "позиции" в тексте, т.е. ее принадлежности к тем или иным структурно-определенным, найденным на

этапе графемной обработки, фрагментам текста. Используем весовые коэффициенты (v), предложенные в работе [5].

Если на этапе контекстного анализа в документе обнаружены словосочетания то типу согласования $A+N$ или управление, $N = N_{род}, N + N_{ме}$, то их вес вычисляется как коэффициент, менее редкого слова входящего в словосочетание [6]. Далее словосочетания рассматриваются наряду с другими ключевыми словами.

В результате проверки всех словоформ текста документа d_j на совпадение с множеством квазиоснов L' , получаем заполненную базу данных словаря ключевых слов документа d_j , в которой каждой встретившейся в тексте основе из словаря основ ключевых слов L' приписан вес данной основы в тексте. Формируем множество ключевых слов и словосочетаний документа, включающее основы слов и словосочетаний, имеющие наибольший вес.

Таким образом, в $L_m = \{l_m^i\}$ каждого текста помещают набор морфологически нормализованных наиболее информативных слов и словосочетаний, отобранных из текста, отражающих его основное предметное содержание.

Логико-алгебраическая обработка обучающей выборки. Используя полученное на предыдущих этапах работы системы информационное представление каждого документа в виде множества ключевых слов и словосочетаний текста $L_m = \{l_m^i\}, 1 \leq i \leq n$, УДК-текста u_m , значение рубрик данного текста r_m^i , описываем связь предметной области деятельности менеджера, работающего с документами, и предметных переменных, объективно определяющих глубинные знания документа. Для этого строим бинарные предикаты: $P_l(l, m), P_r(r, m), P_u(u, m)$ [5].

Предикат $P_l(l, m)$, заданный на декартовом произведении $M \bullet L$, характеризует отношения между множеством областей деятельности менеджеров организации и ключевыми словами рассматриваемых документов. Предикат $P_l(l, m) = 1$, когда документ, содержащий ключевое слово l , относится к области деятельности менеджера m .

Предикат $P_r(r, m)$, заданный на декартовом произведении $M \bullet R$, характеризует отношения между множеством областей деятельности менеджеров организации и значениями предметных рубрик рассматриваемых документов. Причем $P_r(r, m) = 1$ тогда и только тогда, когда документ, относящийся к предметной рубрике r , относится к области деятельности менеджера m .

Предикат, заданный на декартовом произведении $M \bullet U$, характеризует отношения между множеством областей деятельности менеджеров организации и значениями УДК. Причем, $P_u(u, m) = 1$ тогда и только тогда, когда документ, относящийся к УДК u , относится к области деятельности

менеджера m и $P_u(u, m) = 0$, если документ, имеющий значение УДК — u , не относится к области деятельности менеджера m .

Предикаты P_r , P_i и P_u можно представить в виде таблиц, в ячейках которой ставятся единицы или нули в зависимости от того, равен ли соответствующий предикат единице или нулю для данных значений предметных переменных l, u, r, m .

На практике часто встречаются ситуации, когда, исключая из рассмотрения некоторые элементы декартового произведения, мы получаем разбиения множеств, более соответствующие интуитивным представлениям специалистов о семантике ключевых слов, предметных рубрик и значении УДК. Исключение некоторых элементов декартова произведения модели имеет смысл в том случае, когда упорядоченных пар немного по сравнению с общим числом элементов декартового произведения. Разработанный метод построения разбиений множеств L , R и U учитывает такие исключения. Алгоритм допускает небольшие различия между строками таблиц, попадающими в один класс. Мера таких допустимых отклонений ρ' может устанавливаться пользователем. При этом те строки (или столбцы), которые могут быть отнесены к различным классам, выделяются особо и могут быть классифицированы пользователем отдельно. Такие строки (столбцы) отличаются от элементов некоторых классов в числе ρ' двоичных разрядов, не превышающем заданного ρ ($\rho \leq \rho'$, где ρ можно интерпретировать как расстояние между векторами: $\rho'(a, b) = \sum a_i \oplus b_i$ a и b — двоичные векторы: $a = (a_1, a_2, \dots, a_k)$, $b = (b_1, b_2, \dots, b_k)$)

Система проводит анализ зависимости числа элементов разбиения от допустимого числа двоичных разрядов, в которых могут различаться элементы одного класса. Эта зависимость может использоваться для построения оптимальных разбиений, содержащих заданное число классов.

Разбивая, таким образом, ключевые слова обрабатываемых КИС документов, мы иерархически упорядочиваем их, используя для них отношение «быть элементом класса», включаться в предметную область исследования менеджера и указывая на их отношения к предметной рубрике и номеру УДК. Любые другие более сложные отношения на множестве, извлеченных из обрабатываемых документов ключевых слов, могут добавляться в базу знаний менеджером интеллектуально. При этом система может гибко и динамично менять разбиение ключевых слов, т.е. понятий и объектов, обрабатываемых менеджером в процессе решения управленческих задач.

Динамическая классификация поступающей информации. На этом этапе для каждого множества текстов документов, поступающих на вход системы, выполняются все описанные процедуры: предлингвистической, графемной,

морфологической, контекстной и статистической обработки. В результате каждому документу приписывается его информационное представление, которое сравнивается с имеющимися эталонами информационного представления, соответствующими области деятельности того или иного менеджера.

Выводы. Использование разработанного семантико-ориентированного лингвистического процессора позволяет извлекать из неструктурированных потоков текста на естественных языках семантическую информацию, представляемую множеством сведений о различных сторонах и отношениях изучаемых объектов заданной ПО, т.е. извлекать знания, динамически наполняя базу знаний информационной системы.

Рассматриваемая логико-лингвистическая модель одновременно с динамическим наполнением базы знаний новыми для данной предметной области понятиями и отношениями между этими понятиями, структурирует полнотекстовые информационные потоки, разбивая множество документов различных форматов, поступающее на обработку в КИС, на персонифицированные области деятельности каждого менеджера.

Список литературы: 1. Гаврилова Т. А. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб : Питер, 2000. – 384 с. 2. Mancini J. Enterprise Content Management: Critical Technologies for Business Applications // АИМ, 2001. – Р. 34–76. 3. Шаронова Н. В., Тарловский В. А., Хайрова Н. Ф. Модель извлечения глубинных знаний для систем организационного управления. // Вестник Херсонского национального университета. – 2010. № 2 (38). С. 97–102. 4. Braslavski P., Shishkin A. A User-Center Comparison of Web Search Engines. In Computational Linguistics and Intelligent Technologies. Proceedings of the Dialogua'2005 conference. Zvenigorod, June 1 – 6, 2005. P. 554–560. 5. Manning C., Schütze H. Foundations of Statistical Natural Language Processing. MIT Press, 2000. – P. 28–57. 6. Хайрова Н., Шаронова Н. Построение логической сети предиката персонификации области знаний менеджера. // Системный анализ и информационные технологии: материалы 12-й Международной научно-технической конференции САИТ 2010, Киев, 25–29 мая 2010 г. / УНК «ИПСА» НТУУ «КПИ». – К. : УНК «ИПСА» НТУУ «КПИ». 2010. – С. 333.

Надійшла до редколегії 06.11.2010

УДК 519.2

А. Е. ГОЛОСКОКОВ, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»;
А. Ю. БАБАК, студент НТУ «ХПИ»

ПРОЦЕДУРА ОЦЕНКИ РИСКА БАНКРОТСТВА ПРЕДПРИЯТИЙ

Розглянуто проблему аналізу ризику банкрутства підприємств. Викладено класичний метод дискримінантного аналізу ризику банкрутств, запропонований Е. Альтманом, проаналізовано його переваги і недоліки. Викладено нечітко – множинний підхід до оцінки ризику банкрутства, описуються передумови доцільності розгляду і застосування даного підходу. Розглянуто гіпотезу

про можливість застосування розглянутих методів в умовах економіки України для оцінки ризику банкрутства підприємства.

Рассмотрена проблема анализа риска банкротства предприятий. Изложен классический метод дискриминантного анализа риска банкротств, предложенный Э. Альтманом, проанализированы его достоинства и недостатки. Изложен нечетко – множественный подход к оценке риска банкротства, описываются предпосылки целесообразности рассмотрения и применения данного подхода. Рассмотрена гипотеза о возможности применения рассмотренных методов в условиях экономики Украины для оценки риска банкротства предприятия.

We consider the problem of risk analysis bankruptcies. Presented the classical method of discriminant analysis, the risk of bankruptcy, proposed by E. Altman, analyzed its advantages and disadvantages. Set out fuzzy – multiple approach to evaluation of bankruptcy risk, describes the background and the need to discuss the application of this approach. Considered the hypothesis about the possible application of the methods in terms of economy of Ukraine to assess the risk of bankruptcy.

Одной из актуальных проблем современной экономики любого государства, связанных со стратегическим менеджментом и планированием является анализ финансового состояния, оценка риска банкротства предприятия, его прогнозирование и своевременная профилактика. В современной экономике, когда предпринимательская деятельность в большей степени финансируется за счет заемных средств, для кредиторов и инвесторов представляется крайне важным оценивать степень рисковости вложений и вероятность потерь. Основной причиной полной, либо частичной потери средств при их инвестировании является банкротство компании, в которую эти средства были вложены (в той или иной форме). Поэтому перед кредиторами и инвесторами остро стоит проблема своевременной оценки вероятности банкротства контрагентов для предотвращения возможных потерь [1].

Специалисты банков заинтересованы в получении прогноза банкротства с целью оценки риска, связанного с предоставлением предприятию кредитов. Инвесторы, решающие вопрос о покупке ценных бумаг корпорации, хотели бы знать, каково в целом ее финансовое положение, и сколь вероятна потеря вкладываемых ими капиталов. Собственников и руководство корпорации интересует объективная оценка ее финансового положения и необходимость тех или иных шагов по его выправлению. Задача выбора надежного делового партнера также требует оценки возможных претендентов с позиций прочности их финансового положения.

Не исключением является и экономический рынок Украины чьи предприятия в последнее время оказались в тяжелом экономическом положении. Это связано не только с общей ситуацией в стране, недавно грянувшим мировым кризисом, но и со слабостью финансового управления на предприятиях. И отсутствие навыков адекватной оценки собственного финансового состояния, анализа финансовых последствий принимаемых решений поставили многие из них на грань банкротства. Так что знание методов финансового анализа, умение разработать план оздоровления

предприятия стали необходимой предпосылкой эффективного управления организацией.

В настоящее время существует несколько общепризнанных методов и методик оценки риска банкротства. Наиболее известной и широко применяемой является методика профессора Альтмана [2]. Метод Альтмана состоит в следующем.

Применительно к данной стране и к интервалу времени формируется набор отдельных финансовых показателей предприятия, которые на основании предварительного анализа имеют наибольшую относимость к свойству банкротства. Пусть таких показателей N .

В N – мерном пространстве, образованном выделенными показателями, проводится гиперплоскость, которая наилучшим образом отделяет успешные предприятия от предприятий – банкротов, на основании данных исследованной статистики. Уравнение этой гиперплоскости имеет вид

$$Z = \sum_i \alpha_i \times K_i, \quad (1)$$

где K_i – функции показателей бухгалтерской отчетности;

α_i – полученные в результате анализа веса.

Осуществляя параллельный перенос плоскости (1), можно наблюдать, как перераспределяется число успешных и неуспешных предприятий, попадающих в ту или иную подобласть, отсеченную данной плоскостью. Соответственно, можно установить пороговые нормативы Z_1 и Z_2 : когда $Z < Z_1$, риск банкротства предприятия высок, когда $Z > Z_2$ – риск банкротства низок, $Z_1 < Z < Z_2$ – состояние предприятия не определимо.

Отмеченный подход, разработанный в 1968 г. Эдвардом Альтманом, был применен им самим в том же году применительно к экономике США. В результате появилось широко известная формула:

$$Z = 1.2K_1 + 1.4K_2 + 3.3K_3 + 0.6K_4 + 1.0K_5, \quad (2)$$

где K_1 – собственный оборотный капитал/сумма активов;

K_2 – нераспределенная прибыль/сумма активов;

K_3 – прибыль до уплаты процентов/сумма активов;

K_4 – рыночная стоимость собственного капитала/заемный капитал;

K_5 – объем продаж/сумма активов.

Интервальная оценка Альтмана: если $Z < 1,81$ – очень высокая вероятность банкротства, если $1,81 \leq Z \leq 2,7$ – высокая вероятность банкротства, если $2,7 \leq Z \leq 2,99$ – возможно банкротство, если $Z \geq 3$ – вероятность банкротства крайне мала.

Таким образом, Z – модель Альтмана представляет собой статистическую модель, которая на основе оценки показателей финансового состояния и платежеспособности компании позволяет оценить риска банкротства и разделить хозяйственные субъекты на потенциальных банкротов и не банкротов. Вместе с тем модель Альтмана имеет ряд недостатков, и ее применение для экономики Украины сопряжено с определенными трудностями [3].

– требуется вычисление соответствующих коэффициентов при показателях K_i , $i = \overline{1,5}$, которые, естественно, отличаются от их значений для зарубежных стран;

– информация о финансовом состоянии анализируемых предприятий, как правило, недостоверна, руководство ряда предприятий «сознательно» подправляет свои показатели в финансовых отчетах, что делает невозможным найти достоверные оценки коэффициентов в Z – модели.

Поэтому задача оценки вероятности риска банкротства должна решаться в условиях неопределенности, неполноты исходной информации, и для ее решения предлагается использовать адекватный аппарат принятия решений – нечеткие множества и нечеткие нейронные сети (ННС).

Для этого предлагается в качестве альтернативы рассмотреть нечетко – множественный метод оценки риска банкротства, предложенный доктором экономических наук О.А. Недосекиным [4].

Эксперт строит лингвистическую переменную со своим терм – множеством значений. Например: переменная «Уровень менеджмента» может обладать терм – множеством значений «Очень низкий, Низкий, Средний, Высокий, Очень высокий».

Чтобы конструктивно описать лингвистическую переменную, эксперт выбирает соответствующий ей количественный признак – например, сконструированный специальным образом показатель уровня менеджмента, который принимает значения от нуля до единицы.

Далее эксперт каждому значению лингвистической переменной (которое, по своему построению, является нечетким подмножеством значений интервала (0,1) – области значений показателя уровня менеджмента) сопоставляет функцию принадлежности уровня менеджмента тому или иному нечеткому подмножеству. Общеупотребительными функциями в этом случае являются трапецевидные функции принадлежности. Верхнее основание трапеции соответствует полной уверенности эксперта в правильности своей классификации, а нижнее – уверенности в том, что никакие другие значения интервала (0,1) не попадают в выбранное нечеткое подмножество.

Для целей компактного описания трапецевидные функции принадлежности $\mu(x)$ удобно описывать трапецевидными числами вида

$$\beta(a_1, a_2, a_3, a_4), \quad (3)$$

где a_1 и a_4 – абсциссы нижнего основания;

a_2 и a_3 – абсциссы верхнего основания трапеции, задающей $\mu(x)$ в области с ненулевой принадлежностью носителя x соответствующему нечеткому подмножеству.

Теперь описание лингвистической переменной завершено, и аналитик может употреблять его как математический объект в соответствующих операциях и методах.

Нечетко – множественный метод, известный также, как матричный метод, состоит из следующих этапов:

Этап 1 (Лингвистические переменные и нечеткие подмножества).

а. Лингвистическая переменная E «Состояние предприятия» имеет пять значений:

E_1 – нечеткое подмножество состояний "предельного неблагополучия";

E_2 – нечеткое подмножество состояний "неблагополучия";

E_3 – нечеткое подмножество состояний "среднего качества";

E_4 – нечеткое подмножество состояний "относительного благополучия"; E_5 – нечеткое подмножество состояний "предельного благополучия".

б. Соответствующая переменной E лингвистическая переменная G «Риск банкротства» также имеет 5 значений:

G_1 – нечеткое подмножество "предельный риск банкротства",

G_2 – нечеткое подмножество "степень риска банкротства высокая",

G_3 – нечеткое подмножество "степень риска банкротства средняя",

G_4 – нечеткое подмножество "низкая степень риска банкротства",

G_5 – нечеткое подмножество "риск банкротства незначителен".

Носитель множества G – показатель степени риска банкротства g – принимает значения от нуля до единицы по определению.

в. Для произвольного отдельного финансового или управленческого показателя X_i задаем лингвистическую переменную B_i «Уровень показателя X_i » на нижеследующем терм – множестве значений:

B_{i1} – подмножество "очень низкий уровень показателя X_i ",

B_{i2} – подмножество "низкий уровень показателя X_i ",

B_{i3} – подмножество "средний уровень показателя X_i ",

B_{i4} – подмножество "высокий уровень показателя X_i ",

B_{i5} – подмножество "очень высокий уровень показателя X_i ".

Этап 2 (Показатели). Строится набор отдельных показателей $X = \{X_i\}$ общим числом N , которые, по мнению эксперта – аналитика, с одной

стороны, влияют на оценку риска банкротства предприятия, а, с другой стороны, оценивают различные по природе стороны деловой и финансовой жизни предприятия (во избежание дублирования показателей с точки зрения их значимости для анализа). Пример выбора системы показателей:

X_1 – коэффициент автономии (отношение собственного капитала к валюте баланса);

X_2 – коэффициент обеспеченности оборотных активов собственными средствами (отношение чистого оборотного капитала к оборотным активам);

X_3 – коэффициент промежуточной ликвидности (отношение суммы денежных средств и дебиторской задолженности к краткосрочным пассивам);

X_4 – коэффициент абсолютной ликвидности (отношение суммы денежных средств к краткосрочным пассивам);

X_5 – оборачиваемость всех активов в годовом исчислении (отношение выручки от реализации к средней за период стоимости активов);

X_6 – рентабельность всего капитала (отношение чистой прибыли к средней за период стоимости активов).

Этап 3 (Значимость). Каждому показателю X_i сопоставляется уровень его значимости для анализа r_i . Для этого все показатели располагаются по порядку убывания значимости так, чтобы выполнялось правило

$$r_1 \geq r_2 \geq \dots r_N. \quad (4)$$

Если система показателей проранжирована в порядке убывания их значимости, то значимость i – го показателя r_i следует определять по правилу Фишберна:

$$r_i = \frac{2(N - i + 1)}{(N + 1)N}, \quad (5)$$

Правило Фишберна отражает тот факт, что об уровне значимости показателей неизвестно ничего, кроме (4). Тогда оценка (5) отвечает максимуму энтропии наличной информационной неопределенности об объекте исследования. Если же все показатели обладают равной значимостью (равнопредпочтительны или системы предпочтений нет), тогда

$$r_i = 1/N. \quad (6)$$

Этап 4 (Классификация степени риска). Построим классификацию текущего значения g показателя степени риска как критерий разбиения этого множества на нечеткие подмножества (таблица 1):

Таблица 1 – Классификация степени риска банкротства

Интервал значений g	Классификация уровня параметра	Степень оценочной уверенности (функция принадлежности)
$0 \leq g \leq 0.15$	G_5	1
$0.15 \leq g \leq 0.25$	G_5	$\mu_5 = 10 \times (0.25 - g)$
	G_4	$1 - \mu_5 = \mu_4$
$0.25 \leq g \leq 0.35$	G_4	1
$0.35 \leq g \leq 0.45$	G_4	$\mu_4 = 10 \times (0.45 - g)$
	G_3	$1 - \mu_4 = \mu_3$
$0.45 \leq g \leq 0.55$	G_3	1
$0.55 \leq g \leq 0.65$	G_3	$\mu_3 = 10 \times (0.65 - g)$
	G_2	$1 - \mu_3 = \mu_2$
$0.65 \leq g \leq 0.75$	G_2	1
$0.75 \leq g \leq 0.85$	G_2	$\mu_2 = 10 \times (0.85 - g)$
	G_1	$1 - \mu_2 = \mu_1$
$0.85 \leq g \leq 1.0$	G_1	1

Этап 5 (Классификация значений показателей). На данном этапе строится классификация текущих значений x показателей X как критерий разбиения полного множества их значений на нечеткие подмножества вида B . В клетках таблицы стоят трапециевидные нечеткие числа, которые характеризуют соответствующие функции принадлежности.

