

ВІСНИК

НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ «ХПІ»

Збірник наукових праць

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

29'2012

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, чл.-кор. НАН Укр.
Є. Є. Александров, 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. Дмитриєнко, д-р техн. наук, проф.;
І. Ф. Домнін, д-р техн. наук, проф.;
В. В. Єпіфанов, 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. Лупіков, 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. Пуляев, 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. Тимофієв, 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 «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск «Системний аналіз, управління та інформаційні технології». – Харків : НТУ «ХПІ». – 2012. – № 29. – 128 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.

Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ «ХПІ».
Протокол № 6 від 25 травня 2012 р.

ISSN 2079-0023

© Національний технічний університет «ХПІ», 2012

А. С. КУЦЕНКО, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»;
С. В. КОВАЛЕНКО, ст. преподаватель, НТУ «ХПИ»

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ МЕРА УСТОЙЧИВОСТИ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО КВАДРАТИЧНОГО ФУНКЦИОНАЛА

Пропонується підхід до кількісної оцінки стійкості лінійних динамічних систем, заснований на множинному інтегральному квадратичному функціоналі, обчисленому на ансамблі перехідних процесів стійкої системи. Як міра стійкості пропонується використовувати час досягнення множинним інтегральним функціоналом заданого значення.

Предлагается подход к количественной оценке устойчивости линейных динамических систем, основанный на множественном интегральном квадратичном функционале, вычисленном на ансамбле переходных процессов устойчивой системы. В качестве меры устойчивости предлагается использовать время достижения множественным интегральным функционалом заданного значения.

An approach to quantifying the stability of linear dynamic systems, based on the multiple integral quadratic functional, computed on an ensemble of transient of stable system is suggested in the article. The time to reach of a multiple integral functional to setpoint is suggested to use as a measure of stability.

Введение. Классическая теория устойчивости динамических систем, сформулированная А.М. Ляпуновым, не в полной мере удовлетворяет практическим требованиям специалистов в области создания систем автоматического управления. Это связано с тем, что, несмотря на выполнение условий устойчивости, синтезированные системы могут не удовлетворять элементарным практическим требованиям к переходным процессам. К последним относятся: время переходного процесса, перерегулирование, колебательность и т.п. В связи с этим, для одномерных систем автоматического управления предложены различные «инженерные» или прямые критерии количественной оценки качества переходных процессов. Вместе с тем прямые критерии качества переходных процессов не могут быть непосредственно использованы в качестве количественной меры устойчивости динамических систем. Это обусловлено тем, что в общем случае, как это предусмотрено теорией устойчивости, начальные отклонения возмущенной системы от положения равновесия могут быть произвольными по величине и направлению и приводить к принципиально различным классам переходных процессов в зависимости от вектора начального отклонения. Так, если среди собственных чисел линейного оператора динамической системы простой структуры, имеются вещественные и комплексно-сопряженные, то пространство состояний R^n можно представить в виде прямой суммы $R^n = R^l \oplus R^{n-l}$, где R^l – инвариантное

подпространство, натянутое на собственные векторы оператора системы, соответствующие вещественным собственным числам, а R^{n-l} – комплексно-сопряженным.

Таким образом, в случае начального отклонения $x_0 \in R^l$, любая фазовая траектория системы $x(t) \in R^l \quad \forall t \in (0, \infty)$ будет иметь чисто экспоненциальную структуру вида:

$$x(t) = \sum_{k=1}^l C_k e^{\lambda_k t} \quad (1)$$

где λ_k – вещественные собственные числа линейного оператора динамической системы, C_k – произвольные постоянные.

Если же $x_0 \in R^{n-l}$, то и $x(t) \in R^{n-l} \quad \forall t \in (0, \infty)$ будет иметь колебательную структуру вида

$$x(t) = \sum_{k=1}^{\left(\frac{n-l}{2}\right)} e^{\alpha_k t} (A_k \sin \beta_k t + B_k \cos \beta_k t), \quad (2)$$

где $\alpha_k \pm i\beta_k$ – комплексно-сопряженные собственные числа, A_k и B_k – произвольные постоянные.

Исходя из разнообразия возможных переходных процессов можно сделать заключение о том, что если вектор x_0 имеет ненулевые проекции на R^l и R^{n-l} , то в зависимости от величины этих проекций в переходном процессе будут превалировать те или иные компоненты (1), (2), обусловленные величинами коэффициентов C_k , A_k , B_k , которые, в свою очередь, однозначным образом определяются из начальных условий x_0 .

Таким образом, для количественной оценки меры устойчивости динамической системы необходимо рассмотреть ансамбль переходных процессов, обусловленный некоторым достаточно представительным множеством начальных отклонений X_0 .

Очевидно, что для какой-либо численной оценки поведения ансамбля переходных процессов в целом необходимо иметь достаточно простой метод оценки каждого локального переходного процесса, входящего в рассматриваемое множество. В этом смысле наиболее удачной следует считать численную оценку возмущенного движения устойчивой линейной системы, на основе интегральных квадратичных функционалов (ИКФ). Этот подход, а также тесно связанная с ним линейно-квадратичная задача

оптимального управления (ЛКЗ) являются одними из фундаментальных в теории управления.

Причиной этому следует считать, прежде всего, математическую и практическую обоснованность постановки ЛКЗ для многомерных систем автоматического управления. Вторым немаловажным обстоятельством является возможность решения ЛКЗ на основе применения достаточно простых численных методов, а в ряде случаев, и в аналитической форме. В то же время имеет место ряд принципиальных проблем, ограничивающих практическое использование ЛКЗ. К разряду этих проблем следует отнести, прежде всего, проблему выбора коэффициентов матриц квадратичных форм ИКФ. Другим ограничительным моментом следует считать отсутствие инженерной трактовки абсолютной величины квадратичного критерия качества в отличие от принятых на практике прямых показателей качества переходных процессов одномерных систем. В традиционной постановке ЛКЗ оптимального управления, указанные выше проблемы очевидным образом взаимосвязаны, поскольку выбор величин коэффициентов ИКФ, известным образом влияет на величину последнего. Если еще учесть и тот факт, что величина ИКФ зависит от вектора начальных отклонений динамической системы от положения равновесия, то вопрос о практической значимости ЛКЗ максимальным образом обостряется.

Целью настоящей работы является обоснование метода получения количественной оценки устойчивости линейной динамической системы на основе интегрального квадратичного критерия качества, имеющего наглядную практическую интерпретацию.