Этап 6 (Оценка уровня показателей). Производится оценка текущего уровня показателей и полученные результаты сводятся в таблицу 2.

Таблица 2 – Текущий уровень показателей

Наименование показателя	Текущее значение
X_1	x_1
...	...
X_i	x_i
...	...
X_N	x_N

Этап 7 (Классификация уровня показателей). Проводится классификация текущих значений x по критерию таблицы, построенной на этапе 5.

Результатом проведенной классификации является таблица значений λ_{ij} – уровней принадлежности носителя x_i нечетким подмножествам B_j .

Этап 8 (Оценка степени риска). В рамках этого этапа выполняются формальные арифметические действия по оценке степени риска банкротства g :

$$g = \sum_{j=1}^5 g_j \sum_{i=1}^N r_i \lambda_{ij}, \quad (7)$$

где

$$g_j = 0.9 - 0.2 \times (j - 1). \quad (8)$$

Существо формул (7) и (8) состоит в следующем. Первоначально мы оцениваем веса того или иного подмножества из B в оценке состояния корпорации E и в оценке степени риска G . Эти веса в последующем участвуют во внешнем суммировании для определения среднего значения показателя g , где g_j есть не что иное как средняя оценка g из соответствующего диапазона таблицы 1 этапа 4 метода.

Этап 9 (Лингвистическое распознавание). Классифицируем полученное значение степени риска на базе данных таблицы 1. Результатом классификации являются лингвистическое описание степени риска банкротства и (дополнительно) степень уверенности эксперта в правильности его классификации. И тем самым вывод о степени риска предприятия приобретает не только лингвистическую форму, но и характеристику качества наших утверждений.

Основные достоинства нечетко – множественного матричного метода состоят в следующем[3]:

- возможность использования, кроме количественных, и качественных факторов;
- учет неточной, приблизительной информации о значениях факторов.

Данные методы рассматриваются как основа для проведения научно – исследовательской работы и построения интеллектуальной системы оценки риска банкротства, которая бы выполняла не только оценку риска банкротства, но и имела бы механизм поддержки принятия решения для определения комплекса мер по устранению риска банкротства и определения наиболее влиятельного на банкротство фактора. Все это является весьма актуальным в процедуре оценки риска банкротства предприятия, так как просто полученная оценка сама по себе ни о чем не говорит, а представляет только лишь степень риска банкротства. И поэтому для любого руководства предприятия очень важно, помимо оценки банкротства еще и знать «кто виноват?» и «что делать?». Также планируется провести ряд исследований и

экспериментов по применимости и эффективности данных методов для оценки риска банкротства предприятий Украины, учитывая особенности национальной экономики. В частности рассматривается харьковский филиал ОАО «Укртелеком», так как он является частью огромной государственной фирмы, которая в последнее время находится в затянувшемся процессе приватизации и реструктуризации. Поэтому оценка риска банкротства харьковского филиала является весьма актуальной задачей и полезной в рамках всей организации, так как «здоровье» всего предприятия, несомненно, зависит от стабильности и процветания его подразделений и филиалов.

Список литературы: 1. Давыдова Г. В. Методика количественной оценки риска банкротства предприятий / Г. В. Давыдова, А. Ю. Беликов // Управление риском. – 1999. – № 3. – С. 13–20. 2. Недосекин А. О. Финансовый менеджмент на нечетких множествах. – М. : AFA Library, 2003. – 184 с. 3. Зайченко Ю. Сравнительный анализ методов оценки риска банкротства предприятий Украин / Ю. Зайченко, С. Рогоза, В. Столбунов // International Book Series «Information Science and Computing». – С. 103–110. 4. Недосекин А. О. Нечетко – множественный анализ риска фондовых инвестиций. – СПб. : Сезам, 2002. – 167 с.

Надійшла до редколегії 13.11.2010

УДК 62-5:620.9

А. С. КУЦЕНКО, д-р техн. наук, проф., зав. каф. САиУ НТУ «ХПИ»;
В. А. КУРКО, студент НТУ «ХПИ»;
С. В. ЛАХНО, соискатель НТУ «ХПИ»

ЛИНЕЙНО-КВАДРАТИЧНАЯ ЗАДАЧА СТАБИЛИЗАЦИИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ КРИТЕРИЯ КАЧЕСТВА

Розглядаються методи параметричного синтезу лінійних регуляторів, оптимальних по відношенню до заданої множини квадратичних інтегральних критеріїв якості.

Рассматриваются методы параметрического синтеза линейных регуляторов, оптимальных по отношению к заданному множеству квадратичных интегральных критериев качества.

Methods of parameters synthesis linear control systems which optimization great number of quadratic integral criteria of quality, are presents in the article.

Введение. Современная теория управления в отличие от классической, основанной на полной информации о структуре и параметрах математических моделей объекта управления и возмущающих воздействий, характеризуется принципиально новыми подходами к постановке и решению задач управления. В основу современной постановки большинства задач управления положена неопределенность как параметров математической

модели объекта и возмущающих воздействий, так и других компонент постановки задачи управления: цели и критерия качества. В основополагающих работах по робастному управлению [1–3] рассмотрены основные идеи, математические постановки и конкретные пути решения ряда поставленных задач в условиях неопределенности. В то же время, в подавляющем большинстве работ в этой области авторы, как правило, ограничиваются неопределенностями математических моделей объектов управления и возмущающих воздействий. В реальных же постановках могут присутствовать и другие неопределенности, такие как неопределенность цели (многоцелевые задачи) или неопределенность критерия качества (многокритериальные задачи оптимального управления). Следует отметить, что многокритериальные постановки задач управления можно разделить на два больших класса. К первому классу могут быть отнесены задачи с критериями, отражающими различные качественные стороны управляемого процесса, такие как расход энергии, быстродействие, точность достижения цели и др. Решению подобных задач посвящена непрерывно развивающаяся теория принятия решений. Другой класс многокритериальных задач связан с неопределенностью параметров критерия качества заданной структуры. К таким критериям относится интегральный квадратичный критерий качества переходных процессов устойчивых динамических систем.

В настоящей работе предлагается расширение классической линейно-квадратичной задачи оптимального управления на случай, когда весовые коэффициенты в критерии качества точно не заданы, а задана некоторая замкнутая область, которой они принадлежат.

Постановка задачи. Линейно-квадратичная задача (LQR) оптимального управления занимает особое место в теории автоматического управления. Этому есть две причины. Во-первых, постановка LQR достаточно прагматична, а ее решение позволяет синтезировать регулятор, обеспечивающий устойчивость замкнутой системы и удовлетворительное качество переходных процессов. Во-вторых, решение LQR достаточно просто реализуется современным программным обеспечением.

В наиболее простой форме LQR формулируется следующим образом.

Пусть задана математическая модель линейного стационарного объекта управления в виде

$$\dot{x} = Ax + Bu, \quad (1)$$

где $x \in R^l$ – вектор состояния, $u \in R^s$ – вектор управления, A и B – матрицы соответствующих размерностей.

Необходимо для заданного начального значения вектора состояния

$$x(0) = x_0$$

найти закон управления

$$u = u(x(t)),$$

минимизирующий интегральный квадратичный критерий качества

$$J = \int_0^{\infty} (x^T Q x + u^T R u) dt, \quad (2)$$

где Q и R – заданные симметрические сylvестровы матрицы.

Решение поставленной задачи известно [4] и сводится к решению алгебраического матричного уравнения Риккати-Лурье относительно симметрической матрицы P

$$A^T P + PA - PBR^{-1}B^T P + Q = 0, \quad (3)$$

а закон оптимального управления имеет вид

$$u(t) = Kx(t), \quad (4)$$

где K – матричный коэффициент усиления:

$$K = -R^{-1}B^T P.$$

При этом величина квадратичного критерия качества (2) может быть вычислена по формуле

$$J = x_0^T P x_0. \quad (5)$$

Как видно из (5), оптимальное значение критерия качества при фиксированных матрицах A и B зависит от весовых матриц Q и R , а также от вектора начального состояния x_0 . В общем случае начальное состояние x_0 может принимать различные значения, обусловленные всевозможными воздействиями на управляемый процесс в предшествующий рассматриваемому период времени. В связи с этим вместо локального показателя качества конкретного переходного процесса в виде (5) будем рассматривать множественную оценку \bar{J} величины квадратичного критерия качества на ансамбле траекторий, начальные значения которых находятся внутри единичной гиперсферы

$$S = \{x_0 | x_0^T x_0 \leq 1\}. \quad (6)$$

Нетрудно убедиться [5], что множественный критерий в этом случае примет вид

$$\bar{J} = \int_S J(x_0) dS = c \cdot trP, \quad (7)$$

где c – постоянная, зависящая от размерности пространства состояний l .

Таким образом, критерий качества в виде (7) является характеристикой замкнутой системы в отличие от (5), характеризующего конкретный переходной процесс с начальным условием x_0 .

Рассмотрим ситуацию, когда весовые матрицы Q и R неопределенны и могут принимать произвольные значения из некоторых допустимых областей

$$Q \in \bar{Q}, R \in \bar{R},$$

а допустимые управления принадлежат некоторой замкнутой области $U \subset R^s$.

В этом случае традиционная постановка LQR некорректна и вместо поиска минимума критерия (2) при фиксированных матрицах Q и R необходимо доопределить задачу тем или иным способом.

Одним из таких способов доопределения является поиск закона управления, минимизирующего множественное значение критерия при всех допустимых значениях Q и R в виде

$$\min_{u \in U} \int_{\bar{Q}, \bar{R}} \int_0^{\infty} (x^T Q x + u^T R u) dt dQ dR. \quad (8)$$

Второй, и общепризнанный подход, состоит в получении гарантированного результата, соответствующего минимаксной стратегии

$$\min_{u \in U} \max_{\bar{Q}, \bar{R}} \int_0^{\infty} (x^T Q x + u^T R u) dt. \quad (9)$$

Исследование одного из подходов к решению задач (8) и (9) и составляет предмет данной работы.

Параметрический синтез линейного регулятора. Непосредственное решение оптимизационных задач (8) и (9) не представляется возможным. Поэтому, вместо решения (8), (9) будем решать задачу синтеза параметров линейного регулятора в виде (4). Т.е. вместо непосредственного поиска управления в форме $u \in U$ будем отыскивать управление в виде линейной обратной связи по вектору состояния.

Тогда после подстановки (4) в систему уравнений (1) получим математическую модель замкнутого линейной обратной связью по состоянию контура регулирования в виде

$$\dot{x} = \tilde{A}x, \quad (10)$$

где $\tilde{A} = A + BK$.

Подставим (4) в выражение (2) для критерия качества стабилизации. В результате получим:

$$J = \int_0^{\infty} (x^T Q x + x^T K^T R K x) dt = \int_0^{\infty} x^T (Q + K^T R K) x dt.$$

Таким образом, локальный переходный процесс в замкнутой системе оценивается интегральным квадратичным критерием качества, эквивалентным исходному критерию (2)

$$J = \int_0^{\infty} x^T \tilde{Q} x dt, \quad (11)$$

где $\tilde{Q} = Q + K^T R K$.

Величина критерия (11) для замкнутой системы (10) находится известными методами и имеет вид

$$J = x_0^T S x_0, \quad (12)$$

где S – решение матричного уравнения Ляпунова

$$\tilde{A}^T S + S \tilde{A} = -\tilde{Q}. \quad (13)$$

Вместо критерия (12), будем рассматривать его множественную оценку по ансамблю траектории, начальные значения которых находятся в соответствии с (6). По аналогии с (7) эта величина пропорциональна следу матрицы S :

$$\bar{J} = c \cdot trS.$$

Матрицу S можно рассматривать как функцию матричных параметров K , Q и R , из которых K представляет собой закон управления, а Q и R могут принимать произвольные заранее неизвестные значения из \bar{Q} и \bar{R} .

Поскольку матричное уравнение (13) линейно относительно S , а матрицы Q и R входят в его правую часть линейно, то зависимость критерия \bar{J} от матриц K , Q и R будет иметь следующую структуру:

$$\bar{J} = \sum_{i,j} a_{ij}(K) q_{ij} + \sum_{i,j} b_{ij}(K) r_{ij}, \quad (14)$$

где $a_{ij}(K)$ и $b_{ij}(K)$ – некоторые нелинейные функции матричного коэффициента усиления K .

Таким образом, задачи (8) и (9) с учетом (14) сводятся к задачам

$$\min_K \int_{\bar{Q}, \bar{R}} \left(\sum_{i,j} a_{ij}(K) q_{ij} + \sum_{i,j} b_{ij}(K) r_{ij} \right) dQ dR, \quad (15)$$

$$\min_K \max_{Q, R} \left(\sum_{i,j} a_{ij}(K) q_{ij} + \sum_{i,j} b_{ij}(K) r_{ij} \right). \quad (16)$$

При оптимизации в соответствии с (15) или (16) следует учесть дополнительные ограничения, связанные со спецификой матриц K , Q и R .

1. Матрица K должна быть такой, чтобы замкнутая система (10) была устойчивой.

2. Элементы допустимых множеств \bar{Q} и \bar{R} должны удовлетворять условиям положительной полуопределенности соответствующих квадратичных форм.

Обозначим коэффициенты матрицы K как k_1, k_2, \dots, k_m , а коэффициенты матриц Q и R как z_1, z_2, \dots, z_r , $m = ls$, $r = \frac{l(l-1) + s(s-1)}{2}$. Тогда (14) можно представить в виде

$$\bar{J} = \sum_{i=1}^r f_i(k_1, k_2, \dots, k_m) z_i, \quad (17)$$

где $f_k(k_1, k_2, \dots, k_m)$ соответствуют $a_{ij}(K)$ или $b_{ij}(K)$.

Рассмотрим частный, но практически важный случай, когда матрицы Q и R диагональные. В силу требования положительной полуопределенности указанных матриц $z_i \geq 0$ ($i = \overline{1, n}$, $n = l + s$). Введем также условие нормировки весовых коэффициентов критерия качества:

$$\sum_{i=1}^n z_i = 1. \quad (18)$$

Условие нормировки (18) совместно с требованием неотрицательности всех слагаемых z_i задают в пространстве R^n выпуклую многогранную область L , расположенную на гиперплоскости (18), с вершинами l_k в точках с координатами $(d_{k1}, d_{k2}, \dots, d_{kn})$, где d_{kj} – символ Кронекера.

Рассмотрим множественную постановку задачи синтеза параметров регулятора (15), которая с учетом (17) примет вид

$$\min_{k \in \tilde{K}} \int_L \sum_{i=1}^n f_i(k) z_i dL, \quad (19)$$

где \tilde{K} – допустимое множество величин коэффициентов усиления в цепи обратной связи, удовлетворяющих условиям устойчивости замкнутой системы и физическим ограничениям.

Поверхностный интеграл в (19) можно преобразовать следующим образом:

$$\int_L \sum_{i=1}^n f_i(k) z_i dL = \sum_{i=1}^n f_i(k) \int_L z_i dL.$$

Поскольку область L симметрична относительно переменных z_i , то величина поверхностного интеграла $\int_L z_i dL = const$ и не зависит от индекса i .

Таким образом, сформулированная задача сводится к поиску

$$\min_{k \in \tilde{K}} \sum_{i=1}^n f_i(k).$$

Задача поиска гарантированного результата (16) сводится к решению минимаксной задачи

$$\min_{k \in \tilde{K}} \max_{z \in L} \sum_{i=1}^n f_i(k) z_i, \quad (20)$$

состоящей из двух вложенных задач оптимизации [6].

Рассмотрим задачу максимизации, входящую в (20) и состоящую в нахождении функции

$$\varphi(k) = \max_{z \in L} \sum_{i=1}^n f_i(k) z_i. \quad (21)$$

Нетрудно видеть, что максимизируемая функция в (21) линейна по переменным z_i , следовательно, ее максимум при фиксированном k находится в одной из вершин многогранника L . Таким образом

$$\varphi(k) = \max_{z \in L} \sum_{i=1}^n f_i(k) z_i = \max \{f_1(k), f_2(k), \dots, f_n(k)\}.$$

Решение задачи (21) дает нам разбиение множества \tilde{K} на подмножества

$$\tilde{K}_i = \{k | f_i(k) \geq f_j(k), j = \overline{1, n}, i \neq j\}.$$

Следовательно, задача минимизации, входящая в (20),

$$\min_{k \in \tilde{K}} \varphi(k)$$

распадается на n задач минимизации

$$k^i = \arg \min_{k \in \tilde{K}_i} f_i(k). \quad (22)$$

Окончательный результат решения минимаксной задачи (20) k^* находится путем сравнения элементов множества решений частных задач минимизации (22) и выбора

$$k^* = \arg \min \{f_1(k^1), f_2(k^2), \dots, f_n(k^n)\}.$$

Решение задачи для системы 2-го порядка. Рассмотрим реализацию разработанных методов применительно к системе стабилизации линейного объекта 2-го порядка, математическая модель которого имеет вид

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = u. \end{cases} \quad (23)$$

Закон управления будем искать в виде

$$u = k_1 x_1 + k_2 x_2, \quad (24)$$

а критерий качества стабилизации выберем в виде

$$J = \int_0^{\infty} (z_1 x_1^2 + z_2 x_2^2 + z_3 u^2) dt, \quad (25)$$

где z_1, z_2, z_3 – неопределенные весовые коэффициенты, удовлетворяющие условиям неотрицательности и нормировки (18).