Алгоритм определения ИКФ ансамбля переходных процессов. Рассмотрим зависимость величины интегрального квадратичного критерия качества от времени, прошедшего с начала переходного процесса. Т.е. найдем зависимость

$$J(t) = \int_t^{\infty} x^T(\tau) Q x(\tau) d\tau,$$

где Q – положительная симметрическая матрица квадратичной формы, которую можно интерпретировать как квадрат некоторой нормы вектора состояния $x \in R^n$ линейной стационарной, динамической системы.

На основании вида функции $J(t)$, стремящейся к нулю на бесконечности для устойчивых систем, могут быть построены различные оценки качества ансамбля переходных процессов, подобные прямым критериям качества переходных процессов одномерных систем автоматического управления.

Известно, [1], что функцию $J(t)$ можно вычислить по следующей формуле:

$$J(t) = x^T(t) S x(t), \quad (3)$$

где матрица S является решением матричного уравнения Ляпунова

$$A^T S + SA + Q = 0, \quad (4)$$

а $x(t)$ – решение системы дифференциальных уравнений

$$\dot{x} = Ax, \quad x(0) = x_0,$$

которое может быть представлено в виде

$$x(t) = e^{At} x(0). \quad (5)$$

С учетом соотношения (5) выражение (3) для $J(t)$ может быть записано как

$$J(x_0, t) = x^T(0) e^{A^T t} S e^{At} x(0) = x_0^T P(t) x_0, \quad (6)$$

где обозначение $J(x_0, t)$ – отражает зависимость критерия (3) от вектора начальных отклонений x_0 .

В свою очередь, матрица

$$P(t) = e^{A^T t} S e^{At}$$

является решением линейного матричного дифференциального уравнения

$$\dot{P} = A^T P + PA, \quad P(0) = S. \quad (7)$$

Таким образом, для нахождения функции $J(x_0, t)$ необходимо решить уравнение Ляпунова (4) относительно матрицы S и, приняв ее за начальное условие, решить матричное дифференциальное уравнение (7).

Как было отмечено ранее, вид переходного процесса, а следовательно, и величина ИКФ в значительной мере зависят от начального отклонения системы от положения равновесия. В связи с этим для количественной оценки степени устойчивости будем рассматривать интегральный показатель ансамбля переходных процессов на множестве X_0 допустимых начальных отклонений

$$\bar{J}(t) = \int_{X_0} J(x_0, t) dX_0. \quad (8)$$

Найдем величину (8) для случая, когда X_0 представляет собой единичный шар:

$$X_0 = \{x_0 \in X_0 | x_0^T x_0 \leq 1\}.$$

Тогда выражение (8) с учетом (6) примет вид

$$\bar{J}(t) = \int_{x_0} x_0^T P(t) x_0 dX_0. \quad (9)$$

Из теории квадратичных форм известно, что существует ортогональное преобразование координат

$$x = Ty \quad (10)$$

такое, что квадратичная форма под знаком интеграла в выражении (9) примет диагональный вид

$$y_0^T \text{diag}[\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n] y_0,$$

где $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ – собственные числа матрицы $P(t)$, являющиеся функциями времени.

Поскольку преобразование (10) ортогонально, то единичная сфера X_0 в координатах x отобразится в единичную сферу Y_0 в координатах y . Таким образом, (9) можно записать в виде

$$\bar{J}(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(t) \int_{Y_0} y_{0i}^2 dY_0. \quad (11)$$

Очевидно, что величина интеграла в выражении для $\bar{J}(t)$ (11) не зависит от индекса i . Окончательно

$$\bar{J}(t) = J_0 \sum_{i=1}^n \lambda_i(t) = J_0 \text{tr}P(t),$$

где $J_0 = \int_{Y_0} y_{01}^2 dY_0 = \int_{Y_0} y_{02}^2 dY_0 = \dots = \int_{Y_0} y_{0n}^2 dY_0$ – постоянная, зависящая только от размерности n .

Величину постоянной J_0 легко определить, воспользовавшись формулой Дирихле для вычисления кратных интегралов по гиперсферической области [2]:

$$J_0 = \frac{1}{2^{n+1}} \frac{\pi^{\frac{n}{2}}}{\Gamma\left(2 + \frac{n}{2}\right)}.$$

Таким образом, функцию времени $\bar{J}(t)$ можно рассматривать в качестве некоторого интегрального переходного процесса на множестве всевозможных начальных возмущений, расположенных внутри единичной сферы.

В качестве безразмерной характеристики множественного переходного процесса удобно рассматривать функцию $\sigma(t)$:

$$\sigma(t) = \frac{\bar{J}(t)}{\bar{J}(0)} = \frac{\text{tr}P(t)}{\text{tr}S}.$$

Нетрудно видеть, что $\sigma(t)$ для устойчивой системы представляет собой невозрастающую функцию времени, удовлетворяющую условиям $\sigma(0)=1$, $\lim_{t \rightarrow \infty} \sigma(t)=0$. По отношению к $\sigma(t)$ можно ввести ее количественную характеристику аналогичную времени переходного процесса для одномерных САУ, а именно: время τ за которое величина σ достигает наперед заданной величины ε . Эту величину и будем в дальнейшем ассоциировать с количественной мерой устойчивости.

Численные эксперименты. Предложенный подход к количественной оценке устойчивости на основе ИКФ был апробирован применительно к динамическим системам 2 и 3-го порядков. Основной целью численных экспериментов был анализ поведения функции $\sigma(t)$ в зависимости от матрицы Q весовых коэффициентов ИКФ. При проведении численных экспериментов было выбрано каноническое представление матриц системы и критерия. В этом случае матрицы A и Q имеют вид

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ -a_n & -a_{n-1} & a_{n-2} & \dots & -a_1 \end{pmatrix}, \quad Q = \begin{pmatrix} q_1 & & & & \\ & q_2 & 0 & & \\ & & \ddots & & \\ & & & & q_n \end{pmatrix},$$

где коэффициенты a_1, \dots, a_n удовлетворяют условиям устойчивости Гурвица, а

q_1, q_2, \dots, q_n – условиям нормировки $\sum_{i=1}^n q_i = 1$ и положительной определенности $q_i > 0, \forall i \in \{1, \dots, n\}$.

На рис. 1 приведены графики интегральных переходных процессов $\sigma(t)$ для систем 2-го и 3-го порядков при различных значениях коэффициентов q_k .