После подстановки закона управления (24) в (23) и (25) получим матрицы \tilde{A} и \tilde{Q} в виде

$$\tilde{A} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ k_1 & k_2 \end{pmatrix}, \quad \tilde{Q} = \begin{pmatrix} z_1 + z_3 k_1^2 & z_3 k_1 k_2 \\ z_3 k_1 k_2 & z_2 + z_3 k_2^2 \end{pmatrix} \quad (26)$$

После подстановки (26) в (13) и решения последнего уравнения относительно матрицы S получим выражение для критерия (17)

$$\bar{J} = \sum_{i=1}^3 f_i(k_1, k_2) z_i, \quad (27)$$

$$\text{где } f_1(k_1, k_2) = \frac{k_2^2 + 1 - k_1}{k_1 k_2}, \quad f_2(k_1, k_2) = \frac{k_1 - 1}{k_2}, \quad f_3 = \frac{k_1 - k_1^2 - k_2^2}{k_2}.$$

Множественный подход применительно к (27) приводит к задаче минимизации функции J^* двух переменных k_1, k_2 на допустимом множестве $k_1 < 0, k_2 < 0$ коэффициентов усиления, обеспечивающих устойчивость замкнутой системы

$$J^* = \sum_{i=1}^3 f(k_1, k_2)_i = \frac{k_2^2 - 2k_1 + 2k_1^2 - k_1^3 - k_1 k_2^2 + 1}{k_1 k_2}.$$

Результатом минимизации J^* является вектор коэффициентов усиления

$$k_1 = -0,68, \quad k_2 = -1,24. \quad (28)$$

Применение гарантированного подхода (20) – (22) по отношению к (27) дало следующие результаты:

$$k_1 = -1,17, \quad k_2 = -1,61. \quad (29)$$

Обсуждение результатов. Преобразуем математическую модель замкнутой системы к форме дифференциального уравнения 2-го порядка, принятой в теории автоматического управления:

$$T^2 \ddot{x} + 2T\xi \dot{x} + x_1 = 0, \quad (30)$$

где $T = \sqrt{-\frac{1}{k_1}}$ – постоянная времени, $\xi = -\frac{k_2}{2T}$ – коэффициент демпфирования.

В таблице приведены постоянные времени и коэффициенты демпфирования линейных систем второго порядка (30), соответствующих множественному и гарантированному подходам с коэффициентами усиления в цепи обратной связи (28) и (29) соответственно.

	T	ξ
Множественный подход	1.21	0.51
Гарантированный подход	0.85	0.95

Из таблицы видно, что множественный подход дает в 1,5 раза большее время переходных процессов и более высокую колебательность по сравнению с гарантированным подходом. Это ухудшение переходных процессов при

множественном подходе естественно компенсируется уменьшением расходов на управление.

Список литературы: 1. *Кунцевич В. М.* От проблем управления одним объектом – к проблемам управления классами объектов // Проблемы управления и информатики. – 1994. – № 1–2. – С. 3–14. 2. *Поляк Б. Т.* Робастная устойчивость и управление / Б. Т. Поляк, П. С. Щербаков – М. : Наука, 2002. – 303 с. 3. *Кунцевич В. М.* Управление в условиях неопределенности: гарантированные результаты в задачах управления и идентификации. – К. : Наук. думка, 2006. – 264 с. 4. *Калман Р. Е.* Очерки по математической теории систем / П. Л. Фалб, М. Арбиб – М. : Мир, 1971. – 400 с. 5. *Костенко Ю. Т.* Об одном подходе к проблеме параметрической оптимизации регулируемых систем / Ю. Т. Костенко, А. С. Куценко, И. А. Свиридова // Системный анализ, управление и информационные технологии. Вестник ХГПУ, выпуск 51. – Х. : ХГПУ, 1999. – с. 14–18. 6. *Демьянов В. Ф.* Введение в минимакс / В. Ф. Демьянов, В. Н. Малоземов В. Н. – М. : Наука, 1972. – 368 с.

Надійшла до редколегії 05.11.2010

УДК 621.165

В. П. СУББОТОВИЧ, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»;
С. А. ТЕМЧЕНКО, мл. науч. сотр. НТУ «ХПИ»

О МЕТОДЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НАРУЖНОЙ ГРАНИЦЫ ВЫХОДНОГО ДИФFUЗОРА ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ

Описаний новий метод проектування зовнішньої межі вихідного диффузора газової турбіни при вісесиметричній моделі течії ідеального газу. Метод спеціально розроблений для використання в задачах оптимального проектування проточних частин турбомашин, враховує особливості схем оптимізації і дозволяє істотно розпаралелювати обчислювальні процеси.

Описан новый метод проектирования внешней границы выходного диффузора газовой турбины при осесимметричной модели течения идеального газа. Метод специально разработан для использования в задачах оптимального проектирования проточных частей турбомашин, учитывает особенности схем оптимизации и позволяет существенно распараллелить вычислительные процессы.

The new method of exit cone outside boundary design of the gas turbine is described at axial-symmetric model of ideal gas flow. The method is specially developed for the usage in the problems of turbomachines' flowing pass optimum design; takes into account features of optimum alternative organisation and allows to parallel computing processes essentially.

Введение. Выходной диффузор газовой турбины – свободный кольцевой канал, у которого внутренняя ограничивающая поверхность является, как правило, цилиндрической или конической поверхностью вращения, и геометрические характеристики этой поверхности заранее известны из конструктивных соображений. Течение в диффузоре полагается

установившимся, адиабатическим, безотрывным и осесимметричным, а рабочее тело – сжимаемым и невязким. Система координат – неподвижная цилиндрическая (φ, R, Z) , где φ – полярный угол, R – радиальное направление, Z – осевое направление, совпадающее с осью канала.

Описание метода. Течение в диффузоре описывается следующей системой уравнений:

1) Уравнение сохранения энергии:

$$\frac{k}{k-1} p^* v^* = \frac{k}{k-1} p v + \frac{C^2}{2}, \quad (1)$$

где p^*, v^* – полные давление и удельный объем;

$$C^2 = C_Z^2 + C_R^2 + C_U^2.$$

2) Уравнение изоэнтропийного процесса:

$$p^* (v^*)^k = p v^k = \text{const}. \quad (2)$$

3) Система из трех уравнений, эквивалентная уравнению неразрывности:

$$C_Z = \frac{v}{2\pi R} \frac{\partial G}{\partial R}, \quad C_R = -\frac{v}{2\pi R} \frac{\partial G}{\partial Z}, \quad \text{tg } \gamma = -\frac{\partial G}{\partial Z} / \frac{\partial G}{\partial R}, \quad (3)$$

где $G(Z, R)$ – функция массового расхода.

4) Проекция уравнения количества движения на радиальное направление:

$$C_R \frac{\partial C_R}{\partial R} + C_Z \frac{\partial C_R}{\partial Z} - \frac{C_U^2}{R} = -v \frac{\partial p}{\partial R}. \quad (4)$$

5) Проекция уравнения количества движения на осевое направление:

$$C_R \frac{\partial C_Z}{\partial R} + C_Z \frac{\partial C_Z}{\partial Z} = -v \frac{\partial p}{\partial Z}. \quad (5)$$

6) Проекция уравнения количества движения на окружное направление:

$$C_R \frac{\partial C_U}{\partial R} + C_Z \frac{\partial C_U}{\partial Z} + \frac{C_U C_R}{R} = 0. \quad (6)$$

Преобразуем эту систему уравнений к системе уравнений меньшей размерности, как показано в работе [1]. Тогда проекции уравнения количества движения примут следующий вид:

$$\frac{v}{(2\pi R)^2} \frac{\partial G}{\partial R} \left[B_1 \left(\frac{\partial p}{\partial Z} + \frac{\partial p}{\partial R} \operatorname{tg} \gamma \right) + B_2 \right] - \frac{C_U^2}{R} = -v \frac{\partial p}{\partial R}, \quad (7)$$

$$-\frac{v}{(2\pi R)^2} \frac{\partial G}{\partial R} \left[B_3 \left(\frac{\partial p}{\partial Z} + \frac{\partial p}{\partial R} \operatorname{tg} \gamma \right) + v B_4 \right] - \frac{C_U^2}{R} = -v \frac{\partial p}{\partial Z}, \quad (8)$$

$$\text{где } B_1 = \frac{\partial G}{\partial Z} \frac{v^2}{a^2}; \quad B_2 = v \left[\left(\frac{1}{R} \frac{\partial G}{\partial Z} - \frac{\partial^2 G}{\partial Z \partial R} \right) \operatorname{tg} \gamma - \frac{\partial^2 G}{\partial Z^2} \right]; \quad B_3 = \frac{\partial G}{\partial R} \frac{v^2}{a^2};$$

$$B_4 = \left(\frac{1}{R} \frac{\partial G}{\partial R} - \frac{\partial^2 G}{\partial R^2} \right) \operatorname{tg} \gamma - \frac{\partial^2 G}{\partial Z \partial R}.$$

Систему уравнений (7) и (8) сведем к одному дифференциальному уравнению:

$$\frac{\partial p}{\partial R} = \frac{1 - M_{C_z}^2}{1 - M_{C_z}^2 - M_{C_r}^2} \left\{ \frac{M_{C_z} M_{C_r}}{1 - M_{C_z}^2} v B_5 - B_6 + \frac{C_U^2}{v R} \right\}, \quad (9)$$

$$\text{где } B_5 = \frac{1}{(2\pi R)^2} \frac{\partial G}{\partial R} \left[\left(\frac{1}{R} \frac{\partial G}{\partial R} - \frac{\partial^2 G}{\partial R^2} \right) \operatorname{tg} \gamma - \frac{\partial^2 G}{\partial Z \partial R} \right];$$

$$B_6 = \frac{v}{(2\pi R)^2} \frac{\partial G}{\partial R} \left[\left(\frac{1}{R} \frac{\partial G}{\partial Z} - \frac{\partial^2 G}{\partial Z \partial R} \right) \operatorname{tg} \gamma - \frac{\partial^2 G}{\partial Z^2} \right];$$

$M_{C_z} = C_z/a$, $M_{C_r} = C_r/a$ – числа Маха, определенные по осевой и радиальной составляющим скорости потока;

$$a = \sqrt{k p v} \text{ – скорость звука.}$$

Постановка задачи. Задачу определения наружной границы диффузора сформулируем следующим образом. Задается:

1) массовый расход m , его распределение и распределение параметров рабочего тела по высоте канала на входе в диффузор, а именно: полного давления p^* и удельного объема v^* , окружной компоненты скорости потока C_U ;

2) геометрические характеристики внутренней границы диффузора $R = R_b(Z)$, включая ее первые, вторые и третьи производные;

3) распределения вдоль внутренней границы скорости потока $C = C_b(Z)$ и ее первой и второй производных.

Необходимо определить на меридиональной плоскости геометрию внешней границы диффузора $R_p = R_p(Z)$ и распределение параметров рабочего тела внутри канала.

В приведенной выше формулировке задача может быть решена для любого отдельного торцевого сечения диффузора. Такую задачу для одного сечения $Z = \text{const}$ назовем частной задачей. Поэтому выбираем множество из n плоскостей (расчетных сечений) $Z_0 < Z_1 < \dots < Z_i < Z_{i+1} < \dots < Z_n$, пересечения которых с меридиональной плоскостью покрывают с необходимой густотой всю расчетную область. Очевидно, что решение всех частных задач и будет решением задачи определения наружной границы диффузора.

В сечении $Z = Z_i$ выберем N равностоящих точек R_j , $j = \overline{1, N}$. В точке с номером $j = 1$, находящейся на внутренней границе диффузора $R_1 = R_b(Z_i)$, определяем статическое давление p_b из уравнения (1):

$$p_b = \left[\frac{k-1}{k v^*} (p^*)^{\frac{1}{k}} \right]^{\frac{k}{k-1}} \left(\frac{k}{k-1} p^* v^* - \frac{C_b^2}{2} \right)^{\frac{k}{k-1}}. \quad (10)$$

Для точки $R_1 = R_b(Z_i)$ по условию задачи известна функция $C = C_b(Z)$ и её производные до второго порядка включительно. Поэтому можно записать следующую систему трех уравнений:

$$C^2 - C_R^2 - C_Z^2 - C_U^2 = 0;$$

$$C \frac{dC}{dZ} - C_R \frac{dC_R}{dZ} - C_Z \frac{dC_Z}{dZ} - C_U \frac{dC_U}{dZ} = 0; \quad (11)$$

$$\left(\frac{dC}{dZ} \right)^2 - \left(\frac{dC_Z}{dZ} \right)^2 - \left(\frac{dC_R}{dZ} \right)^2 - \left(\frac{dC_U}{dZ} \right)^2 + \frac{d^2 C}{dZ^2} - C_Z \frac{d^2 C_Z}{dZ^2} - C_R \frac{d^2 C_R}{dZ^2} - C_U \frac{d^2 C_U}{dZ^2} = 0.$$

В системе уравнений (11) компонента скорости C_U определяется из условия $C_U R = \text{const}$, а $\frac{dC_U}{dZ} = -\frac{C_U}{R} \operatorname{tg} \gamma$, что следует из уравнения (6).

Введем функцию массового расхода $G(Z, R) = m \Psi(Z, R)$, где m – заданный массовый расход, $\Psi(Z, R)$ – безразмерная функция тока. В качестве безразмерной функции тока используется следующая функция:

$$\Psi(Z, R) = \frac{\bar{F}(Z, R) + x(Z, R) \bar{F}(Z, R)}{1 + x(Z, R) \bar{F}(Z, R)}, \quad (12)$$

где $\bar{F}(Z, R) = (R_j^2(Z) - R_k^2(Z)) / (R_p^2(Z) - R_k^2(Z))$ – относительная торцевая площадь, принимающая значения $0 \leq \bar{F}(Z, R) \leq 1$.

Отметим, что функция $x(Z, R)$ – некоторая непрерывная дважды дифференцируемая функция вещественных переменных.

Если функция $x(Z, R)$ имеет вид $x(Z, R) = f(R, a_0(Z), a_1(Z), \dots, a_l(Z))$, тогда для сечения $Z = Z_i$ величины $a_0(Z_i), a_1(Z_i), \dots, a_l(Z_i)$, $\frac{a_0(Z_i)}{Z}, \frac{a_1(Z_i)}{Z}, \dots, \frac{a_l(Z_i)}{Z}$ и $\frac{^2 a_0(Z_i)}{Z^2}, \frac{^2 a_1(Z_i)}{Z^2}, \dots, \frac{^2 a_l(Z_i)}{Z^2}$ – вещественные числа. Например, если $X(Z, R) = f(R, a_0(Z))$, то есть $l = 0$, тогда вектор вещественных переменных X функции $\Psi(Z, R)$ имеет только три компоненты: $X = \left\{ a_0(Z_i), \frac{\partial a_0(Z_i)}{\partial Z}, \frac{\partial^2 a_0(Z_i)}{\partial Z^2} \right\}$.

При заданном векторе X система уравнений (11) имеет три неизвестные, а именно: искомые геометрические характеристики наружной границы диффузора $R_p, \frac{dR_p}{dZ}, \frac{d^2 R_p}{dZ^2}$. Эта система уравнений решается аналитически.

Для сечения $Z = \text{const}$ уравнение (9) – обыкновенное дифференциальное уравнение. Его решение – решение задачи Коши $\frac{dP}{dR} = f(R, p)$ на интервале $[R_b(Z), R_p(Z)]$ с граничным условием (10).

При заданном векторе X для определения распределения параметров рабочего тела в сечении $Z = Z_i$ достаточно решить задачу Коши, найти давления в точках R_j с номерами $2, 3, \dots, N-1, N$ и вычислить в этих точках скорости и другие параметры течения. Однако, выполнение уравнения (1) гарантировано только в той единственной точке, в которой определялось граничное условие (10): в точке $R_1 = R_b(Z)$. Во всех других точках $R_j, j = \overline{2, N}$ выполнение уравнения сохранения энергии (1) зависит от правильности выбора вектора X . А правильность выбора вектора X мы сможем оценить из уравнения (1), а именно: определить в каждой точке R_j массовый расход, который следует ожидать через сечение $Z = Z_i$:

$$m_{Xj} = \frac{\frac{2k}{k-1} (p_j^* v_j^* - p_j v_j)}{\sqrt{\left(\frac{v_j}{2\pi R_j}\right)^2 \left[\left(\frac{\partial \Psi}{\partial R}\right)_j^2 + \left(\frac{\partial \Psi}{\partial Z}\right)_j^2 \right] + (C_v^2)_j}}. \quad (13)$$

Таким образом, необходимо найти такой вектор X , чтобы величины давлений p_j , полученные в результате решения задачи Коши, обращали уравнение (1) в тождество во всех точках $R_j, j = \overline{2, N}$ сечения $Z = Z_i$. Поэтому задача расчета течения в сечении $Z = \text{const}$ может быть сформулирована как задача нелинейного программирования, независимыми переменными которой выступают компоненты вектора X . При построении целевой функции будем руководствоваться необходимостью выполнения равенства между заданным расходом и определенным по формуле (13) в каждой точке $R_j, j = \overline{2, N}$.

Алгоритм вычисления целевой функции:

1) Задаем компоненты вектора X и вычисляем функцию (12) и её первые и вторые производные в каждой точке $R_j, j = \overline{1, N}$;

2) находим корни системы уравнений (11), а именно: $R_p, \frac{dR_p}{dZ}, \frac{d^2 R_p}{dZ^2}$;

3) решаем задачу Коши $\frac{dp}{dR} = f(R, p)$ на интервале $[R_b(Z_i), R_p(Z_i)]$ при граничном условии в точке $R_1 = R_b(Z)$ и вычисляем ожидаемые массовые расходы m_{Xj} в точках $R_j, j = 2, 3, \dots, N$, используя (13);

4) вычисляем целевую функцию, построенную по принципу критерия метода наименьших квадратов:

$$S(X) = \frac{1}{N-1} \sum_{j=2}^N \left(\frac{m_{Xj} - m}{m} \right)^2.$$

Описанная выше задача нелинейного программирования решается методом Нелдера и Мида.

Заключение. Итак, предложен новый метод, который в рамках осесимметричной модели течения находит геометрию наружной границы диффузора, позволяет существенно распараллелить вычислительные процессы, и учитывает особенности решения задач оптимального проектирования каналов:

– решение частной задачи в одном из сечений никак не связано с решением задачи в любом другом сечении, поэтому частные задачи могут решаться в любой последовательности, группами или одновременно;

– частная задача сформулирована как задача нелинейного программирования, что исключает несходящиеся итерационные процессы и не требуется хранения данных о предыстории поиска.

Список литературы: 1. Субботович В. П. Определение параметров осесимметричного потока в торцевом сечении кольцевого канала / В. П. Субботович, С. А. Темченко // Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование. Вестник НТУ «ХПИ»: Сб. научн. трудов. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. – № 6. – С. 52–55.

Надійшла до редколегії 03.11.2010

УДК 519.863

И. В. КОНОНЕНКО, д-р техн. наук, проф., зав. каф. стратегического управления НТУ «ХПИ»;

И. И. БАБИЧ, ассистент каф. стратегического управления НТУ «ХПИ»

МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ПЛАНОВ РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ УКРАИНЫ

В статті розглянуто задачу планування розвитку галузі промисловості України, яка представлена імітаційною моделлю науково-технологічного розвитку видів економічної діяльності. Запропоновано модель оптимізації планів розвитку окремої галузі промисловості в трьохкритеріальній постановці, з алгоритмічними й аналітичними цільовими функціями та обмеженнями.

В статье рассмотрена задача планирования развития отрасли промышленности Украины, которая представлена имитационной моделью научно-технологического развития видов экономической деятельности. Предложена модель оптимизации планов развития отдельной отрасли промышленности в трехкритериальной постановке, с алгоритмическими и аналитическими целевыми функциями и ограничениями.

The problem of planning of Ukrainian branch of industry development which is presented with the imitation model of scientific-technological development of economic activities is considered in this article. The model of optimization of plans for development of a particular branch of industry with three criteria and algorithmic and analytic objective functions and constraints is proposed.