А. С. КУЦЕНКО, д-р техн. наук, проф., зав. каф. НТУ «ХПИ»;
М. Л. ЛЮБЧИК, аспирант НТУ «ХПИ»

**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ ИНТЕРВАЛЬНОГО
 ОЦЕНИВАНИЯ ФИНАЛЬНЫХ ВЕРОЯТНОСТЕЙ СОСТОЯНИЙ
 НЕОПРЕДЕЛЕННЫХ ЦЕПЕЙ МАРКОВА**

Розглядається задача побудови інтервальних оцінок фінальних розподілів ймовірностей станів невизначених ланцюгів Маркова. Пропонується обчислювальний алгоритм, заснований на використанні регуляризованого методу множників Лагранжу.

Рассматривается задача построения интервальных оценок финальных распределений вероятностей состояний неопределенных цепей Маркова. Предлагается вычислительный алгоритм, основанный на применении регуляризованного метода множителей Лагранжа.

The problem of interval estimations design for uncertain Markov chains state probabilities final distribution is considered. The computational algorithm based on regularized Lagrange multipliers method is proposed.

Введение. Марковские цепи находят широкое применение в задачах математического моделирования технических и социальных систем, в частности, моделирования процессов страхования. Исследование марковской модели включает в себя в качестве одной из основных составляющих вычисление финальных векторов вероятностей состояний. Указанная задача значительно усложняется в том случае, когда переходная матрица марковской цепи в точности неизвестна, и задана лишь область возможных значений ее элементов. Для анализа таких цепей Маркова, называемых неопределенными, в последнее время широко применяется математический аппарат интервального анализа [1,2]. Сложность решения задачи интервального оценивания финального вектора связана с наличием стохастических ограничений на переменные. В настоящей работе предлагается новый подход к численному решению задачи построения интервальных оценок финальных распределений вероятностей состояний неопределенных цепей Маркова на основе регуляризованного метода множителей Лагранжа.

Постановка задачи интервального оценивания финальных вероятностей. Рассмотрим однородную цепь Маркова с множеством состояний $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_N\}$ и матрицей вероятностей переходов $\Pi = \|\pi_{ij}\|$,

$$\pi_{ij} = \mathbf{P}\{x(n+1) = \omega_j | x(n) = \omega_i\},$$

$$\sum_{j=1}^N \pi_{ij} = 1, \quad i = \overline{1, N}, \quad \pi_{ij} \geq 0, \quad i, j = \overline{1, N}, \quad (1)$$

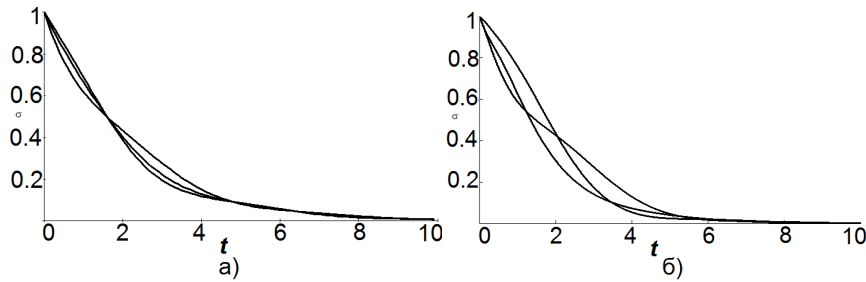


Рис. 1 – Интегральные переходные процессы для систем а) 2–го б) 3–го порядков при различных весовых коэффициентах

В таблице приведены значения времени интегральных переходных процессов, соответствующие $\varepsilon = 0,01$.

Значения времени интегральных переходных процессов

Порядок системы n	Весовые коэффициенты			Время переходного процесса τ
	q_1	q_2	q_3	
2	0.1	0.9	-	9.2
2	0.5	0.5	-	9.1
2	0.9	0.1	-	8.9
3	0.1	0.1	0.8	7.06
3	0.8	0.1	0.1	7.51
3	0.1	0.8	0.1	7.36

Обсуждение результатов. Как видно из результатов численных экспериментов, иллюстрируемых рисунком и таблицей, можно сделать предварительное заключение о том, что интегральные переходные процессы в малой степени зависят от выбора коэффициентов ИКФ. Поскольку время переходного процесса τ незначительно изменяется при различных матрицах ИКФ, то эта величина может быть принята в качестве количественной меры устойчивости.

Список литературы: 1. Андреев Ю. Н. Управление конечномерными линейными объектами / Ю. Н. Андреев – М. : Наука, 1976. – 424 с. 2. Фихтенгольц Г. М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. Том 3 / Г. М. Фихтенгольц – М. : ОГИЗ – Гостехиздат, 1949. – 783 с.

Надійшла до редколегії 05.02.2012

где $x(n) \in \Omega$ – состояние цепи Маркова в дискретный момент времени n .

Будем называть цепь Маркова (1) *неопределенной*, если точное значение элементов матрицы переходов $\Pi = \|\pi_{ij}\|$ неизвестно, а задано лишь множество их возможных значений (множество неопределенности переходной матрицы)

$$\Pi \in \mathbf{U}_{\Pi} = \{\pi_{ij} \mid 0 < \pi_{ij}^- \leq \pi_{ij} \leq \pi_{ij}^+ < 1, \quad i, j = \overline{1, N}\}. \quad (2)$$

Пусть все элементы множества неопределенности (2) являются стохастическими матрицами (1), удовлетворяющими условию эргодичности. Тогда для каждой матрицы переходов $\Pi \in \mathbf{U}_{\Pi}$ существует финальный вектор стационарного распределения вероятностей состояний $p = (p_1, p_2, \dots, p_N)^T$,

$$p_i = \lim_{n \rightarrow \infty} \mathbf{P}\{x(n) = \omega_i\}, \quad i = \overline{1, N}, \quad \sum_{i=1}^N p_i = 1, \quad p_i \geq 0, \quad i = \overline{1, N}, \quad (3)$$

удовлетворяющий известным условиям

$$p^T(\Pi - I_N) = e^N, \quad p^T e^N = 1, \quad p \geq 0, \quad (4)$$

где I_N – единичная $(N \times N)$ матрица, $e^N = (1, 1, \dots, 1)^T$.

Примем в качестве *интервальной оценки* финального вектора цепи Маркова параллелепипед $\mathbf{I}_p = \{p \mid 0 < p_i^- \leq p_i \leq p_i^+ < 1, \quad i = \overline{1, N}\}$, параметры которого $\{(p_i^-, p_i^+)\}$, соответствующие множеству неопределенности переходной матрицы \mathbf{U}_{Π} (2), определяются решениями следующего набора $2N$ задач математического программирования:

$$p_i^+ = \max_p p^T e^i, \quad p_i^- = \min_p p^T e^i, \quad e^i = \underbrace{(0, \dots, 0, 1, 0, \dots, 0)}_i^T, \quad i = \overline{1, N}, \quad (5)$$

$$p^T(\Pi - I_N) = e^N, \quad p^T e^N = 1, \quad p \geq 0, \quad (\Pi - I_N)e^N = 0, \quad \Pi \in \mathbf{U}_{\Pi}.$$

Таким образом, построение интервальной оценки \mathbf{I}_p сводится к решению $2N$ однотипных задач математического программирования (5) с линейными оптимизируемыми функциями, билинейными ограничениями типа равенств и ограничениями типа неравенств на переменные p_i, π_{ij} .

Решение задачи на основе регуляризованного метода множителей Лагранжа. Для решения каждой задачи математического программирования из набора (5) введем соответствующую функцию Лагранжа, включающую в себя ограничения типа равенств

$$L(\bar{p}, \bar{\lambda}) = \pm p^T d + \sum_{j=1}^N \lambda_j (p^T \pi^j - p^T e^j) + v^T \left(\sum_{j=1}^N \pi^j - e^N \right), \quad (6)$$

где $d = e^i$ при нахождении p_i^- , $i = \overline{1, N}$ и $d = -e^i$ при нахождении p_i^+ ,

$\{\pi^j\}_{j=1}^N$ – столбцы матрицы вероятностей переходов Π ,

$\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N)^T$, $v = (v_1, v_2, \dots, v_N)^T$ – векторы множителей Лагранжа,

$\bar{p} = \text{colon}(p, \pi^1, \dots, \pi^N)$, $\bar{\lambda} = \text{colon}(\lambda, v)$.

Известно [3], что задача условной оптимизации вида (5) эквивалентна задаче нахождения седловой точки функции Лагранжа (6) $L(\bar{p}, \bar{\lambda})$, $\bar{\lambda} \in \mathbf{R}^{2N}$ на выпуклом множестве ограничений

$$\bar{p} \in \bar{\mathbf{S}}_{\bar{p}} = \mathbf{S}^N \times \mathbf{P}_{\pi}^1 \times \dots \times \mathbf{P}_{\pi}^N, \quad (7)$$

где \mathbf{R}^m – m -мерное евклидово векторное пространство ($m = 2N$),

$\mathbf{S}^N = \{p \mid p^T e^N = 1, p \geq 0\}$ – N -мерный симплекс,

$\mathbf{P}_{\pi}^j = \{\pi^j \mid \pi_{ij}^- \leq \pi_{ij} \leq \pi_{ij}^+, \quad i, j = \overline{1, N}\}$.

Таким образом, для оптимальности вектора $\bar{p}^* \in \bar{\mathbf{S}}_{\bar{p}}$, т.е. для того, чтобы он являлся решением задачи математического программирования (5), необходимо и достаточно, чтобы для некоторого вектора множителей Лагранжа $\bar{\lambda}^* \in \mathbf{R}^{2N}$ и любых $\bar{p} \in \bar{\mathbf{S}}_{\bar{p}}$ и $\bar{\lambda} \in \mathbf{R}^{2N}$ выполнялись неравенства

$$L(\bar{p}^*, \bar{\lambda}) \leq L(\bar{p}^*, \bar{\lambda}^*) \leq L(\bar{p}, \bar{\lambda}^*). \quad (8)$$

Для нахождения седловой точки (8) функции Лагранжа (6) на множестве ограничений (7) можно воспользоваться проекционной модификацией итеративного вычислительного алгоритма Эрроу–Гурвица–Удзавы [4] с использованием в качестве векторов движений по переменным $(\bar{p}, \bar{\lambda})$ градиентов функции $L(\bar{p}, \bar{\lambda})$ по этим переменным. Однако, как отмечалось в [5], соответствующий вычислительный алгоритм для функции Лагранжа (6) будет неустойчив, что является следствием наличия в ее структуре билинейных слагаемых.

Для преодоления этой трудности, в соответствии с предложенной в [5] методикой, воспользуемся регуляризованной модификацией функции Лагранжа, зависящей от параметра регуляризации $\delta > 0$

$$L_{\delta}(\bar{p}, \bar{\lambda}) = L(\bar{p}, \bar{\lambda}) + \frac{\delta}{2} (\|\bar{p}\|^2 - \|\bar{\lambda}\|^2). \quad (9)$$

Седловая точка функции (9) ищется на множестве регуляризованных ограничений $\bar{\mathbf{S}}_p^\varepsilon$ вида (7), в которых вместо симплекса \mathbf{S}_p используется так называемый ε -симплекс $\mathbf{S}_\varepsilon^N = \{p \mid p \in \mathbf{S}^N, p_i \geq \varepsilon, i = \overline{1, N}\}$, $\varepsilon \in [0, N^{-1}]$.

Очевидно, что регуляризованная функция Лагранжа (9) строго выпукла по переменным \bar{p} при любых $\bar{\lambda}$ и строго вогнута по переменным $\bar{\lambda}$ при любых \bar{p} , что гарантирует существование у нее единственной седловой точки на множестве ε -ограничений $\{\bar{p} \in \bar{\mathbf{S}}_p^\varepsilon = \mathbf{S}_\varepsilon^N \times \mathbf{P}_\pi^1 \times \dots \times \mathbf{P}_\pi^N, \bar{\lambda} \in \mathbf{R}^{2N}\}$ и устойчивость соответствующей вычислительной процедуры ее поиска [5,6].

При этом в силу непрерывной зависимости решения регуляризованной задачи $(\bar{p}_{\varepsilon, \delta}^*, \bar{\lambda}_{\varepsilon, \delta}^*)$ от параметров регуляризации (ε, δ) , при достаточно малых значениях параметров (ε, δ) указанное регуляризованное решение в свою очередь будет достаточно близко к решению $(\bar{p}^*, \bar{\lambda}^*)$ исходной задачи.