Введение. Определяющая роль промышленного производства в развитии современной цивилизации и прогрессе человечества является безоговорочной. Промышленность является с одной стороны продуктом общественного прогресса, а с другой – его генератором. Она определяет территориальную дифференциацию в развитии мирового хозяйства. Именно промышленность является основным фактором, который приводит к

экономической отсталости многих регионов и даже целых стран. Промышленность является одной из ведущих отраслей экономики, которая является основой для научно-технического и экономического роста и социального прогресса общества. Вместе с другими отраслями экономики она оказывает существенное влияние на социально-экономическую ситуацию в стране, обеспечивая реализацию национальных интересов.

Промышленность – это самый важный сектор народно-хозяйственного комплекса Украина. На нее приходится 40% общеукраинского выпуска товаров и услуг, 80% их экспорта, треть основных фондов и более 35% населения, занятого в народном хозяйстве [1]. Ведущая роль промышленности в экономике Украины определяется, прежде всего, тем, что, обеспечивая все отрасли народного хозяйства орудиями труда и новыми материалами, она является наиболее активным фактором научно-технического прогресса и расширенного воспроизводства в целом. Темпы роста, уровень развития и структура промышленности – важные показатели не только количественной, но и качественной характеристики народного хозяйства и жизненного уровня населения.

Состояние и тенденции развития промышленности Украины. Отраслевая структура промышленности Украины является достаточно полной и охватывает следующие базовые отрасли: машиностроение, металлургию, приборостроение, обрабатывающую, легкую, перерабатывающую промышленности и прочие. Среди наукоемких отраслей можно выделить авиакосмическую, автомобилестроительную, тяжелое машиностроение, инструментальную, электротехническую, приборостроительную, радиоэлектронную, кораблестроительную. Технологические возможности украинских предприятий позволяют производить большинство предметов современной техники. При производстве используются все современные базовые технологии мировой промышленности: производство новых материалов, заготовительные, механико-обрабатывающие, термические, нанесение покрытий, а также нанотехнологии.

Значительные искажения в институциональных основах экономического развития и структуре доходов основных секторов стали благоприятной средой для усиления негативных тенденций в развитии отраслевой структуры экономики Украины и особенно углубления деформаций в структуре промышленности страны. На протяжении последнего десятилетия наблюдается ускоренное развитие ее низко технологических (за исключением машиностроения) отраслей с применением преимущественно устаревших технологий путем повышения уровня использования имеющихся мощностей. Так, за период 1990–2005 гг. в структуре производства промышленной продукции возросла доля черной металлургии – с 11,0% до 27,4%, электроэнергетики – с 3,2% до 12,2%, топливной промышленности – с 5,7% до 10,1%. Вместе с тем снизилась доля пищевой промышленности – с 18,6%

до 17,4%, легкой промышленности – с 10,8% до 1,6%, а машиностроения и металлообработки – с 30,5% до 13,2% [1].

При этом доля высокотехнологичных производств в Украине не только остается слишком низкой, но и приобрела тенденцию к сокращению. Особенно угрожающим является отставание в развитии добывающей и перерабатывающей промышленности, которые формируют два первых из стратегических секторов экономики. Развитие данных видов промышленности в настоящее время является одним из главных факторов повышения уровня конкурентоспособности и обеспечения устойчивого динамичного роста национальных экономик. В развитых странах мира в отличие от Украины эти производства получают опережающее развитие, которое сопровождается структурными сдвигами в сторону роста их доли, как в общем выпуске промышленности, так и экономики в целом.

Согласно Межгосударственному статистическому комитету СНГ [2] промышленность Украины пострадала больше всех среди стран СНГ от мирового финансово-экономического кризиса конца 2008 г. Так, падение промышленного производства по итогам 2009 г. в сравнении с 2008 г. составило 22%. Снижение производства в России и Беларуси за этот же период составило 11% и 3% соответственно. В соответствии с данными Министерства экономики Украины [3] в 2009 г. наихудшая ситуация среди отраслей промышленности страны наблюдалась в машиностроении, химической и нефтехимической, металлургической, деревообрабатывающей, текстильной и легкой промышленности, в которых снижение объемов производства составило 25–45%. Менее пострадали отрасли электроэнергетики и пищевой промышленности, где снижение производства составило 10% и 6% соответственно.

Постановка задачи. Отмеченные негативные тенденции, развивающиеся в отраслевой структуре промышленности Украины, и последствия финансового кризиса ставят перед существующим правительством задачу разработки и внедрения комплекса мер, направленных на преодоление спада в промышленности страны и реформирование отраслевой структуры для повышения конкурентоспособности страны на мировых рынках. Для решения поставленной задачи требуется предварительная оценка эффекта от внедрения тех или иных мероприятий, выраженная неким набором количественных показателей. Это приводит к необходимости разработки адекватных математических моделей, с помощью которых будет возможно оценить последствия от реализации тех или иных вариантов развития отраслей и промышленности в целом и выбора оптимальной стратегии развития на среднесрочную перспективу.

Целью данной статьи является разработка модели оптимизации развития отдельной отрасли промышленности Украины по ряду критериев для заданного периода планирования с использованием имитационной модели на-

учно-технологического развития видов экономической деятельности Украины [10, 11].

Анализ существующей литературы показывает, что для решения задач структурного синтеза сложных производственных систем использовался оптимизационно-имитационный подход, описанный в работе [4]. С 1987 г. в НТУ «ХПИ» рядом исследователей были предложены модели и методы решения задач планирования с алгоритмическими и аналитическими целевыми функциями и ограничениями в различных сочетаниях. Рассматривались как однокритериальные задачи [5], так и задачи в многокритериальной постановке [6,7,8]. Однако, не рассматривались задачи в более чем двухкритериальной постановке. Также в данных задачах не рассматривались имитационные модели уровня отрасли или государства.

В данной статье предлагается рассмотреть модель оптимизации планов развития отдельной отрасли промышленности Украины в трехкритериальной постановке. В качестве критериев в модели приняты прибыль от реализации произведенной продукции, затраты на функционирование и развитие отрасли, а также объем выпуска инновационной продукции отраслью промышленности. Последний критерий обусловлен ориентацией модели развития промышленности Украины на инновационный вариант [9].

Задача планирования развития отрасли промышленности Украины. В рамках существующей структуры промышленности Украины, представленной на рисунке ниже, рассматривается структура одной отрасли.



Схема этой отрасли представляет собой объединение H видов экономической деятельности (ВЭД) страны, входящих в данную отрасль. Структура h -го ВЭДа ($h = \overline{1, H}$) в свою очередь представляет собой объединение двух блоков: первый блок описывает производство рядовой продукции, второй – инновационной продукции. В качестве инновационной рассматривается продукция, которая будет отвечать требованиям мирового рынка в ближайшие 3–5 лет. Рядовую представляет продукция на которую в рассматриваемый период времени есть достаточно большой спрос в пределах страны, но которая в ближайшие 3–5 лет уступит место на рынке инновационной продукции.

Совокупность выпуска рядовой и инновационной продукции составляет объем промышленного производства h -го ВЭДа отрасли. Сложение совокупных объемов производства всех ВЭДов отрасли дает объем производства всей отрасли в целом. Рассмотрим некоторый плановый период функционирования данной отрасли, длительность которого составляет T лет. Так, в t -м году планового периода производственная мощность h -го ВЭДа отрасли по выпуску рядовой продукции может составить $A_{1t}^{(h)}$ денежных единиц, а инновационной продукции – $A_{2t}^{(h)}$ денежных единиц. Предположим, что на основе прогнозов или плановых показателей определен спрос на рядовую $D_{1t}^{(h)}$ и инновационную $D_{2t}^{(h)}$ продукцию h -го ВЭДа ($t = \overline{1, T}$, $h = \overline{1, H}$). Тогда суммарный доход рассматриваемой отрасли (который тождественно равен суммарному объему промышленного производства H ВЭДов отрасли) в плановом периоде составит

$$INCOME = \sum_{t=1}^T \sum_{h=1}^H a_t (V_{1t}^{(h)} + V_{2t}^{(h)})$$

где $a_t = (1 + E_n)^{t_p - t}$, E_n – норматив приведения разных по времени затрат и результатов, t_p – расчетный год;

$V_{1t}^{(h)}$, $V_{2t}^{(h)}$ – оценки реального объема выпуска рядовой и инновационной продукции h -м ВЭДом отрасли в t -м году, основанные на спросе. Данные величины задаются алгоритмически в следующем виде

$$V_{1t}^{(h)} = \begin{cases} A_{1t}^{(h)}, & \text{если } A_{1t}^{(h)} \leq D_{1t}^{(h)}, \\ D_{1t}^{(h)}, & \text{если } A_{1t}^{(h)} > D_{1t}^{(h)} \end{cases}, \quad V_{2t}^{(h)} = \begin{cases} A_{2t}^{(h)}, & \text{если } A_{2t}^{(h)} \leq D_{2t}^{(h)}, \\ D_{2t}^{(h)}, & \text{если } A_{2t}^{(h)} > D_{2t}^{(h)} \end{cases}$$

В начальный момент времени $t=0$ планового периода номинальная производственная мощность h -го ВЭДа отрасли по выпуску обоих видов

продукции (рядовой и инновационной) составляет $A_0^{(h)} = A_{10}^{(h)} + A_{20}^{(h)}$, а суммарная производственная мощность отрасли промышленности составляет

$$A_0 = \sum_{h=1}^H A_0^{(h)} = \sum_{h=1}^H (A_{10}^{(h)} + A_{20}^{(h)})$$

Уровень текущих затрат составляет при этом величину I_0 . На протяжении планового периода основные фонды производства изнашиваются, что приводит к изменению текущих затрат. Текущие затраты в t -м году составят величину I_t .

Для развития отрасли промышленности могут быть использованы Θ мероприятий, которые в сочетании от одного до δ создают варианты развития, реализацию каждого из которых можно осуществлять в t -м году планового периода. Так как длительность планового периода часто выбирается с учетом рассмотрения всего жизненного цикла мероприятий, сроки начала реализации мероприятий и соответственно вариантов развития в общем виде ограничены величиной $t_n \leq T$, где t_n – время начала реализации последнего варианта развития. Это обусловлено тем, что некоторые варианты развития рассчитаны на достаточно длительный срок и для оценивания эффекта от их внедрения необходимо, чтобы прошел некоторый период времени. Всего анализируются M вариантов развития, число которых определяется как сумма возможных сочетаний из Θ мероприятий от по одному до по δ , т. е.

$$M = \sum_{h=1}^d C_h^q = \sum_{h=1}^d \frac{q!}{(q-h)!h!}$$

Единицей планового периода выбран один год.

В качестве мероприятий, направленных на развитие отрасли промышленности будем рассматривать государственные вложения и частные инвестиции в развитие: сферы образования, сферы научно-исследовательских работ (НИР), сферы опытно-конструкторских работ (ОКР), рядового и инновационного производства для h -го ВЭДа.

Для каждого мероприятия заданы следующие параметры:

w_r^i – единовременные затраты в r -м году с начала проведения i -го мероприятия ($i = \overline{1, Q}$);

I_r^i – изменение текущих затрат в r -м году с начала проведения i -го мероприятия ($i = \overline{1, Q}$);

L_r^i – остаточная стоимость основных фондов, которые выбывают в связи с проведением i -го мероприятия в r -м году с начала его проведения ($i = \overline{1, Q}$);

P_r^i – прирост объема производства, в результате осуществления i -го мероприятия в r -м году с начала его проведения ($i = \overline{1, Q}$).

Тогда затраты на реализацию j -го варианта развития в r -м году с начала его реализации равны

$$w_{jr} = \sum_{i \in W_j} w_r^i,$$

где W_j – множество номеров мероприятий, формирующих j -й вариант развития.

Изменение текущих затрат в этом же году составит величину

$$I_{jr} = \sum_{i \in W_j} I_r^i,$$

а остаточная стоимость основных фондов, которые выбывают в связи с реализацией j -го варианта в этом же году, будет равна

$$L_{jr} = \sum_{i \in W_j} L_r^i.$$

Для каждого j -го варианта развития ($j = \overline{1, M}$) определено множество вариантов L_j , которые должны быть реализованы до внедрения этого варианта развития и множество вариантов M_j , после которых не может быть внедрен j -й вариант развития. Также определено максимальное количество лет g , в течение которых может осуществляться j -й вариант развития.

Оценки реального объема выпуска h -м ВЭДом отрасли рядовой $V_{1t}^{(h)}$ и инновационной $V_{2t}^{(h)}$ продукции в t -м году определяются при помощи имитационной модели научно-технологического развития видов экономической деятельности Украины [10,11]. Использование имитационной модели обусловлено алгоритмической зависимостью объема реального выпуска продукции отраслью промышленности от текущей структуры системы и значений параметров ее структурных элементов. Значение текущей оценки реального объема выпуска продукции является функцией предыдущего значения этой оценки и вариантов развития, принятых в $(g-1)$ прошлых годах и в году t

$$V_{1t}^{(h)} = \Phi_1(V_{1,t-1}^{(h)}, x_{jp}), \quad V_{2t}^{(h)} = \Phi_2(V_{2,t-1}^{(h)}, x_{jp}),$$

где $j = \overline{1, M}$, $p = \overline{t+1-g, t}$.

Модель задачи имеет следующий вид:

1) целевая функция (критерий – максимизация прибыли отрасли)

$$L_1 = \sum_{t=1}^T \sum_{h=1}^H a_t (V_{1t}^{(h)} + V_{2t}^{(h)}) - \sum_{t=1}^{t_n} \sum_{j=1}^M \sum_{r=1}^I w_{jr} a_{t+r-1} b'_{t+r-1} x_{jt} + \sum_{t=1}^{t_n} \sum_{j=1}^M \sum_{r=1}^I L_{jr} a_{t+r-1} b''_{t+r-1} x_{jt} -$$

$$- \sum_{k=1}^T I_k a_k b_k''' - \sum_{j=1}^M \left(\sum_{r=1}^g I_{jr} \sum_{k=r}^T a_k b_k''' x_{j1} + \sum_{r=1}^g I_{jr} \sum_{k=r+1}^T a_k b_k''' x_{j2} + \dots + \sum_{r=1}^{\min\{g, T-t_n+1\}} I_{jr} \sum_{k=t_n+r-1}^T a_k b_k''' x_{j t_n} \right) - w_{\text{пред}} + L_{\text{пред}} - I_{\text{пред}} \rightarrow \max_{x_{jt}}, \quad (1)$$

целевая функция (критерий – минимизация общих затрат отрасли промышленности на производство рядовой и инновационной продукции)

$$L_2 = \sum_{t=1}^{t_n} \sum_{j=1}^M \sum_{r=1}^I w_{jr} a_{t+r-1} b'_{t+r-1} x_{jt} - \sum_{t=1}^{t_n} \sum_{j=1}^M \sum_{r=1}^I L_{jr} a_{t+r-1} b''_{t+r-1} x_{jt} + \sum_{k=1}^T I_k a_k b_k''' +$$

$$+ \sum_{j=1}^M \left(\sum_{r=1}^g I_{jr} \sum_{k=r}^T a_k b_k''' x_{j1} + \sum_{r=1}^g I_{jr} \sum_{k=r+1}^T a_k b_k''' x_{j2} + \dots + \sum_{r=1}^{\min\{g, T-t_n+1\}} I_{jr} \sum_{k=t_n+r-1}^T a_k b_k''' x_{j t_n} \right) +$$

$$+ w_{\text{пред}} - L_{\text{пред}} + I_{\text{пред}} \rightarrow \min_{x_{jt}}, \quad (2)$$

целевая функция (критерий – максимизация объема выпуска инновационной продукции отраслью промышленности)

$$L_3 = \sum_{t=1}^T \sum_{h=1}^H a_t V_{2t}^{(h)} \rightarrow \max_{x_{jt}}, \quad (3)$$

где b'_t , b''_t , b'''_t – коэффициенты, учитывающие изменения в t -м году в сравнении с 0-м годом одновременных затрат, остаточной стоимости основных фондов и текущих затрат соответственно в связи с изменением цен;

$t = 1 - t + \min(t + g - 1, T)$ – последний год, в течение которого может осуществляться j -й вариант развития;

$w_{\text{пред}}$ – единовременные затраты, которые должны быть понесены в плановом периоде в связи с вариантами развития, принятыми на предыстории до года $t=1$

$$w_{\text{пред}} = \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^{g-1} a_k b'_k \sum_{p=-g+1+k}^0 w_{j,-p+1+k} x_{jp};$$

$L_{\text{пред}}$ – остаточная стоимость основных фондов, которые выбывают в плановом периоде в связи с вариантами развития, принятыми на предыстории до года $t=1$

$$L_{\text{пред}} = \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^{g-1} a_k b_k'' \sum_{p=-g+1+k}^0 L_{j,-p+1+k} x_{jp} ;$$

$I_{\text{пред}}$ – изменение текущих затрат в плановом периоде в связи с начатыми вариантами развития на предыстории

$$I_{\text{пред}} = \sum_{j=1}^M \left(\sum_{m=1}^{g-1} \sum_{k=m}^T a_k b_k'' \sum_{p=-g+1+m}^0 L_{j,-p+1+m} x_{jp} \right)$$

2) условия выполнения государственного заказа на рядовую и инновационную продукцию h -го ВЭДа во всех годах планового периода

$$\begin{cases} A_{1t}^{(h)} \geq Z_{1t}^{(h)} \\ A_{2t}^{(h)} \geq Z_{2t}^{(h)} \end{cases} \quad t = \overline{1, T}, \quad h = \overline{1, H} \quad (4)$$

где $Z_{1t}^{(h)}$, $Z_{2t}^{(h)}$ – государственный заказ на рядовую и соответственно инновационную продукцию h -го ВЭДа в t -м году планового периода.

3) ограничения на последовательность реализации вариантов развития

$$x_{j_t} \text{card} L_j - \sum_{l \in L_j} \sum_{m=1}^{t-1} x_{l_m} \leq 0, \quad j = \overline{1, M}, \quad \forall t \in \{2, 3, \dots, t_n\} \quad (5)$$

$$x_{j_t} \sum_{l \in M_j} \sum_{m=1}^{t-1} x_{l_m} = 0, \quad j = \overline{1, M}, \quad \forall t \in \{2, 3, \dots, t_n\} \quad (6)$$

4) ограничение на число реализованных вариантов в каждом году t планового периода

$$\sum_{j=1}^M x_{j_t} \leq 1, \quad t = \overline{1, t_n} \quad (7)$$

Таким образом, задача оптимизации планов развития отрасли промышленности Украины описывается динамической немарковской моделью (1)–(7) с алгоритмическими (1), (3) и аналитической (2) целевыми функциями, с алгоритмическими (4) и аналитическим (7) ограничениями, с булевыми переменными

$$x_{j_t} \in \{0, 1\}, \quad j = \overline{1, M}, \quad t = \overline{1, t_n} \quad (8)$$

где $x_{j_t} = 1$ означает, что в t -м году начата реализация j -го варианта развития;

$x_{j_t} = 0$ означает противоположное действие.

Немарковость проявляется в том, что решение про реализацию какого-либо варианта развития в году t , будет оказывать влияние на состояние системы в годах $t, t+1, t+2, \dots, t+g-1$.

Выводы и направление дальнейших исследований. В данной статье предложена модель оптимизации планов развития отрасли промышленности Украины в трехкритериальной постановке, с алгоритмическими и аналитическими целевыми функциями и ограничениями, с использованием имитационной модели научно-технологического развития видов экономической деятельности страны.