Вычислительный алгоритм нахождения интервальной оценки. Для построения алгоритма вычисления оптимальных интервальных оценок на основе нахождения седловой точки регуляризованной функции Лагранжа, запишем вначале определяющие указанную седловую точку условия, вычисляя градиенты функции (6), (9) по соответствующим векторам:

$$\begin{aligned} \nabla_p L_\delta(\bar{p}, \bar{\lambda}) &= d - (\Pi - I_N)\lambda + \delta p = 0, \\ \nabla_{\pi^k} L_\delta(\bar{p}, \bar{\lambda}) &= \lambda_k p + \upsilon = 0, \quad k = \overline{1, N}, \\ \nabla_\lambda L_\delta(\bar{p}, \bar{\lambda}) &= (\Pi - I_N)^T p - \delta \lambda = 0, \\ \nabla_\upsilon L_\delta(\bar{p}, \bar{\lambda}) &= (\Pi - I_N)e^N - \delta \upsilon = 0. \end{aligned} \quad (10)$$

Решение системы векторно-матричных билинейных уравнений (10) с учетом ограничений $\bar{p} \in \bar{\mathbf{S}}_p^\varepsilon$ может быть получено с помощью итеративного вычислительного алгоритма проекционного типа [4,5] с переменными параметрами регуляризации:

$$\begin{aligned} p(n+1) &= \text{Pr}_{\mathbf{S}_{\varepsilon(n)}^N} \left\{ p(n) - \gamma(n)[d - A(n)\lambda(n) + \delta(n)p(n)] \right\}, \\ \pi^j(n+1) &= \text{Pr}_{\mathbf{P}_\pi^j} \left\{ \pi^j(n) - \gamma(n)[\lambda_k(n)p(n) + \upsilon(n)] \right\}, \quad j = \overline{1, N}, \\ \lambda(n+1) &= \lambda(n) + \gamma(n)[A(n)^T p(n) - \delta(n)\lambda(n)], \\ \upsilon(n+1) &= \upsilon(n) + \gamma(n)[A(n)e^N - \delta(n)\upsilon(n)], \quad A(n) = \Pi(n) - I_N, \end{aligned} \quad (11)$$

где $(p(n), \pi^j(n), \lambda(n), \upsilon(n))$ – приближение к решению на n -том шаге,

$\Pi(n)$ – квадратная матрица, составленная из столбцов $\pi^j(n)$, $j = \overline{1, N}$,
 $\{\varepsilon(n), \delta(n)\}$ – последовательность параметров регуляризации,
 $\{\gamma(n)\}$ – переменный коэффициент шага алгоритма.

Проекционные операторы $\text{Pr}_{\mathbf{S}_{\varepsilon(n)}^N} \{\cdot\}$, $\text{Pr}_{\mathbf{P}_\pi^j} \{\cdot\}$ действуют по правилам:

$$\begin{aligned} \text{Pr}_{\mathbf{S}_{\varepsilon(n)}^N} \{q\} &= \arg \min_{p \in \mathbf{S}_{\varepsilon(n)}^N} \|p - q\|^2, \quad q \in \mathbf{R}^N, \quad \text{Pr}_{\mathbf{P}_\pi^j} \{q\} = \bar{q} = (\bar{q}_1 \ \bar{q}_2 \ \dots \ \bar{q}_N)^T, \\ \bar{q}_i &= q_i \text{ при } \pi_{ij}^- \leq q_i \leq \pi_{ij}^+, \quad \bar{q}_i = \pi_{ij}^- \text{ при } q_i < \pi_{ij}^-, \quad \bar{q}_i = \pi_{ij}^+ \text{ при } q_i > \pi_{ij}^+. \end{aligned} \quad (12)$$

Выбор параметров алгоритма (12) в соответствии с условиями [5]

$$\gamma(n) > 0, \quad \lim_{n \rightarrow \infty} (\varepsilon(n), \delta(n)) = 0, \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \varepsilon(n) / \delta(n) = \zeta < \infty \quad (13)$$

обеспечивает его сходимость к оптимальному решению $(\bar{p}^*, \bar{\lambda}^*)$.

Используя алгоритм (12) с набором векторов $d = \pm e^i$, $i = \overline{1, N}$, получим решения $2N$ оптимизационных задач (5), определяющие границы $\{(p_i^-, p_i^+)\}$, $i = \overline{1, N}$ интервальных оценок $p \in \mathbf{I}_p$ финальных распределений вероятностей состояний неопределенной марковской цепи.

В качестве окончательной оценки финального вектора, учитывающей симплексные ограничения, можно взять пересечение $\mathbf{I}_p^S \in \mathbf{I}_p \cap \mathbf{S}^N$.

Выводы. В данной работе предложен вычислительный подход к построению интервальной оценки финального распределения вероятностей состояний неопределенной цепи Маркова на основе сведения задачи интервального оценивания к решению специального набора задач нелинейного программирования. Преимуществом предложенного метода является простота вычислительного алгоритма и возможность обеспечения его устойчивости путем реализации процедуры динамической регуляризации. Дальнейшее развитие такого подхода связано с возможностью использования множеств неопределенности переходной матрицы различной структуры.

Список литературы: 1. Skulj D. Finite discrete time Markov chains with interval probabilities / D. Skulj // Soft Methods for Integrated Uncertainty Modeling. – Springer-Verlag. – 2006. – P. 299–306. 2. Kozine I. O. Interval-valued finite Markov chains / I. O. Kozine, L. V. Utkin // Reliable Computing. – 2002. – Vol. 8, No. 2. – P. 97–113. 3. Зангвилл У. И. Нелинейное программирование / У. И. Зангвилл. – М.: Сов. Радио, – 1973. – 226 с. 4. Эрроу К. Дж. Исследования по линейному и нелинейному программированию / К. Дж. Эрроу, Л. Гурвиц, Х. Удзава. – М.: Иностран. лит. – 1962. – 345 с. 5. Назин А. В. Адаптивный выбор вариантов / А. В. Назин, А. С. Позняк. – М.: Наука. – 1986. – 128 с. 6. Беленький В. З. Итеративные методы в теории игр и программировании / В. З. Беленький, В. А. Волконский. – М.: Наука, – 1974. – 324 с.

Надійшла до редколегії 20.04.2012

Ю. И. ДОРОФЕЕВ, канд. техн. наук, доц. каф. САиУ НТУ «ХПИ»;
А. А. НИКУЛЬЧЕНКО, аспирант НТУ «ХПИ»

АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СЕТЕЙ ПОСТАВОК КАК ОБЪЕКТОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

У статті розглядається побудова «розширеної» і «миттєвої» дискретних моделей у просторі станів для розподілених мереж поставок з запізненнями керованих потоків і інтервальною невизначеністю зовнішнього попиту.

В статье рассматривается построение «расширенной» и «мгновенной» дискретных моделей в пространстве состояний для распределенных сетей поставок с запаздываниями управляемых потоков и интервальной неопределенностью внешнего спроса.

The article deals with the synthesis of "extended" and "instantaneous" discrete state-space models for distributed supply networks with controlled flow delays and interval uncertainty in external demand.

Введение. Актуальность задач анализа и синтеза динамических систем управления запасами подтверждена многочисленными исследованиями [1]. Создание запасов необходимо для полного и своевременного удовлетворения спроса со стороны внешних потребителей, но связано с издержками вследствие необходимости создания складов и наличия затрат на хранение ресурсов. В результате возникает необходимость в разработке методов математического моделирования управляемых систем производства-хранения-распределения ресурсов с целью их анализа и построения оптимальных стратегий управления запасами.

В статье рассматриваются системы, представляющие собой совокупность взаимосвязанных объектов, осуществляющих добычу сырья, производство, хранение, транспортировку и распространение некоторого набора продукции. Предполагая производительности узлов сети ненулевыми и учитывая, что уровни запасов ресурсов в узлах изменяются с течением времени, получаем динамическую сетевую модель, которая описывает широкий класс систем, включая производственные системы, коммуникационные сети, системы распределения ресурсов, транспортно-складские системы и т.п.

Существуют различные типы топологии рассматриваемых систем, которые определяются спецификой и размещением потребителей и складов. Если некоторые виды сырья или полуфабрикатов используются в нескольких процессах, проходящих одновременно, система приобретает эшелонированную структуру, и, поскольку отношения местоположения узлов играют существенную роль с точки зрения анализа динамики сети, подобные системы называются распределенными сетями поставок.

Детерминированные модели, как правило, не учитывают априорную неопределенность, свойственную реальным системам управления запасами.

Стохастические модели требуют точного задания вероятностных характеристик неопределенных параметров системы и при этом довольно сложны в смысле получения численных результатов. Кроме того, во многих случаях нет основания или недостаточно информации, чтобы рассматривать факторы неопределенности как случайные (то есть адекватно описываемые теоретико-вероятностными моделями). Указанные соображения приводят к необходимости при построении моделей сетей поставок учитывать неопределенности нестохастической природы.

Построение математической модели объекта. Для графического представления сетей поставок используется ориентированный граф, вершины которого соответствуют узлам сети и предполагаются одноименными. Дуги графа описывают управляемые и неуправляемые потоки в сети. Управляемые потоки перераспределяют ресурсы между узлами, возможно перерабатывая их, и планируют поставки сырья извне. Неуправляемые потоки описывают спрос на ресурсы, который формируется как со стороны других узлов, так и внешнего окружения.

Граф, изображающий модель сети поставок, разделяется на уровни в зависимости от стадий переработки сырья и полуфабрикатов: уровень 1 содержит узлы сети, которые являются продавцами конечной продукции, уровень l содержит узлы, производящие либо сохраняющие ресурсы, которые используются для производства продукции уровнями строго меньше l , но не менее одного вида продукции уровня $(l - 1)$.

Для математического описания сетей поставок предлагается подход, использующий «дискретно-событийные модели», при построении которых используются следующие предположения:

- 1) выбирается период дискретизации по времени Δt и все временные интервалы считаются кратными выбранному периоду;
- 2) время увеличивается пошагово, текущий момент времени обозначается $k = 0, 1, 2, \dots$, в конце каждого периода времени состояние системы вычисляется с помощью уравнений модели;
- 3) состояние системы характеризуется уровнем запасов каждого вида ресурсов в течение данного периода.

Для описания узлов сети введем следующие обозначения:

N – количество узлов сети поставок;

$P = \{\pi_{ij}\}$, $i, j = \overline{1, N}$ – производственная матрица, значение (i, j) -го элемента которой равно количеству ресурсов i , измеренному в единицах, которое требуется для производства единицы продукции j ;

$T_{j,i}$ – целочисленная переменная, значение которой кратно Δt , обозначающая время транспортировки продукции из узла j в узел i ;

LT_i – целочисленная переменная, обозначающая время выполнения заказа в узле i ;

$Cost_i$ и H_i – стоимости производства и хранения (соответственно) в течение периода времени Δt единицы продукции i , измеряемые в у.е.;

War_i – максимально допустимая вместимость склада узла i , измеряемая в единицах.

Учитывая тот факт, что пополнение запасов всегда происходит с некоторым запаздыванием относительно момента отправки требования, необходимо определить максимальное значение периода запаздывания материальных потоков между узлами сети:

$$A_{\max} = \max_i A_i^{\max}, \quad A_i^{\max} = \max_j A_{j,i}, \quad i, j = \overline{1, N}, \quad (1)$$

где $A_{j,i} = T_{j,i} + LT_i$ – период запаздывания потоков между узлами j и i , т.е. заказ на поставку продукции j , отправленный из узла i в момент времени k , будет доставлен в момент времени $(k + T_{j,i})$, и будет переработан и помещен в хранилище в момент времени $(k + T_{j,i} + LT_i)$. Предполагается, что значения временных интервалов известны и не меняются в процессе функционирования сети

Тогда динамика сети поставок с запаздываниями управляемых потоков описывается следующим рекуррентным соотношением:

$$x(k+1) = x(k) + \sum_{t=0}^{A_{\max}} B_t u(k-t) + Ed(k), \quad (2)$$

где $x(k) \in R^N$ – вектор состояний, элементами которого являются уровни запаса ресурсов в узлах сети, имеющиеся в наличии в момент времени k ;

$u(k) \in R^m$ – вектор управляющих воздействий, элементы которого отражают объемы заявок на поставку ресурсов, формируемые узлами в момент k ;

$d(k) \in R^q$ – вектор внешних возмущений, элементами которого являются размеры внешнего спроса на конечную продукцию, которые поступают в момент k на узлы первого уровня сети поставок;

структура сети определяется структурой матриц влияния управлений $B_t \in R^{N \times m}$, $t = \overline{0, A_{\max}}$ и матрицы влияния возмущений $E \in R^{N \times q}$.