Для решения поставленной задачи предполагается использовать принцип минимакса для поиска компромиссного решения многокритериальной задачи оптимизации. Динамическая оптимизация в свою очередь будет производиться на основе метода неявного перебора.

Список литературы: 1. Державний комітет статистики України [Электронный ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/> від 05.05.2010 р. 2. Межгосударственный статистический комитет СНГ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cisstat.com/> от 05.05.2010 р. 3. Міністерство економіки України [Электронный ресурс]. – Режим доступу: <http://www.me.gov.ua/> від 05.05.2010 р. 4. Цвиркун А.Д., Акинфиев В.К., Филиппов В.А. Имитационное моделирование в задачах синтеза структуры сложных систем (оптимизационно-имитационный подход). – М.: Наука, 1985. – 173 с. 5. Кононенко И.В. Оптимизация развития производственных систем, представленных имитационными моделями. – Киев, 1990. – 31 с. – (Препр. АН УССР. Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова; 90–36). 6. Кононенко И.В., Сфременко І.М. Методичні матеріали з формування програм розвитку галузей місцевого господарства. – Харків: Інститут машин і систем, 2001. – 191 с. 7. Кононенко И.В. Компьютеризация управления развитием производственно-экономических систем. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – 240 с. 8. Кононенко И.В., Шатохина Н.В. Метод решения многокритериальной задачи формирования плана развития предприятия с учетом рисков // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ». – 2003. – Вып. 20. – с. 185–193. 9. Украина. Кабинет Министров. Распоряжение «Про схвалення Концепції проекту Загальнодержавної цільової економічної програми розвитку промисловості на період до 2017 року» №947-р от 09.07.2008 [Электронный ресурс] / Законодавство України, електронна база. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=947-2008-%FO> 10. Кононенко И.В., Сфременко Т.Н., Репин А.Н. Имитационная модель инновационного и научно-технологического развития страны // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. Збірник наукових праць. – Харків: НТУ “ХПИ”. – 2005. – №19. с. 31–36. 11. Кононенко И.В., Репин А.Н., Лакина Д.В. Моделирование научно-технологического развития видов экономической деятельности Украины // VII Международная научно-практическая конференция «Современные информационные технологии в экономике и управлении предприятиями, программами, проектами» – Харьков: Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2009. – с. 115–116

Надійшла до редакції 05.06.2010

С. С. НИКИТЧУК, асп. НТУ «ХПИ»;
Э. Е. РУБИН, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»

ХОЛДИНГ КАК ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ, ЕГО ОРГАНИЗАЦИОННАЯ СТРУКТУРА И СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ

У статті проводиться аналіз основних проблем управління підприємствами. У якості об'єкта дослідження розглядаються підприємства холдингового типу. Визначено принципи побудови організаційної структури, системи управління та цільової моделі холдингу.

В статье проводится анализ основных проблем управления предприятиями. В качестве объекта исследования рассматриваются предприятия холдингового типа. Определены принципы построения организационной структуры, системы управления и целевой модели холдинга.

The article analyzes the main problems of enterprise management. As an object of research is considered a holding company. The principles is defined for building an organizational structure, management system and the target model of the holding.

Введение. Состояние управления предприятиями в Украине характеризуется проблемами, которые связаны с несвоевременным реагированием на изменение внешней среды, преобладанием краткосрочных целей над долгосрочными программами развития, формальным отношением к разработке и реализации стратегических планов, что обуславливает низкую конкурентоспособность.

Важное значение имеет такая деятельность, как: консолидированное преимущество, общая стратегия развития, совершенствования организационно-экономического механизма стратегического управления хозяйственной деятельностью и в частности такой формой интеграции предприятий, как холдинговая [1].

В настоящее время холдинги функционируют на Западе практически во всех важнейших отраслях хозяйства. Чтобы холдинг занял надлежащее место в структуре рыночной экономики, недопустимо слепое копирование опыта западных и других стран. В процессе создания холдинговых структур в Украине необходимо учитывать специфику экономики, традиции, межхозяйственные связи сложившихся с постсоветскими странами [2]

Холдинг или холдинговая компания. Рассматривая виды предпринимательских объединений, можно выделить как правовые, так и экономические критерии их классификации. Основная классификация предпринимательских объединений производится по организационно-правовым формам. В соответствии с этим критерием выделяются холдинг, финансово-промышленная группа (ФПГ), простое товарищество [3].

Ни в отечественной, ни в международной практике и справочной литературе нет единого определения понятия «холдинг». В данной статье мы

будем понимать холдинг, как совокупность структур, объединенных едиными долгосрочными интересами и устойчивыми бизнес-процессами, собственники которых обеспечили контроль над ключевыми активами и бизнес-процессами. Учитывая отсутствие влияния на бизнес-модели «юридических границ», холдинг рассматривается как единый имущественный комплекс и имеющий сквозную систему бизнес-процессов.

Можно выделить следующие модели образования холдинга [4]:

- 1) модель основания – основание холдинга и последующая покупка долей участия в действующих компаниях;
- 2) модель слияния – внесение в холдинг уже имеющихся долей участия в уже существующих компаниях;
- 3) модель разделения – полное разделение структурных единиц компаний;
- 4) модель выделения дочерней компании – отделение структурной единицы из существующей материнской или холдинговой компании.

Рассмотрим основные типы интеграции применимые для холдинговой структуры [5].

1. Конгломерат – финансовый холдинг, при котором единственная связь между бизнес-единицами – единая акция. Бизнес-единицы (БЕ) действуют как независимые рыночные субъекты. Холдинг определяет стратегические направления развития, объекты инвестиций, изучает возможности привлечения ресурсов для инвестиционных целей.
2. Синдикат – бизнес-единицы независимы в вопросах определения производственной программы, но проводят согласованную политику продаж, т.е. имеют общую сбытовую структуру.
3. Концерн (трест) – жестко-централизованное управление, линейно-функциональная структура. Бизнес-единицами являются производственными подразделениями, объединенными по технологическому признаку.
4. Смешанный вариант – концерн-конгломерат, частичная децентрализация. В рамках единой стратегии БЕ выполняют централизованные заказы, при этом, имея возможность самим заключать контракты с третьей стороной и продавать свою продукцию. Этот тип наиболее приближен к сегодняшним реалиям украинских компаний.

В соответствии с предложенным в [4] подходом по характеру выполняемых задач холдинги можно разделить на финансовые и управляющие.

Главными функциями, выполняемыми финансовым холдингом, являются финансирование (инвестирование) и контроль. При этом, как правило, не предусматривается выполнение функций оперативного управления.

Управляющий холдинг осуществляет стратегическое и/или оперативное управление дочерними (зависимыми) компаниями: ставит перед ними цели и задачи, утверждает их стратегию, контролирует выполнение задач, назначает топ-менеджеров, при необходимости, участвует в оперативной деятельности дочерних компаний. При этом в стратегическое управление входят задачи по долгосрочному управлению финансами и инвестирование, а также организация движения финансовых потоков внутри концерна, а в оперативное – задачи по краткосрочному управлению финансовыми потоками.

Следует отметить, что возможна ситуация, когда холдинг является для одних дочерних компаний финансовым, а для других управляющим.

К преимуществам холдинга следует отнести:

- использование эффекта масштаба;
- возможность контролировать капитал, во много раз превышающий собственный;
- снижение риска деятельности (риск всей холдинговой компании меньше суммы рисков отдельных предприятий);
- возможность образования законченных цепочек производителей-межников от добычи сырья до выпуска готовой продукции;
- возможность финансирования стратегических проектов;
- ослабление влияния государства на предприятия.

Негативные свойства холдинговой формы управления проявляются в следующем:

- стремление к монополистическому поведению;
- подчинение большого числа предприятий холдингу может привести к недостаточно эффективной мотивации деятельности предприятий;
- тенденции к злоупотреблению контрольно-управленческими функциями;
- невозможности достаточно четко перераспределять фонды между своими предприятиями;
- рост расходов на содержание аппарата управления [2].

Организационная структура. Организационная структура – это механизм соподчинения и координации управляющей компании (центра), дочерних предприятий и структурных подразделений (бизнес-единиц) в процессе осуществления хозяйственной деятельности. Организационная структура достаточно автономна и не зависит от специфики системы управления, аналитической деятельности, документооборота и используемых программно-технических средств и определяется другими критериями.

Организационная структура компании проектируется и внедряется исходя из принятых принципов ее формирования:

- соответствия закрепленным направлениям хозяйственной деятельности;

- диверсификации или специализации хозяйственной деятельности;
- деления структурных подразделений на центры ответственности;
- оптимального соответствия технологической структуре производства и реализации продукции.

Наиболее распространенными моделями организационной структуры являются [6]:

- 1) линейно-функциональная – комбинирует линейный и функциональный подходы, где линейное деление выражает цели деятельности организации, обеспечивая в ней кооперацию (координацию) действий звеньев структуры, а функциональное деление выражает способы достижения целей, обеспечивая специализированное разделение труда (структурирование на звенья);
- 2) дивизионная – предполагает создание так называемых продуктовых отделений по признаку выпускаемой продукции, возглавляемых высшими управляющими для координации производственно-хозяйственной деятельности нескольких отделений;
- 3) матричная – способствует развитию в организации двух систем: по вертикали – функционального управления, по горизонтали – проектного управления. В результате полномочия делегируются не только по вертикали, но и по горизонтали, сочетая самостоятельность отделений и их ответственность за общие для холдинга конечные цели.

Следует отметить, что без наличия четко сформированной организационной структуры разработка и внедрение системы управления попросту невозможны.

Система управления. Система управления – это механизм взаимодействия служб управляющей компании и предприятий холдинга (субъектов управления):

- между собой;
- с производственными подразделениями (объектами управления);
- со сторонними предприятиями и организациями в процессе обеспечения хозяйственной деятельности компании.

При рассмотрении процессов управления холдингом следует различать управление дочерним предприятием холдинга в зависимости от его организационно-правовой модели, а также управление холдингом в целом.

Система управления подразумевает наличие следующих основных элементов:

- система движения информации для плановых и контрольных целей;
- система соподчиненности различных звеньев организационной структуры в процессе сбора и обработки информации и принятия управленческих решений;

- система управления по центрам ответственности, определение на основе этого «степени свободы» руководства различных подразделений и построение системы материального стимулирования в контексте системы управления затратами;
- система адаптации, включающая унифицированные процедуры функциональных и структурных преобразований, разработанных на основе накапливаемого опыта «поведения» в зависимости от изменений макросреды.

В самом общем виде система управления компании – это:

- ресурсы управленческих служб управляющей компании;
- функциональное распределение деятельности управленческих служб;
- регламент деятельности управленческих служб для обеспечения динамического процесса принятия управленческих решений [5].

Постановка задачи. Построение эффективного холдинга, привлекательного для инвестора, требует реструктуризации, охватывающей все аспекты деятельности, основные и вспомогательные бизнес-процессы группы. При этом необходимо учитывать действия конкурентных структур, изменения законодательной и налоговой баз и др. При построении эффективной холдинговой структуры необходимо решить следующие основные задачи:

- 1) определить основные элементы целевой модели холдинга, которая должна обеспечивать однородность бизнес-процессов, стратегий и стадий развития предприятий холдинга;
- 2) проанализировать существующие организационные модели объектов холдинга и определить пути их трансформации;
- 3) сформировать общую систему управления холдингом, включающую не только планово-контрольную функцию, но и стимулирующую;
- 4) определить подходы к обеспечению динамического роста эффективности функционирования и развития холдинговой структуры.

Список литературы: 1. Павловська І. Г. Організаційно-економічний механізм стратегічного управління холдингами // Автореферат дис. канд. екон. наук: 20.10.09 / І. Г. Павловська. – Донецьк : Інститут економіки промисловості НАН України, 2009. – 28 с. 2. Тополь М. І. Проблеми створення державних холдингових компаній і шляхи їх рішень / Тополь М. І., Фількін М. П., Чешко А. Г. – Х. : Основа, 1999. – 121 с. 3. Лаптев В. А. Предпринимательские объединения: Холдинги, финансово-промышленные группы, простые товарищества / Лаптев В. А. – М. : Wolters Kluwer Russia, 2008. – 176 с. 4. Томас Келлер. Концепции холдинга / Томас Келлер – Обнинск : Изд. ГЦИПК, 1997. – 298 с. 5. Голубев М. П. Методология создания эффективных вертикально интегрированных холдингов / Голубев М. П. – М. : ИНФРА-М, 2010. – 322 с. 6. Данников В. В. Холдинги в нефтегазовом бизнесе / Данников В. В. – М. : Эльвис, 2009. – 454 с.

Надійшла до редколегії 11.11.2010

УДК 007.03, 004.023, 654.078

А. В. КАЛМЫКОВ, канд. техн. наук, докторант НАКУ «ХАИ», г. Харьков

УПРАВЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЕМ СБАЛАНСИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Розглянуто питання проектування змісту збалансованої системи ключових показників (BSC) як інструменту управління стратегічними програмами розвитку телекомунікаційних компаній. Пропонується метод формування складу критеріїв BSC шляхом послідовного дослідження цілей, функцій, структури та алгоритмів діяльності підприємства. Запропоновано формувати склад ініціатив BSC на основі системних розбіжностей між моделями еталонного та фактичного стану структури та алгоритмів функціонування підприємства.

Рассмотрены вопросы проектирования содержания сбалансированной системы ключевых показателей (BSC) как инструмента управления стратегическими программами развития телекоммуникационных компаний. Предлагается метод формирования состава критериев BSC путём последовательного исследования целей, функций, структуры, алгоритмов деятельности предприятия. Предложено формировать состав инициатив BSC на основе системных расхождений между моделями эталонного и фактического состояния структуры и алгоритмов функционирования предприятия.

The article considers questions of engineering of the balanced scorecard content as a management tool for strategic development programs of telecommunication companies. Designing of correct and full set of BSC's criteria is offered by the way of consecutive research of the enterprise targets, functions, structures and activity's algorithms. It is suggested to form BSC's initiatives set on the basis of system divergences between reference and actual models of enterprise's structure and activity's algorithm.

Введение. Одним из перспективных подходов к стратегическому управлению предприятиями считается концепция сбалансированной системы показателей (BSC), состоящая в формировании программ изменений на основе набора целевых критериев для основных составляющих деятельности и последующем контроле процесса их достижения. Как показывает практика [1], решения о внедрении BSC на том или ином предприятии принимается в момент осознания необходимости проведения кардинальных организационных, производственных, технологических преобразований на стратегическом уровне. При этом BSC, изначально рассматриваемая, как программа осуществления антикризисных мероприятий и утверждения новых стратегических направлений, как правило, становится средством управления повседневной деятельности компании.

Как отмечают сами авторы концепции [2–4], фактически BSC является инструментом проектирования и осуществления стратегических изменений, а не только средством мониторинга деятельности предприятия. Известные практические примеры использования BSC в телекоммуникационной отрасли [1] показывают целесообразность внедрения BSC в повседневную деятель-

ность компаний, в связи с тем, что для телекоммуникаций последние 10–15 лет характерно перманентное состояние развития, преобразования, изменений. Данные процессы обусловлены расширением рынка услуг, быстрым прогрессом в технологиях их предоставления, что, соответственно, требует внедрения адекватного управления производственными и вспомогательными операциями, использования последовательного стратегического планирования деятельности предприятия.

Вместе с тем, на настоящий момент не существует даже общей формализованной методологии формирования BSC, известные методики полностью опираются на субъективные знания и опыт экспертов-разработчиков BSC, не имеют возможности учёта специфики исследуемой отрасли.

Постановка задачи исследования. Специфика отрасли телекоммуникаций. Традиционная трактовка концепции сбалансированной системы показателей [2] предполагает планирование и контроль деятельности компании с позиций четырёх составляющих: *финансы, маркетинг, внутренние процессы, персонал и развитие*, которые формируют причинно-следственную связь «*финансовые результаты за счёт маркетинга клиентов на основе эффективных внутренних процессов, осуществляемых грамотным мотивированным персоналом*».

Формирование BSC как инструмента проектирования и контроля стратегических преобразований построено на основе логической цепочки «цели – критерии – целевые значения – инициативы по достижению целевых критериев» [7, 8]. Выбор содержания звеньев логической цепочки основывается на субъективной позиции экспертов, их знаниях и опыте. В частности, отсутствуют чёткие правила и принципы выбора критериев для целей преобразований, формирования комплекса инициатив для целевых значений. Поэтому такой подход не позволяет объективно и прозрачно обосновать критерии оценки составляющих стратегических изменений и состав программы действий по достижению целей. Кроме того, данная позиция носит чрезмерно универсальный характер, и не отражает отраслевой специфики [5], которая определяет состав и содержание основных аспектов деятельности предприятия. К особенностям деятельности рассматриваемой отрасли телекоммуникаций относятся такие факторы [6]:

- высокая динамика изменения стратегических целей и задач в виду расширения рынков потребления услуг, что обусловлено, как правило, быстрым технологическим прогрессом в отрасли;
- регламентация основной деятельности бизнес-процессами (БП), которые необходимо часто корректировать по причинам развития технологий, быстрого развития и короткого жизненного цикла услуг;

- большие объёмы информационного обмена между службами предприятия, вовлечение в БП большого числа отделов, служб-исполнителей;

Таким образом, задача исследования состоит в разработке принципов формализованной методики проектирования и управления содержанием BSC (критерии, комплекс инициатив) предприятий исследуемой отрасли телекоммуникаций с учётом перечисленных особенностей.

Системный взгляд на управление предприятием на основе BSC.

Управление предприятием при помощи BSC осуществляется по отклонениям текущих значений критериев от целевых (эталонных) значений. Преимуществом по сравнению с традиционными подходами является использование системы взаимосвязанных показателей (критериев), отражающей динамику ключевых составляющих деятельности. При этом ввиду указанных выше отраслевых особенностей процесс проектирования и применения BSC для предприятий телекоммуникаций должен быть итеративным, повторяющимся (см. рис. 1), при этом в зависимости от текущей ситуации, результатов измерения деятельности могут корректироваться критерии, их целевые значения и инициативы (управляющие воздействия). Фактически содержание BSC (критерии и инициативы) можно рассматривать как компоненты контура стратегического управления предприятием.

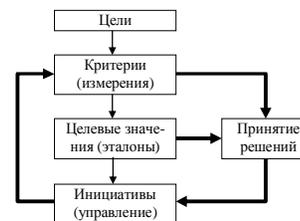


Рис. 1 – Концепция BSC в контуре управления предприятием

Такой циклический характер изменений в BSC требует формализации процессов проектирования набора показателей и инициатив, которые в настоящее время остаются нерегламентированными и непрозрачными. Формирование набора показателей опирается на иерархию ключевых составляющих деятельности предприятия. В работе [9] предложена иерархия уровней деятельности, учитывающая специфику отрасли телекоммуникаций, в соответствии с которой различают *стратегический, оперативный, производственный, технический, элементарный* уровни деятельности. При этом формулировка причинно-следственных связей будет выглядеть как: «*достижение стратегического финансового результата на основе эффективной оперативной маркетинговой деятельности, использующей*

преимущества услуг и производственных процессов на базе современных инновационных технологий, обеспечиваемых грамотным и квалифицированным обслуживанием».

В соответствии с логической цепочкой «цели – критерии – целевые значения – инициативы», проектирование BSC, как правило, начинают с исследования набора целей [7, 8]. При этом применяется модель «дерево целей», представляющую собой иерархическую структуру, в которой каждая цель вышестоящего уровня зависит от нескольких целей нижестоящего уровня. Пример декомпозиции целей телекоммуникационного предприятия в соответствии с уровнями иерархии деятельности приведен на рис. 2.



Рис. 2 – Модель целей деятельности телекоммуникационного предприятия

В логической цепочке переходы «цели – критерии», «критерии – инициативы» не являются прозрачными и однозначными. В тоже время к исследованию данных вопросов могут быть применены методы анализа и проектирования сложных технических систем. В работе [10] предложено исследовать и проектировать многоуровневые технические системы, последовательно рассматривая модели целей, функций, структуры, алгоритмов, информационных и ресурсных потоков. Отметим, что системная модель алгоритмов функционирования предприятия позволяет учесть специфику роли БП в телекоммуникациях, которые определяют информационные и ресурсные потоки, а сами модели потоков позволяют определить измеримые параметры, содержание и значения которых могут быть взяты за основу при формировании показателей BSC.

Таким образом, специфику телекоммуникационной отрасли при управлении содержанием BSC предлагается учитывать при помощи подходов и допущений, показанных в приводимой ниже таблице.

Учёт особенностей телекоммуникаций при разработке содержания BSC

Особенности	Отражение в BSC
высокая динамика изменения стратегических целей и задач	итеративный характер управления, интеграция BSC в контур управления предприятием
роль технологий	представление причинно-следственной связи между составляющими BSC в виде иерархии уровней деятельности, включая технологический
регламентация основной деятельности бизнес-процессами	логическая цепочка «цели – функции – структура – алгоритмы – информационные потоки – показатели», алгоритмическая системная модель предприятия
большие объёмы информационного обмена	логическая цепочка «цели – функции – структура – алгоритмы – информационные потоки – показатели», системная модель информационных потоков предприятия

В общем виде предлагаемый подход к формированию набора критериев представлен на рис. 3.

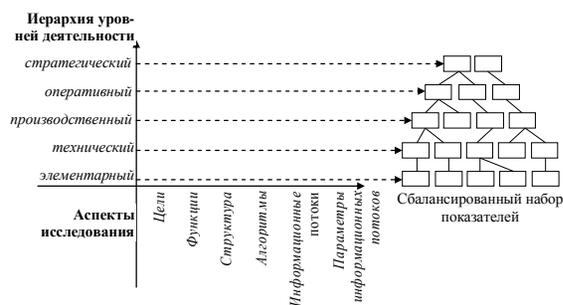


Рис. 3 – Системный подход к формированию критериев BSC (общее представление)

Формирование набора критериев BSC на основе системных моделей предприятия. При формировании системных моделей предприятия следует различать иерархию фактической деятельности предприятия и организационную иерархию, влияющую на формальное построение структуры, алгоритмов, внутренних потоков информации и ресурсов. Для моделей проектируемой сложной организационной или технической системы, состоящей из $h=1...N$ уровней иерархии деятельности и $g=1...M$ уровней организационной иерархии, придерживаемся следующей логики [11]:

- совокупность целей $\bigcup_1^I Zel_i^h$ (Для чего?) определяет совокупность функций $\bigcup_1^J Func_j^h$ (Как?), при этом достижение одной цели может обеспечиваться более, чем одной функцией, $I \leq J$;
- совокупность функций $\bigcup_1^J Func_j^h$ (Как?) определяют необходимую организационную структуру $\bigcup_1^K Str_k^s$ (Кто?), при этом один элемент организационной системы может выполнять более, чем одну функцию, $K \leq J$;
- организационная структура компании $\bigcup_1^K Str_k^s$ (Кто?) и совокупность соответствующих функций $\bigcup_1^J Func_j^h$ определяют состав и структуру алгоритмов деятельности предприятия $\bigcup_1^L Alg_l^h$ (Кто? Как?), при этом одному элементу структуры и одной функции может соответствовать более одного алгоритма $J \leq L$ и $K \leq L$;
- совокупность алгоритмов предприятия $\bigcup_1^L Alg_l^h$ определяет множества информационных $\bigcup_1^L Inf_i^h$ (Куда? От кого? Что (содержание)?) и ресурсных потоков $\bigcup_1^L Res_s^h$ (Кто? Что? Сколько?) между алгоритмами (процессами).

В общем виде описанный процесс, состоящий, по сути, в формировании системных моделей соответствующих аспектов деятельности предприятия представлен на рис. 4. Информационные и ресурсные потоки имеют чёткие, объективные характеристики и показатели измерений относительно связанных с ними функций и элементов организационной структуры. Следовательно, решение задачи выбора набора показателей эффективности $\bigcup_{h,l} KPI_{l,h}^h$, входящих в BSC, можно свести к формированию множества показателей информационных и ресурсных потоков, учитывая при этом связи с элементами функциональной, алгоритмической и структурной моделей.

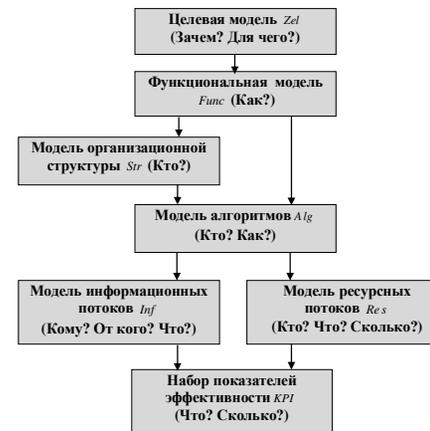


Рис. 4 – Процесс формирования набора показателей на основе системных моделей

Описанные подходы позволяют формализовать и обосновать формирование набора системных моделей стратегического процесса. Так, двигаясь по иерархии целевой модели в направлении сверху-вниз, для каждого элемента формируются с сохранением декомпозиции на уровни деятельности соответствующие элементы (один или несколько) функциональной модели (см. рис. 5). Аналогичным образом формируются системные модели структуры и алгоритмов, однако, при этом могут быть использованы иные принципы иерархии, например, организационные или технологические. Например, на рис. 6 показана модель структуры типового предприятия связи. Для декомпозиции на уровни использовались принципы организационной иерархии сложных систем, предложенные в работе [11].

Для описания зависимостей между целями, функциями, структурой, алгоритмами в работе [10] предложено использовать принципы матричной проекции.



Рис. 5 – Системная модель функций стратегического процесса телекоммуникаций

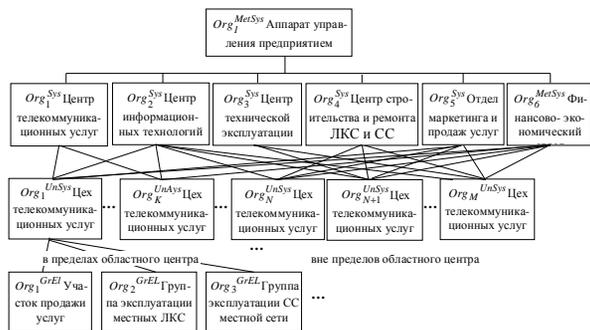


Рис. 6 – Системная модель организационной структуры телекоммуникационной компании

Элементы $\alpha_{Fun_j^h}^{Zel_i^h}$ матричной проекции определяют условия (ограничения, требования и т.п.) соответствия j -ой функции Fun_j^h h -го уровня и i -ой цели Zel_i^h этого же уровня. На рис. 7 показан пример задания такого соответствия, при помощи элементов матричной проекции $\beta_{Org_k^g}^{Fun_j^h}$, которые определяют условия (ограничения, требования и т.п.) выполнения k -м элементом g -го уровня Org_k^g j -ой функции h -го уровня Fun_j^h . Отметим, что корректная декомпозиция структуры и функций предприятия должна обеспечивать однозначное соответствие функции структурному элементу. Иными словами, соответствие функция более чем одному элементу организационной структуры, будет означать некорректность и неполноту выполненной декомпозиции функций и структуры предприятия.

	Org_1^{MetSys}	Org_1^{Sys}	Org_2^{Sys}	Org_3^{Sys}	Org_4^{Sys}	Org_5^{Sys}	...
Fun_1^{Str}	$\beta_{Fun_1^{Str}}^{Org_1^{MetSys}}$	-	-	-	-	-	...
Fun_2^{Str}	$\beta_{Fun_2^{Str}}^{Org_1^{MetSys}}$	-	-	-	-	-	...
Fun_3^{Str}	$\beta_{Fun_3^{Str}}^{Org_1^{MetSys}}$	-	-	-	-	-	...
Fun_1^{Oper}	-	-	-	$\beta_{Fun_1^{Oper}}^{Org_3^{Sys}}$	-	-	...
Fun_2^{Oper}	-	$\beta_{Fun_2^{Oper}}^{Org_1^{Sys}}$	-	-	-	-	...
Fun_3^{Oper}	-	-	-	-	-	$\beta_{Fun_3^{Oper}}^{Org_5^{Sys}}$...
Fun_4^{Oper}	-	-	-	-	-	$\beta_{Fun_4^{Oper}}^{Org_5^{Sys}}$...
Fun_1^{Prod}	-	-	$\beta_{Fun_1^{Prod}}^{Org_2^{Sys}}$	-	-	-	...
...

Рис. 7 – Матричная проекция элементов функциональной и структурной моделей

Подобным образом описываются зависимости $\gamma_{Alg_i^h}^{Func_j^h}$ между элементами структуры и процессами, $\lambda_{Inf_i^h}^{Alg_i^h}$ между процессами и информационными, ресурсными потоками.

Таким образом, цепочка «цель – функция – элемент структуры – процесс – информационный, ресурсный поток – параметр – показатель» позволяет сформировать объективную и обоснованную систему показателей. Такое прозрачное соответствие обосновывает справедливость и уместность каждого конкретного KPI_i^h (наличие соответствующего ему элемента цели, функций, структуры, алгоритмов, потока ресурсов, информации). Представим набор таких показателей как функцию (процедуру выбора значимых показателей из множества количественных параметров) от элементов информационной (ресурсной) модели:

$$\begin{aligned}
 KPI_i^h &= F(Inf_i^h) = F(\lambda_{Inf_i^h}^{Alg_i^h}(Alg_i^h)) = \\
 &= F(\lambda_{Inf_i^h}^{Alg_i^h}(\gamma_{Alg_i^h}^{Org_k^g}(Org_k^g), \gamma_{Alg_i^h}^{Func_j^h}(Func_j^h))) = \\
 &= F(\lambda_{Inf_i^h}^{Alg_i^h}(\gamma_{Alg_i^h}^{Org_k^g}(\beta_{Org_k^g}^{Func_j^h}(Func_j^h), \gamma_{Alg_i^h}^{Func_j^h}(Func_j^h)))) = \\
 &= F(\lambda_{Inf_i^h}^{Alg_i^h}(\gamma_{Alg_i^h}^{Org_k^g}(\beta_{Org_k^g}^{Func_j^h}(\alpha_{Func_j^h}^{Zel_i^h}(Zel_i^h)), \gamma_{Alg_i^h}^{Func_j^h}(\alpha_{Func_j^h}^{Zel_i^h}(Zel_i^h))))))
 \end{aligned} \tag{1}$$

Набор целевых (эталонных) значений показателей представим как $\mathbf{U}_{h,l} KPI_{e_l}^h$, тогда отклонение от этих значений запишется как:

$$\Delta \mathbf{U}_{h,l} KPI_{e_l}^h = \mathbf{U}_{h,l} \left[KPI_{e_l}^h - F \left(\lambda_{Inf_i^h}^{Alg_i^h} \left(\gamma_{Alg_i^h}^{Org_k^g} \left(\beta_{Org_k^g}^{Func_j^h} \left(\alpha_{Func_j^h}^{Zel_i^h} (Zel_i^h) \right) \right), \gamma_{Alg_i^h}^{Func_j^h} \left(\alpha_{Func_j^h}^{Zel_i^h} (Zel_i^h) \right) \right) \right) \right] \tag{2}$$

Полученное выражение назовём «системным отклонением» стратегического процесса от заданных целевых значений, иными слова – модель различий между эталонной моделью предприятия и его фактическим состоянием, выраженная в виде структуры взаимосвязанных измеряемых показателей. Показатели KPI_i^h помимо ответов на прямые вопросы (Сколько? Что?) позволяют определить описываемый процесс, его владельца (Кто?), выполняемую им функцию (Как?) и решаемую при этом задачу, цель (Зачем?)

Формирование набора измеримых показателей в рамках концепции BSC сводится к такой последовательности действий:

1. Определение принципов декомпозиции целей и функций стратегического процесса предприятия на составляющие. Например, использование иерархии деятельности отражающей отраслевую специфику, при этом, например, для телекоммуникационного предприятия предпочтительно добавление пятой составляющей «технологии».
2. Формирование «дерева целей» или эталонной системной целевой модели предприятия с использованием принятых принципов декомпозиции. Формирование «дерева функций» или эталонной системной функциональной модели стратегического процесса предприятия на основе матричной проекции «цели – функции».
3. Формирование эталонной модели организационной структуры на основе функциональной модели и матричной проекции «функции – структура».
4. Формирование эталонной модели алгоритмов на основе моделей структуры и функций, матричных проекций «функции – алгоритмы» и «структура – алгоритмы».
5. Формирование системных эталонных моделей информационных и ресурсных потоков на основе системной модели алгоритмов, матричных проекций «алгоритмы – потоки».
6. Формирование множества измеряемых параметров информационных и ресурсных потоков и выбор из них набора ключевых показателей, наиболее полно и достоверно отражающих состояние и процессы уровней деятельности предприятия.

Таким образом, предлагаемый подход позволяет обосновать и прозрачно сформировать набор ключевых показателей, сохраняя структуру внутренних зависимостей между ними и иерархическую подчинённость. Поэтому первую часть задачи по выбору принципов формирования критериев BSC можно считать решённой в общем виде. Вместе с тем, следует отметить такой недостаток данного подхода, как необходимость стабильного состава функций, структуры, алгоритмов. Это означает, фактически, возможность только количественного параметрического измерения процессов деятельности предприятия. В то же время, программа преобразований, как правило, предусматривает изменения основных аспектов деятельности от целей до алгоритмов. Поэтому необходимым и существенным условием адекватности предлагаемого подхода является решение второй части сформулированной задачи – определение принципов формирования комплекса инициатив в рамках BSC.

Формирование комплекса инициатив BSC на основе системных моделей. Полноценная и корректная система менеджмента сложной организационной структуры должна адекватно отражать происходящие процессы и вырабатывать необходимые управляющие воздействия. Программа стратегических изменений предприятия в зависимости от глубины

и радикальности преобразований может затрагивать все рассматриваемые аспекты деятельности: от целей до информационных и ресурсных потоков. Поэтому управление только по количественным параметрическим показателям при таком масштабе преобразований будет неэффективным, необходима оценка стратегических структурных, функциональных изменений, осуществляемых с целью соответствия заданным целевым или эталонным состояниям.

Согласно общепринятым подходам к реализации стратегических преобразований ключевыми опорными пунктами являются изменения в организационной структуре, организационных системах и культуре [12]. Следовательно, инициативы сбалансированной системы показателей целесообразно рассматривать в контексте анализа отклонений от заданных эталонных состояний структуры и внутренних алгоритмов деятельности компании, которые фактически являются измеримым материальным отражением целей и функций.

В работе [9] представлены процедуры формирования эталонной системных моделей целей и функций, исходя из содержания миссии предприятия и с учётом влияния заинтересованных сторон. Согласно предложенной в работе [11] последовательности формирования системных моделей и с учётом формализованного описания соответствия между их элементами, на основании эталонных системных моделей целей и функций формируются эталонные модели структуры и алгоритмов сложной организационной или технической системы. Сопоставление эталонных и фактических моделей определит системные расхождения в исследуемых аспектах деятельности предприятия (см. рис. 8).



Рис. 8 – Сопоставление моделей эталонного и фактического состояния структуры и алгоритмов предприятия

Данные расхождения формируют совокупность показателей, показывающих текущую позицию структуры, алгоритмов относительно запланированных эталонных (целевых) состояний, и записываемую как разность множеств элементов моделей эталонного фактического состояния:

$$\Delta \mathbf{U} Org_k^g = \mathbf{U} \left[\beta_{F_{un}^g}^{Org_k^g} \left(\alpha_{Zel_i^h}^{Fun_j^h} \left(Zel_{ei}^h \right) \right) \right] / \mathbf{U} Org_f \Rightarrow \min \quad (3)$$

$$\Delta \mathbf{U} Alg_j^h = \mathbf{U} \left[\gamma_{Alg_i^h}^{Org_k^g} \left(\beta_{F_{un}^g}^{Org_k^g} \left(\alpha_{Zel_i^h}^{Fun_j^h} \left(Zel_{ei}^h \right) \right) \right) \right] / \mathbf{U} Alg_f \Rightarrow \min \quad (4)$$

Критерии и принципы оценки расхождений между эталонным и фактическим состояниями можно сформулировать как:

- расхождения в количестве уровней иерархии;
- расхождения в составе уровней иерархии;
- расхождения в подчинённости и связях между элементами.

Для дальнейшего описания и анализа таких расхождений целесообразно применить методы теории графов, что является исследованием, значительным по объёму, и выходит за рамки данной статьи. Выражения (3, 4), фактически, являются формальным описанием набора инициатив, которые необходимо осуществить в аспектах структуры и внутренних процессов, определяют связи и состав элементов организационной структуры и внутренних алгоритмов (процессов), которые необходимо добавить или, наоборот, удалить, для соответствия исследуемого аспекта деятельности предприятия эталонной модели. Таким образом, принципы формирования набора инициатив в рамках концепции BSC состоят в следующем:

1. Формирование модели фактической организационной структуры предприятия.
2. Формирование модели фактических алгоритмов деятельности предприятия.
3. Определение системных расхождений между фактическими и эталонными моделями и формирование на их основе совокупности необходимых изменений в структуре и алгоритмах деятельности предприятия.

Выводы. Комплексный подход к формированию BSC. С использованием предложенных подходов к формированию и управлению содержанием сбалансированной системы показателей формируется состав «дерева показателей», который отражает наиболее значимые количественные показатели состояния предприятия. На рис. 9 показана системная модель измерения деятельности телекоммуникационного предприятия, сформированная на основе предложенных подходов для первых четырёх уровней иерархии деятельно-

сти. Полученная, таким образом, система показателей соответствует целям стратегического процесса, описывает ход выполнения обеспечивающих его функций и связывает их с исполнителями. Отличие от существующих подходов формирования KPI и BSC, использующих цепочку «Цель – критерии – целевые значения –...» состоит в использовании системных моделей функций, структуры, алгоритмов и информационных потоков предприятия, что позволяет конкретизировать и сделать более наглядным и прозрачным процесс выбора показателей.

На основании выражений (3, 4) формируется комплекс инициатив по достижению организационной и алгоритмической структур предприятия, обеспечивающих выполнения заданных целевых значений. Можно полагать, что задача разработки объективной формализованной методики проектирования содержания BSC (критерии, комплекс инициатив) с учётом специфики рассматриваемой отрасли в целом решена.