Поясним на примере принцип формирования матриц B_t и E . Пусть управляемый поток u_n представляет процесс транспортировки и сборки, в

результате которого из 10 единиц продукции i , время транспортировки которой равно $T_{i,n} = 2$, и 5 единиц продукции j , время транспортировки равно $T_{j,n} = 1$, получают 1 единицу продукции n , время выполнения заказа равно $LT_n = 1$. Определим максимальное значение периода запаздывания для узла n : $A_n^{\max} = \max\{A_{i,n} = T_{i,n} + LT_n = 3, A_{j,n} = T_{j,n} + LT_n = 2\} = 3$. На графе этот поток представляется гипер-дугой, соединяющей узлы i и j с узлом n (см. рис. 1). Значение времени транспортировки и количество единиц продукции, которое требуется в соответствии с технологическим процессом, указаны в круглых и квадратных скобках, соответственно. Возле узла n в круглых скобках указано значение времени выполнения заказа LT_n .

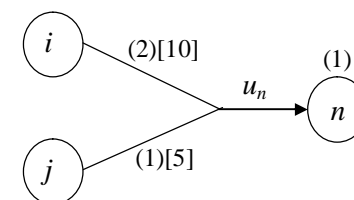


Рис. 1 – Графическое представление управляемого потока

Тогда в матрицах $B_t, t = \overline{0, 3}$ управляемый поток u_n будет представлен следующими ненулевыми элементами: $[B_0]_{in} = -10$, $[B_1]_{jn} = -5$, $[B_3]_{nn} = 1$.

Аналогично, неуправляемый поток d_p , представляющий внешний спрос на продукцию узла r , формирует столбец p матрицы внешних возмущений E , который содержит один ненулевой элемент $[E]_{rp} = -1$.

Учитывая физический смысл переменных, должны выполняться конструктивные ограничения на значения вектора состояний и вектора управлений, которые могут быть представлены в виде выпуклых многогранников в пространствах соответствующей размерности:

$$x(k) \in X = \{x \in R^N \mid 0 \leq x \leq x^+\}, \quad u(k) \in U = \{u \in R^m \mid 0 \leq u \leq u^+\}, \quad (3)$$

где элементы векторов x^+ и u^+ описывают максимальные вместимости хранилищ и объемы транспортировок и предполагаются заданными.

Для определения оптимальной стратегии управления запасами необходимо задание характеристик внешнего спроса. Однако, при решении практических задач эти характеристики точно не известны. Поэтому используется подход, предложенный в работе [2], согласно которому предполагается, что сеть поставок функционирует в условиях неизвестного,

но ограниченного спроса, который характеризуется интервальной неопределенностью. Тогда к рассмотренным ограничениям добавляется:

$$d(k) \in D = \{d \in R^q \mid d^- \leq d \leq d^+\}, \quad (4)$$

где значения векторов d^- и d^+ определяются на основании изучения статистики прошлых продаж.

Таким образом, ограничения на значения вектора состояний и вектора управляющих воздействий (3) определяются физическими возможностями системы, а на значения вектора внешних возмущений (4) – неопределенностью спроса на конечную продукцию.

Для преобразования модели (2) к стандартному виду без запаздываний применяется техника расширения пространства состояний путем включения в вектор состояний векторов, представляющих размеры ранее заказанных ресурсов, находящихся в процессе транспортировки:

$$\xi(k) = [x(k)^T, u(k-1)^T, u(k-2)^T, \dots, u(k-A_{\max})^T]^T. \quad (5)$$

Уравнения *расширенной* модели сети поставок с запаздываниями управляемых потоков примут вид:

$$\begin{aligned} \zeta(k+1) &= A\zeta(k) + Fu(k) + Gd(k), \\ x(k) &= C\xi(k), \end{aligned} \quad (6)$$

где матрицы A , F , G , C имеют соответствующую блочную структуру:

$$A = \begin{pmatrix} I_{N \times N} & B_1 & \dots & B_{A_{\max}-1} & B_{A_{\max}} \\ [0]_{m \times N} & [0]_{m \times m} & \dots & [0]_{m \times m} & [0]_{m \times m} \\ [0]_{m \times N} & I_{m \times m} & \dots & [0]_{m \times m} & [0]_{m \times m} \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots & \vdots \\ [0]_{m \times N} & [0]_{m \times m} & \dots & I_{m \times m} & [0]_{m \times m} \end{pmatrix}, F = \begin{pmatrix} B_0 \\ I_{m \times m} \\ [0]_{m \times m} \\ \vdots \\ [0]_{m \times m} \end{pmatrix}, G = \begin{pmatrix} E \\ [0]_{m \times q} \\ [0]_{m \times q} \\ \vdots \\ [0]_{m \times q} \end{pmatrix}, C^T = \begin{pmatrix} I_{N \times N} \\ [0]_{N \times m} \\ \vdots \\ [0]_{N \times m} \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Использовать расширенную модель для анализа свойств сети сложно из-за больших размерностей. Поэтому с помощью замены базиса строится модель, вектор состояний которой имеет вид:

$$\xi(k) = [z(k)^T, u(k-1)^T, u(k-2)^T, \dots, u(k-A_{\max})^T]^T, \quad (8)$$

где элементы вектора $z(k) \in R^N$ называют *фиктивными* уровнями запаса и определяют как сумму уровня запаса ресурсов, находящихся в хранилищах, и ресурсов, которые находятся в процессе транспортировки между узлами сети:

$$z(k) = x(k) + \sum_{t=1}^{A_{\max}} \mathcal{B}_t u(k-t), \quad \text{где } \mathcal{B}_t = \sum_{i=1}^{A_{\max}} B_i, \quad i = \overline{1, A_{\max}}. \quad (9)$$

Полученная система с вектором состояний $\xi(k)$ допускает декомпозицию на две подсистемы. Первая представляет собой так называемую *мгновенную* модель сети, поскольку все запаздывания равны нулю, и описывается уравнением:

$$z(k+1) = z(k) + Bu(k) + Ed(k), \quad \text{где } B = \sum_{i=0}^{A_{\max}} B_i. \quad (10)$$

Переменными состояний второй подсистемы являются управляющие воздействия с запаздываниями расширенной модели сети $u(k-t), t = \overline{1, A_{\max}}$. При этом вторая подсистема является асимптотически устойчивой, поскольку ее матрица динамики является нильпотентной. Поэтому для анализа динамических свойств распределенных сетей поставок целесообразно использовать мгновенную модель (10).