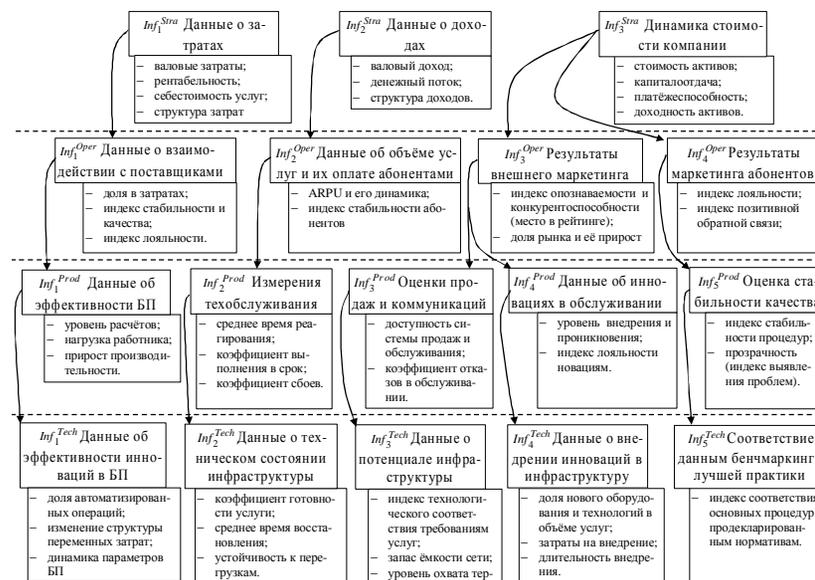


Рис. 9 – Системная модель измерения деятельности телекоммуникационного предприятия (фрагмент)

Однако, выражения (3, 4) записаны в общем виде и не допускают строгого разделения инициатив на уровни иерархии деятельности и на отдельные элементы, что не даёт возможности сопоставить каждому показателю конкретный набор инициатив. Данное обстоятельство ограничивает возможности применения предлагаемого подхода при

формировании больших разветвлённых BSC, для которых требуется чёткая структуризация программы инициатив. Поэтому в дальнейшем предложенный подход целесообразно усовершенствовать в направлении декомпозиции комплекса инициатив на составляющие уровни и элементы. В связи с этим необходимым представляется разработка инструментария сопоставления системных моделей эталонного и фактического состояния аспектов деятельности предприятия.

Список литературы: 1. Золотые страницы: лучшие примеры внедрения сбалансированной системы показателей [текст]: сб. статей / Сост. М. Горский, А. Герцун ; пер. с англ. М. Павловой. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2008. – 416 с. 2. Нортон, Д. П. Сбалансированная система показателей. От стратегии к действию [текст] / Р. С. Каплан, Д. П. Нортон. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2003. – 210 с. 3. Нортон, Д. П. Стратегические карты. Трансформация нематериальных активов в материальные результаты [текст] / Р. С. Каплан, Д. П. Нортон ; пер. с англ. М. Павловой. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2005. – 512 с. 4. Нортон, Д. П. Организация, ориентированная на стратегию. Как в новой бизнес-среде преуспевают организации, применяющие сбалансированную систему показателей [текст] / Р. С. Каплан, Д. П. Нортон ; пер. с англ. М. Павловой. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2004. – 416 с. 5. Хени, Ш. Balanced Scorecard как инструмент стратегического менеджмента качества посредством DIN EN ISO 9001:2000 [электронный ресурс] / Ш. Хени. – Режим доступа: <http://deming.com.ua/index.php?id=60>. 6. Менеджмент в телекоммуникациях [текст] / под ред. Н. П. Резниковой, Е. В. Деминной. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 392 с. 7. Ольве, Н. Оценка эффективности деятельности компании. Практическое руководство по использованию сбалансированной системы показателей [текст] / Нильс Горан Ольве, Магнус Веттер. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2004. – 304 с. 8. Разработка сбалансированной системы показателей. Практическое руководство с примерами [текст]. – 2-е изд. расшир. / под ред. А. С. Герцуна, А. С. Нефедьевой. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2005. – 125 с. 9. Калмыков, А. В. Вопросы системного анализа многоуровневых организационных структур телекоммуникационной отрасли [текст] / А. В. Калмыков, А. А. Рева // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – 2010. – № 2(43). – С. 144–152. 10. Илюшко, В. М. Системное моделирование в управлении проектами [текст]: монография / В. М. Илюшко, М. А. Латкин. – Харьков: Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2010. – 220 с. 11. Илюшко, В. М. Модели и методы информационной технологии проектирования метасистем [рук.]: дис. д-ра техн. наук: 05.13.06 / В. М. Илюшко. – Харьков: ХАИ, 1998. – 451 с. 12. Буджихавон, Дев. К. Реализация стратегии: структура, системы, культура и изменения [текст]: Уч. пос. / Дев. К. Буджихавон ; пер. с англ. – Жуковский: МИМ ЛИНК, 2008. – 116 с.

Надійшла до редколегії 01.11.2010

УДК 519.876.2

Е. П. ГОМОЗОВ, канд. физ.-мат. наук, доц., НТУ «ХПИ»;
А. В. ЯНОВСКИЙ, аспирант НТУ «ХПИ»

ПРИМЕНЕНИЕ МУЛЬТИАГЕНТНОГО ПОДХОДА В УПРАВЛЕНИИ ЦЕПОЧКАМИ ПОСТАВОК

Дана загальна характеристика роботи ланцюга поставок з використанням мультиагентного підходу. Розроблена та реалізована універсальна структура мультиагентної системи для моделювання ланцюгів поставок.

Дана общая характеристика работы цепочки поставок с применением мультиагентного подхода. Разработана и реализована универсальная структура мультиагентной системы для моделирования цепочек поставок.

This article represents general features of working supply chain with uses multi-agent approach. Designed and implemented the universal structure of multi-agent system for simulation of supply chains.

Введение. Работа посвящена актуальным в условиях финансового кризиса проблемам эффективного управления цепями поставок на основе мультиагентных систем. Целью работы было разработать структуру мультиагентной системы для управления цепочками поставок с целью оптимизации ее работы. В соответствии с [1], цепочка поставок рассматривается в виде двух категорий элементов – структурных и элементов управления. Структурные элементы (моделируются как агенты) участвуют в фактическом производстве и транспортировке продукции, а элементы управления участвуют в координации потока продукции. Структурные элементы подразделяются на два основных набора – производство и транспортировку. Элементы управления делятся на управление запасам, управление спросом, управление поставками, управления потоком и управление информацией.

1. Агентная система цепочки поставок. В соответствии с [1], цепочка поставок рассматривается в виде двух категорий элементов – структурных и элементов управления (*Control Elements*). Структурные элементы (моделируются как агенты) участвуют в фактическом производстве и транспортировке продукции, а элементы управления участвуют в координации потока продукции (см. рис. 1).

Структурные элементы подразделяются на два основных набора – производство и транспортировку. Элементы управления делятся на управление запасам (*Inventory Control*), управление спросом (*Demand Control*), управление поставками (*Supply Control*), управления потоком (*Flow Control*) и управление информацией (*Information Control*).

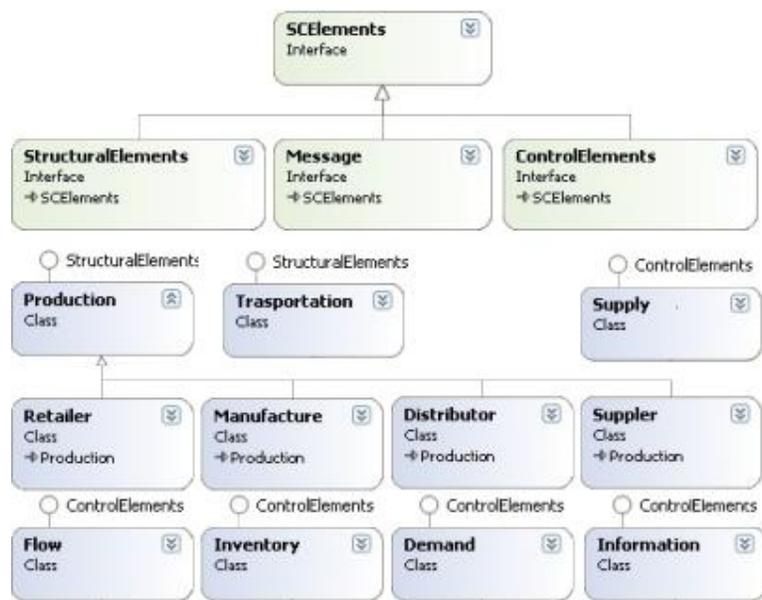


Рис. 1 – Обобщенная структура мультиагентной системы цепочки поставок

1.1. Структурные элементы цепочки поставок. Производственные агенты используют элементы управления запасами, контракты с последующими агентами для управления поставками, управление потоками – для погрузки/разгрузки продукции, прогноз - для распространения прогноза спроса на последующие агенты; также агенты могут использовать элементы управления информацией.

Розничный торговец или ритейлер (*Retailer*). Основной упор здесь делается на сокращение времени цикла для доставки заказа клиенту и минимизация дефицита складов. При получении заказа на изделие, он распознается и определяется, как продукт. Далее он упаковывается и отправляется клиенту, если он имеется в наличии, иначе заказ добавляется в очередь в соответствии с его приоритетом (если приоритеты на все заказы одинаковы, то очередь определяется как FIFO).

Центр распределения или оптовая продажа (*Distribution Center*). Центр распределения участвует в получении продукции с завода, хранении и/или отправке ее для розничной торговли. Основным направлением здесь является сокращение хранимых запасов и увеличение пропускной способности.

Производственное предприятие (*Manufacturing*) выступает агентом, где собирается и изготавливается продукция. Чаще всего, заказы приходят от дистрибьютора, но заказы также могут исходить и от розничных центров (при

наличии терминалов (перевалочных станций) или отсутствия дистрибьюторов в цепочке поставок). Основным направлением здесь есть оптимальная закупка компонентов и эффективное управление запасами и производственным процессом. Каждый продукт имеет соответствующий перечень материалов (*Bill Of Materials – BOM*). Производство может быть основано на «Pull» или «Push» механизме. При Pull системе, продукт производится только тогда, когда приходит заказ; в Push системе продукты производятся на основе прогноза спроса.

Внешний поставщик (*External Suppliers*) поставляет сырье производителю. Они ориентированы на быстрый срок выполнения и запас. Их деятельность характеризуется поставщиком контрактов, которые определяют сроки, гибкость договоренности, распределения затрат и обмен информацией с клиентами.

Транспортный агент (*Transportation Agent*). Каждое транспортное средство имеет характеристики с точки зрения вместимости и относительной скорости. Транспортный агент использует элементы управления потоком данных, для осуществления погрузки и разгрузки товаров, а также для определения маршрута.

1.2. Управляющие элементы цепочки поставок. Элементы управления содействуют производству и транспортировке продуктов в цепочке поставок. Выбор соответствующих элементов управления является целью задач, связанных с договором на цепочку поставок и координацией поставок.

Управление запасами. Элементы управления запасами является неотъемлемой частью любой цепочки поставок. Они контролируют поток материалов в рамках цепочки поставок и в основном бывают двух типов - централизованного и децентрализованного управления. Централизованное управление (*Centralized Control*): важным требованием для реализации централизованной политики управления запасами является возможность доступа к информации о запасах на уровне других агентов в цепи поставок. Децентрализованное управление (*Decentralized Control*): при децентрализованной политике управление происходит в определенных элементах цепочки поставок.

Управление требованиями. Система требований в управлении цепочкой поставок включает непосредственно требования и прогноз. Заказы содержат информацию относительно типов продуктов, которые заказываются; числа продуктов, которые требуются; места назначения, куда продукт должен быть отправлен, а также относительно даты истечения срока заказа. Элементы управления требованиями: Маркетинг: Одним из важных аспектов управления продукцией это то, как хорошо продукт продается потребителю. Есть многочисленные способы увеличить спрос на конкретную продукцию, такие как реклама, скидки, сезонные продажи и т.д. Маркетинг обеспечивает механизм, который вызывает дополнительные требования к продукции, а так

же позволяет нам использовать маркетинговые стратегии (применимые в цепочке поставок). Прогноз (*Forecast Element*). В «Push» прогнозирование играет ключевую роль, так как решения о производстве принимаются на основе прогноза спроса. А большие неточности прогноза могут привести к еще большему несоответствию между продукцией востребованной и произведенной, что в результате может привести к увеличению затрат на поддержание запасов. В системе «Pull» продукты производятся на заказ, но, тем не менее, точность прогноза играет важную роль в закупке материалов и планировании пропускной способности.

Управление поставками. Элемент управления поставками диктует сроки и условия доставки сырья. Контрактные соглашения являются единственной формой управления поставкой. Контракты содержат информацию о стоимости материалов, срока действия контракта, объем который будет приобретен по контракту, объем который может быть приобретен сверх контракта, штраф за срыв сроков, степень свободы покупателя по изменению спроса (гибкость поставщика), а также возможности информационного управления.

Управление потоками. Элемент управления потоками координирует потоки между производством и транспортировкой и бывает двух типов: Загрузка (*Loading Element*) – каким образом транспортируемые элементы загружаются и выгружаются. Управление различается в зависимости от типа производственных элементов, которые загружаются и выгружаются. Маршрутизация (*Routing Element*) – последовательность, в которой продукция доставляется транспортными средствами к месту назначения. Маршрут зависит от удаленности пункта назначения, к которому должна быть доставлена продукция. Маршрутизация может быть централизованной и децентрализованной в зависимости от того, как много информации доступно от других транспортных элементов.

Управление информацией. Элементы управления информацией имеют большое значение для координации деятельности в рамках цепочки поставок. Бывают прямого доступа (*Directly Accessible*) и периодическими (*Periodic*). Прямой доступ передачи информации относится к мгновенному распространению информации. Например, информация об уровне запасов или поломке агрегатов. Периодическая информация может быть использована элементами транспортировки и производства для изменения бизнес стратегии, повышения цен, введение новых услуг или функций продукции и т.д. Периодическая информация направляется всем звеньям цепочки поставок в виде сообщений, а не в реальном времени.

2. Архитектура агентов. Обычно применяют или централизованную, или децентрализованную модель мультиагентной системы [2,3]. Нами предлагается использовать гибридную модель мультиагентной системы. Тогда каждый агент может работать в автономном режиме, делая систему более устойчивой и гибкой (см. рис. 2). Также следует добавить блок

синхронизации с сервером, что позволит решать такие задачи как обновление агента, создание резервной копии, сбор статистики и т.п.

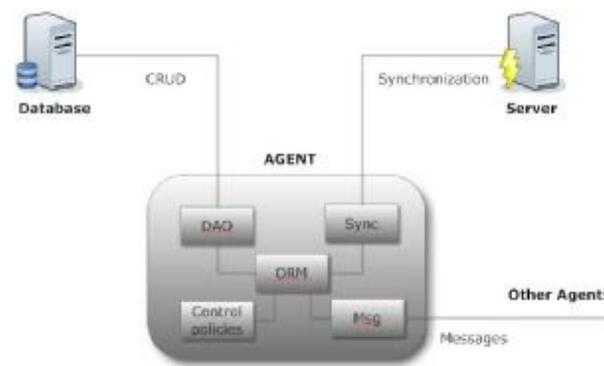


Рис. 2 – Общая модель работы агента

В описании агента предоставляется возможность указания как статических, так и динамических характеристик различных звеньев цепочки поставок. Каждый агент специализируется в соответствии с его ролью в цепочке поставок. Агент, в любой момент времени, определяется следующим набором характеристик:

S_i – набор атрибутов, которые характеризуют состояние агента в каждый момент времени. Атрибуты состояния включают базовые сведения о состоянии работы агента (такие как текущий запас продукции; различные расходы, связанные с производством; финансовое положение). Динамические параметры меняются с течением времени, либо в как результате внутренних событий (например, когда сырье переходит из стадии “в процессе” в стадию готовой продукции) или в результате взаимодействия с другими агентами (например, получение заказа от клиента, отгрузка клиенту, оплата клиентом заказа).

D_i – знания i -го агента о других агентах. Так как каждый агент определен локально, то он, как правило, имеет лишь неполное представление о состоянии других агентов. Это включает информацию о прошлой деятельности агента. Эти знания обновляются динамически в процессе моделирования. Например, когда известно, что надежный поставщик часто не выполняет обязательства по срокам, то фактор его надежности обновляется соответственно.

IC_i – множество ограничений по взаимодействию, которое определяет отношения агента с другими агентами в цепочке поставок. В описании каждого агента обозначено множество агентов, с которыми он может

взаимодействовать, и для каждого показывает, во-первых, свое отношение к этому агенту, и, во-вторых, характер соглашений, которые регулируют взаимодействие (гарантийные обязательства, срок соглашения). Вся информация о других агентах, которая доступна без пересылки сообщений контролируется в режиме реального времени политикой управления информацией.

Q_i – множество исходящих сообщений от i -го агента.

c_i – входящее сообщение, которое обрабатывается i -м агентом.

f_i – множество управляющих элементов доступных i -му агенту.

Управляющий элемент вызывается, когда принимается решение при обработке сообщения. Например, в целях определения следующего назначения на транспортировку, вызывается элемент управления маршрутами.

$M_i(c_i)$ – определяет семантику обработки сообщений i -м агентом.

Процедура обработки сообщений может использовать один или несколько элементов управления. Например, когда обрабатывается сообщение о запросе на товар, вызывается политика управления запасами. С другой стороны, элемент управления информацией может быть использован для получения информации о пропускной способности агента поставщика до вызова политики управления запасами.

$P(D_i, S_i, I_i, Q_i)$ – селекторная функция, которая выбирает и упорядочивает множество входящих сообщений на основе знаний, текущего состояния и приоритетов i -го агента. Например, когда производитель имеет заказы от двух клиентских агентов, эта функция должна определить последовательность исходя из приоритетов каждого клиентского агента. Упорядоченность играет особенно важную роль, когда производитель не имеет достаточных запасов на удовлетворение всех заказов.

Первое сообщение в последовательности c_i анализируется по типу – материальное, информационное или финансовое. Каждый тип сообщений имеет свой обработчик сообщений $M_i(c_i)$, который определяет последовательность операций выполнения, и может включать использование одной или нескольких политик управления. Процедуры обработки сообщений различны для каждого типа агентов. Элементы управления вызываются обработчиком сообщений $M_i(c_i)$ в точках принятия решений (например, решение о переупорядочивании или решение о маршрутизации). Процедура обработки сообщений может обновить внутреннее состояние агента и область знаний, а так же создать одно или несколько исходящих сообщений. Исходящие сообщения имеют адрес назначения, а также время активации агентом (которое может отличаться от текущего времени, учитывая

задержки). Этот процесс продолжается пока у агента не будет активных входящих сообщений на данный момент времени.

2.1. Протоколы взаимодействия. Классы сообщений определяют типы взаимодействия в сети. Все классы сообщений используют общие атрибуты, включая время моделирования, время активации, агента отправителя и агента получателя. В работе рассматривается 3 категории сообщений, каждая из которых связана с моделированием конкретного типа потоков в цепочке поставок. *Материальные потоки* – сообщения в этой категории связаны с доставкой товаров от одного агента к другому. *Информационные потоки* – обмен информацией между агентами в цепочке поставок. Он включает в себя сообщения запроса на товары (поток спроса), информацию об объеме, информация о прогнозе спроса, а так же информация предложения. Другие сообщения, в этой категории, включают аннулирование заказа и изменение заказа. *Финансовые потоки* – этот класс сообщений относится к движению денежного потока по цепочке поставок.

Выводы. На основании теоретических исследований была разработана и реализована универсальная структура мультиагентной системы для моделирования цепочек поставок, которая может быть использована с целью управления и оптимизации работы системы. В дальнейшем планируется визуализация работы мультиагентной системы, разработка политик управления и механизмов оптимизации.

Список литературы: 1. Swaminathan J. M. Modeling Supply Chain Dynamics: A Multiagent Approach / J. M. Swaminathan, S. F. Smith, N. M. Sadeh // Decision Sciences. – Volume 29, Number 3. – 1998. – 26 p. 2. Jose M. Vidal Fundamentals of Multiagent Systems, <http://www.scribd.com/doc/2094479/Fundamentals-of-Multiagent-Systems>, 2009. – 155 p. 3. Жмурко С. А. Основные принципы и модели построения многоагентных систем / С. А. Жмурко // Перспективные информационные технологии и интеллектуальные системы. – Таганрог, 2008. – №2 (34). – С. 4–14.

Надійшла до редколегії 01.11.10

УДК 658.5.011

С. В. ШЕВЧЕНКО, канд. техн. наук, доц., каф. АСУ НТУ «ХПИ»,
А. М. ПИВНЕНКО, студент НТУ «ХПИ»

ФОРМИРОВАНИЕ ПЛАНОВ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Робота присвячена дослідженню процесів формування планів виробництва і постачань електроенергії в енергосистемі на наступний період часу в умовах балансуочного ринку.

Затверджена методика визначення обсягів виробництва електроенергії для задоволення попиту на електроенергію в ринкових умовах не враховує багато факторів, що відображають динаміку процесів виробництва і постачання електроенергії, що призводить до нерационального використання ресурсів та значних збитків. В роботі пропонується підхід для визначення планованих обсягів виробництва і постачання електроенергії на основі даних про попит і динаміку процесів виробництва і її постачання з використанням математичного моделювання.

Работа посвящена исследованию процессов формирования планов производства и поставок электроэнергии в энергосистеме на последующий период времени в условиях балансирующего рынка. Утвержденная методика определения объемов производства электроэнергии для удовлетворения спроса на электроэнергию в рыночных условиях не учитывает многие факторы, отражающие динамику процессов производства и поставок электроэнергии, что приводит к нерациональному использованию ресурсов и значительным убыткам. В работе предлагается подход для определения планируемых объемов производства и поставок электроэнергии на основе данных о спросе и динамике процессов производства и поставок с использованием математического моделирования.

Work was to study the formation of production plans and supply of electricity in a power beyond that period of time in the balancing market. The approved method of determining the amount of electricity to meet the electricity demand in the market conditions do not take into account many factors that reflect the dynamics of production and supply of electricity, which leads to a misallocation of resources and significant financial losses. An approach to determine the planned production and supply of electricity on the basis of data on supply and demand dynamics of the processes of production and supply with the use of mathematical modeling.

Введение. Для управления производством и поставками электроэнергии Национальной комиссией регулирования электроэнергетики (НКРЭ) Украины в соответствии с практикой Евросоюза и России принята концепция оптового рынка электроэнергии и его участников [1]. По этой концепции в состав системы управления оптового рынка электроэнергии вводится действующее лицо – Распорядитель системы расчетов, выполняющий прием ценовых заявок на генерацию электроэнергии от производителей и выполняющий формирование текущей цены отпускаемой электроэнергии поставщикам и потребителям с учетом прогнозируемого уровня спроса и состояния электроэнергосистемы. Для этого Распорядитель системы расчетов формирует график нагрузки для энергоблоков производителей на каждый расчетный период следующих суток на основании данных спроса, текущего и планируемого состояния. Решение этих задач требует учета ряда критериев, факторов, условий и особенностей, обеспечивающих эффективность функционирования системы «производитель – поставщик – потребитель» электроэнергии, включающих ее открытость и взаимодействие с другими аналогичными системами. Одной из основных особенностей и проблем использования электроэнергии как продукта производства являются существенные ограничения на возможности организации ее хранения и накопления, которые оказывают определяющее значение на эффективность функционирования электроэнергетики. В связи с этим основной задачей диспетчерского управления в электроэнергетической системе является поддержка баланса мощности производства и потребления. Для обеспечения

решения этой задачи применяются автоматизированные системы диспетчерского управления различных уровней иерархии в сочетании с автоматизированными системами учета производства, поставок и потребления объемов электроэнергии и механизмы т.н. балансирующего рынка, предусматривающие использование процедур организации оперативной реализации имеющихся избытков электроэнергии или определения ее необходимой дополнительной генерации для удовлетворения возникающих потребностей с заключением двухсторонних договоров между производителями и потребителями электроэнергии.

Постановка задачи. В соответствии с решениями о переходе к рыночной экономике электроэнергетика реализует производство электроэнергии, используя рыночные механизмы [2]. Содержание так называемого балансирующего рынка для согласования объемов производства и потребления электроэнергии предполагает на основе собранных заявок от потребителя и производителя электроэнергии формирование плана производства электроэнергии на следующие сутки и распределения его между генерирующими и поставляющими компаниями.

Для решения этой задачи должна быть собрана информация о состоянии и возможностях маневрирования объемами производства всех генерирующих и поставляющих компаний. Учитывая различные динамические возможности указанных компаний, а также их состояние в ходе проведения плановых и не плановых ремонтов, данная задача должна рассматриваться в динамике изменений всех перечисленных факторов и показателей. Решения в такой постановке позволят формировать планы производства и поставок электроэнергии на следующий промежуток времени, которые максимально адекватны реальным обстоятельствам и обладают требуемой эффективностью. Основным критерием при этом следует считать минимальные затраты на обеспечение сбалансированного спроса экономически рентабельным производством и поставками электроэнергии [3].

Предлагаемые процедуры в составе принятых методик не учитывают динамические особенности источников и производителей потребляемой электроэнергии, использование которых может стать важным фактором для повышения эффективности функционирования всей энергосистемы

Будем считать, что известно множество предприятий J , субъектов процессов производства и поставок электроэнергии, обеспечивающих требуемые объемы потребления. Состояние каждого субъекта оценивается в фиксированные моменты времени $t \in T$ планируемого периода (например, следующих суток) и представлено множеством $K_j, j \in J$.

Для каждого субъекта $j \in J$ и состояния $k \in K_j$ в момент времени $t \in T$ известно: $B_{kj}^{\min}, B_{kj}^{\max}$ – минимальная и максимальная мощность генерации или

поставки электроэнергии; C_{kj}^t – цена генерации или поставки электроэнергии; r_{kj} – удельный расход топлива; R_j – запасы топлива j -го предприятия.

Будем считать, что момент времени $t_0 \in T$ соответствует начальному состоянию энергосистемы.

Требуется определить объёмы производства и поставок электроэнергии $z_{kj}^t \geq 0$ для каждого j -го предприятия, $j \in J$, находящемся в k -м состоянии, $k \in K_j$ в момент времени t , $t \in T$, и необходимые для этого изменения состояния.

Очевидно, в качестве критерия оптимальности принимаемых решений по определению объемов производства и поставок электроэнергии следует выбрать минимум связанных с ними суммарных затрат за весь рассматриваемый период времени T . Указанные затраты должны включать как затраты, непосредственно связанные с объемами генерации, так и затраты, вызванные необходимостью перехода из одного состояния – в другое состояние.

Введем в рассмотрение следующие булевы переменные

$$y_{kj}^t = \begin{cases} 1, & \text{если } j\text{-е предприятие находится в } k\text{-м состоянии} \\ & \text{в момент времени } t \in T, k \in K_j, j \in J, \\ 0 & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (1)$$

отражающие состояния предприятий энергосистемы.

Тогда $Y_j^t = \{y_{kj}^t\}$ – вектор, компоненты которого определяют текущее состояние j -го предприятия в момент времени $t \in T$, $j \in J$. Очевидно, каждое предприятие в любой момент времени может находиться в одном состоянии. Поэтому

$$\sum_{k \in K_j} y_{kj}^t = 1, t \in T, j \in J. \quad (2)$$

Рассмотрим формирование ограничений, которым должны удовлетворять искомые переменные, определяющие искомые объёмы электроэнергии. Прежде всего – это ограничения по объемам производства и поставок электроэнергии

$$\sum_j \sum_{k \in K_j} z_{kj}^t \geq \Omega_t, t \in T, \quad (3)$$

где Ω_t – требуемый объём потребления электроэнергии на момент времени $t \in T$.

Объём производства и поставок электроэнергии z_{kj}^t j -го субъекта зависит от текущего режима функционирования, который определяется его состоянием $k \in K_j$, $j \in J$. В таком случае имеем следующее неравенство

$$B_{kj}^{\min} \leq z_{kj}^t \leq B_{kj}^{\max}. \quad (4)$$

С учетом переменных состояния $\{y_{kj}^t\}$ данное неравенство примет вид:

$$y_{kj}^t \cdot B_{kj}^{\min} \leq z_{kj}^t \leq y_{kj}^t \cdot B_{kj}^{\max}. \quad (5)$$

Рассмотрим ограничения, обеспечивающих связь периодов времени.

Пусть $Y_j^0 = \{y_{kj}^0\}$ – вектор, компоненты которого, определяют начальное состояние энергосистемы для планируемого периода в соответствии с (1). Тогда

$$\sum_{k \in K_j(Y_j^{t-1})} y_{kj}^t = y_{aj}^{t-1}, j \in J, t \geq 1, t \in T. \quad (6)$$

Можно видеть, что система ограничений в виде (6) будет содержать ряд тривиальных ограничений, описывающих связь с начальным состоянием для $t=0$ переменных состояния с нулевым значением верхнего индекса. Подобные ограничения могут быть исключены из рассмотрения при практическом применении данных построений.

Рассмотрим связь состояний системы с учетом времени переходов. Введем в рассмотрение $t_{kj}(Y_j^{t-1})$ – время перехода из предыдущего состояния в k -е состояние, $k \in K_j(Y_j^{t-1}) \subset K_j$, $j \in J, t \in T$; Δ_j^t – интервал времени между контролируемыми состояниями j -го предприятия между $(t-1)$ -м и t -м моментами времени, $j \in J, t \geq 1, t \in T$.

- Для перехода в соответствующее состояние необходимо выполнение условия, в соответствии с которым требуемое время перехода не должно превышать соответствующего интервала времени между состояниями в $(t-1)$ -й и t -й моменты времени. Имеем:

$$\sum_{k \in K_j(Y_j^{t-1})} t_{kj}(Y_j^{t-1}) \cdot y_{kj}^t \leq \Delta_j^t, j \in J, t \geq 1, t \in T. \quad (7)$$

Ограничения по запасам топлива для каждого предприятия можно представить следующим образом

$$\sum_{t \in T} \sum_{k \in K_j} r_{kj} \cdot z_{kj}^t \leq R_j, j \in J. \quad (8)$$

Таким образом, математическая модель оптимизации производства и поставок электроэнергии может быть представлена в следующем виде.

Найти

$$S = \sum_t \sum_j \left(\sum_{k \in K_j} c_{kj}^t \cdot z_{kj}^t + \sum_{k \in K_j} a_{kj}^t \cdot y_{kj}^t \right) \rightarrow \min \quad (9)$$

при ограничениях:

$$\sum_j \sum_{k \in K_j} z_{kj}^t \geq \Omega_t, \quad t \in T, \quad (10)$$

$$y_{kj}^t \cdot B_{kj}^{\min} \leq z_{kj}^t \leq y_{kj}^t \cdot B_{kj}^{\max}, \quad (11)$$

$$\sum_{k \in K_j(Y_j^{t-1})} y_{kj}^t = y_{aj}^{t-1}, \quad j \in J, t \geq 1, t \in T, \quad (12)$$

$$\sum_{k \in K_j(Y_j^{t-1})} t_{kj}(Y_j^{t-1}) \cdot y_{kj}^t \leq \Delta_j^t, \quad j \in J, t \geq 1, t \in T, \quad (13)$$

$$\sum_{i \in T} \sum_{k \in K_j} r_{kj} \cdot z_{kj}^t \leq R_j, \quad j \in J, \quad (14)$$

$$\sum_{k \in K_j} y_{kj}^t = 1, \quad t \in T, j \in J, \quad (15)$$

$$y_{kj}^t \in \{0, 1\}, z_{kj}^t \geq 0, \quad k \in K_j, j \in J, t \in T. \quad (16)$$

Здесь $Y_j^0 = \{y_{kj}^0\} = \{y_{aj}^{t-1}\}$ – начальное состояние j -го предприятия при $t=0, j \in J, a_{kj}^t$ – стоимость перехода в k -е состояние из предыдущего состояния для j -го предприятия в момент времени $t, k \in K_j, j \in J, t \in T$.

Задача (9) – (16) относится к классу задач частично-целочисленного программирования и для ее решения могут применяться соответствующие методы и алгоритмы, реализованные в пакетах решения оптимизационных задач с булевыми переменными.

Выводы. Современное состояние производства, распределения, поставок и потребления электроэнергии в условиях перехода к рыночным отношениям требует формирования новых механизмов балансирования спроса и предложений с позиций эффективности составляющих бизнес-процессов всех уровней. Проведенный анализ содержания и взаимодействия рассматриваемых процессов в электроэнергетике позволил выделить критерий и основные ограничения задачи планирования производства,

поставок и потребления электроэнергии в рыночных условиях. Результаты решения формализованного представления данной оптимизационной задачи могут быть использованы для формирования графика нагрузки энергоблоков генерирующих компаний с учетом уровня поставок и потребления электроэнергии в рыночных условиях при составлении долгосрочных и краткосрочных контрактов, а также для поддержки функционирования балансирующего рынка электроэнергии в составе соответствующих функциональных подсистем.

Список литературы: 1. Постанова №1789 Про схвалення Концепції функціонування та розвитку оптового ринку електричної енергії України. – К.: Каб. Мін. України, 2002. – 53 с. – (Концепція функціонування та розвитку оптового ринку електричної енергії України). 2. Програма економічних реформ України на 2010–2014 гг. / Комитет по економічним реформам при Президенті України. – Офіц. изд. – К.: 2010 г. – 99 с. 3. Шевченко С. В. Моделирование процессов управления распределением производства и поставками электроэнергии в условиях рынка: работы конф. "Информационные технологии в науке, социологии, экономике и бизнесе", (Гурзуф, 1–10 окт. 2010 г.), / С. В. Шевченко. – Х.: НТУ "ХПИ", 2010. – 2 с.

Надійшла до редколегії 28.10.2010

ЗМІСТ

<i>Годлевський М. Д., Абабілов О. О.</i> Розробка та налаштування паралельних генетичних алгоритмів для розв'язання задачі створення розкладу занять вузу на основі Grid-системи.....	3
<i>Марченко Н. А., Литовских Ю. А.</i> Использование вейвлет-преобразования для очистки сигналов электрокардиограмм.....	8
<i>Орловський Д. Л., Гончаров К. Д.</i> Использование сбалансированной системы показателей при ситуационном анализе деятельности предприятия.....	13
<i>Орловський Д. Л., Берека О. Д., Рубін Е. Ю.</i> Комплексна оцінка працівників підприємства із застосуванням методу PATTRN.....	20
<i>Тоница О. В.</i> Стохастическое моделирование физико-механических полей.....	26
<i>Гомозов Є. П., Сорокоумов І. О., Яновський О. В.</i> Моделювання оцінки вартості акцій.....	34
<i>Толчинский Ю. А., Ведь Е. В.</i> Модель химической кинетики поверхностной каталитической реакции.....	38
<i>Тоница О. В., Єременко І. В.</i> Комп'ютерне моделювання систем аналізу безпеки технологічних об'єктів.....	45
<i>Успенский В. Б., Асютин А. Д.</i> Настройка фильтра Калмана в задаче комплексирования информации в интегрированной навигационной системе.....	51

<i>Успенский В. Б., Гудзенко А. В.</i> Алгоритм согласования оценок курса, полученных от трех независимых систем гироскопов	58
<i>Голоскоков А. Е., Рудницкий А. В.</i> Применение прикладного пакета COMSOL Multiphysics для решения дифференциального уравнений параболического типа.....	65
<i>Кононенко И. В., Протасов И. В., Мироненко В. А.</i> Оптимизация содержания проекта по планированию создания производства продукции с точки зрения времени и стоимости его выполнения	74
<i>Данилов А. Д.</i> К вопросу о систематизации знаний в области социальных сетей.....	84
<i>Голоскоков А. Е., Савельев И. Ю.</i> Процедура оценки эффективности системы электронного документооборота.....	91
<i>Сергеев Г. Г.</i> Формализация процесса рефакторинга на основе символической записи структуры классов.....	100
<i>Колбасин В. А., Желудкова Е. А.</i> Метод оценки качества оператора тональной компрессии	105
<i>Земляной А. А., Ткачук Н. В.</i> Комплексная методика прототипирования компонентных программных систем на основе технологий обеспечения качества	110
<i>Ткачук Н. В., Назорный К. А., Мартинкус И. О.</i> Методика оценки динамической сложности требований в процессах сопровождения унаследованных программных систем	116
<i>Кузиков Б. О.</i> Використання семантичних мереж і покриття змісту з тестами для формальної перевірки електронних навчальних матеріалів.....	126
<i>Хайрова Н. Ф., Тарловский В. А.</i> Использование семантико-ориентированного лингвистического процессора для добывания новых знаний из потока документов корпоративной информационной системы ...	132
<i>Голоскоков А. Е., Бабак А. Ю.</i> Процедура оценки риска банкротства предприятий	138
<i>Куценко А. С., Курко В. А., Лахно С. В.</i> Линейно-квадратичная задача стабилизации в условиях неопределенности критерия качества	146
<i>Субботович В. П., Темченко С. А.</i> О методе проектирования наружной границы выходного диффузора газовой турбины	155
<i>Кононенко И. В., Бабич И. И.</i> Модель оптимизации планов развития отрасли промышленности Украины	161
<i>Никитчук С. С., Рубин Э. Е.</i> Холдинг как объект управления, его организационная структура и система управления	171
<i>Калмыков А. В.</i> Управление содержанием сбалансированной системы показателей телекоммуникационного предприятия.....	176
<i>Гомозов Е. П., Яновский А. В.</i> Применение мультиагентного подхода в управлении цепочками поставок.....	190
<i>Шевченко С. В., Пивненко А. М.</i> Формирование планов производства электроэнергии с учетом динамики изменения состояния энергосистемы ..	196

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ «ХПІ»**

Збірник наукових праць

Тематичний випуск
«Системний аналіз, управління
та інформаційні технології»

№ 67

Наукові редактори М. Д. Годлевський, О. С. Куценко
Технічний редактор М. І. Безменов

Відповідальний за випуск І. Б. Обухова

Обл.-вид № 221–10.

Підп. до друку 28.12.10 р. Формат 60×84 1/16. Папір офісний.
Друк офсетний. Гарнітура Таймс. Умов. друк. арк. 8,5. Облік.-вид. арк. 10,1.
Наклад 300 прим. Перший завод 1–100. Зам. № 131. Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХПІ».

Свідоцтво державну реєстрацію ДК № № 116 від 10.07.2000 р.
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

ФОП Стеценко І. І., 61019, Харків, пр. Ілліча, 103а, кв. 21,
тел. 758–17–35