Численный пример. В качестве примера рассмотрим сеть поставок, которая изучалась в работе [3]. Граф, представляющий модель сети, можно описать следующим образом $G = (V = \{1, 2, 3, 4, 5\}, E = \{(5, 1), (5, 2), (5, 3), (4, 3), (3, 1), (3, 2)\})$.

Сеть содержит $N = 5$ узлов, которые разделены на три уровня: узлы 1 и 2, образующие уровень 1 сети поставок, перерабатывают продукцию узлов 3 и 5, и имеют склады, которые хранят, соответственно, продукцию типа 1 и продукцию типа 2; узел 3 перерабатывает продукцию узлов 4 и 5, хранит продукцию типа 3, и составляет уровень 2 сети поставок; узлы 4 и 5 являются поставщиками сырья соответствующего типа и составляют уровень 3 сети поставок. Даны значения времени выполнения заказа в узлах сети: $LT_1 = LT_3 = LT_5 = 1$, $LT_2 = LT_4 = 2$ и времени транспортировки ресурсов между узлами сети: $T_{5,1} = T_{5,2} = T_{5,3} = T_{4,3} = T_{3,1} = T_{3,2} = 1$.

Представим управляемые потоки в виде гипер-дуг, изображенных непрерывными линиями, добавив два потока, которые представляют поставки сырья извне, и пронумеруем, как показано на рис. 2. Дуги d_1, d_2 , изображенные пунктирными линиями, представляют внешний спрос. Значение времени транспортировки $T_{i,j}$ и количество единиц продукции π_{ij} , которое требуется в соответствии с технологическим процессом, указаны для каждого управляемого потока в круглых и квадратных скобках, соответственно. Возле каждого узла в круглых скобках указаны значения времени выполнения заказа LT_i .

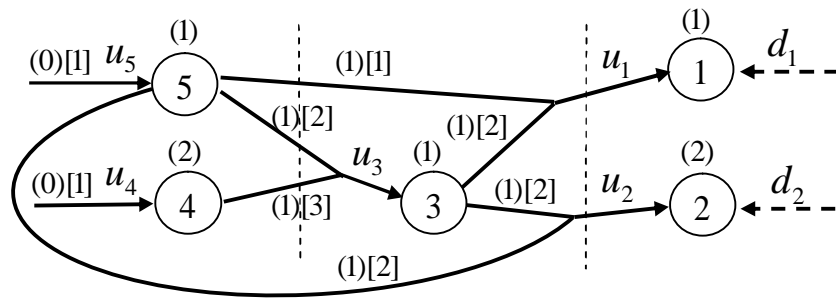


Рис. 2 – Графическое представление модели сети поставок

В соответствии с технологическим описанием производственных процессов составлена производственная матрица P . Матрица влияния управляющих воздействий B , вычисленная в соответствии с (10), и матрица влияния внешних возмущений E равны:

$$P = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 3 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 2 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -2 & -2 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -3 & 1 & 0 \\ -1 & -2 & -2 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad E = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Таким образом, размерность вектора состояний мгновенной модели $\dim z(k) = N$ определяется количеством узлов сети поставок и для рассматриваемого примера равна 5, в то время как размерность вектора состояний расширенной модели $\dim \zeta(k) = N + A_{\max} m$ зависит также от максимального значения периода запаздывания потоков в сети и размерности вектора управлений, и для рассматриваемого примера равна 20.

Выводы. В статье рассмотрена методика построения математических моделей распределенных сетей поставок с запаздываниями управляемых потоков и интервальной неопределенностью внешнего спроса, которая позволяет сформировать:

- 1) мгновенную дискретную модель сети в пространстве состояний для анализа динамических свойств системы;
- 2) расширенную дискретную модель сети в пространстве состояний для синтеза стратегии управления запасами.

Список литературы: 1. Лотоцкий В. А. Модели и методы управления запасами / В. А. Лотоцкий, А. С. Мандель. – М.: Наука, 1991. – 189 с. 2. Blanchini F. Least inventory control of multistorage systems with non-stochastic unknown inputs / F. Blanchini, F. Rinaldi, W. Ukovich // IEEE Transaction on robotics and automation. – 1997. – Vol. 13. – P. 633–645. 3. Hennes J.-C.

УДК 681.518:658.512

М. В. ТКАЧУК, д-р техн. наук, проф. каф. «АСУ», НТУ «ХПІ»;
О. В. ВЕКШИН, аспірант, каф. «АСУ», НТУ «ХПІ»;
В. В. КОСЕНКО, студент, каф. «АСУ», НТУ «ХПІ»

ДЕЯКІ ПРОБЛЕМИ РОЗРОБКИ АДАПТИВНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОБІЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА ПІДХІД ДО ЇХ ВИРІШЕННЯ

Розглянуті деякі особливості мобільних інформаційних систем та визначена актуальність проблеми розробки адаптивних програмних рішень для забезпечення їх ефективного функціонування. Запропоновано підхід до вирішення цієї задачі на основі застосування методу аналізу прецедентів, розроблено алгоритм адаптивного управління розміром кеш-пам'яті мобільного пристрою та наведена архітектура його програмних компонентів на платформі Android.

Рассмотрены некоторые особенности мобильных информационных систем и обоснована актуальность проблемы разработки адаптивных программных решений для обеспечения их эффективного функционирования. Предложен подход к решению этой задачи на основе использования метода анализа прецедентов, разработан алгоритм адаптивного управления размером кеш-памяти мобильного устройства и приведена архитектура его программных компонентов на платформе Android.

Some features of mobile information systems are considered and problem actuality of adaptive software solutions for their effective functioning is defined. Case-based reasoning approach to solve this task is proposed, the adaptive control algorithm for cash-memory of mobile device is elaborated, and its software components architecture on Android platform is given.

1. Актуальність розробки адаптивного програмного забезпечення для мобільних систем. Мета дослідження. На даний момент мобільні інформаційні системи (МІС) набувають все більшої популярності, тому що вони надають користувачам можливість доступу до інформації з будь-якого місця та у будь-який час. Прикладом таких систем можуть бути соціальні мережі: Facebook (www.facebook.com), vkontakte (www.vkontakte.ru), twitter (www.twitter.com), системи керування завданнями користувачів: Due Today [1], Shuffle [2] та деякі інші.

МІС мають певні особливості, що відрізняють їх від desktop- та web-орієнтованих інформаційних систем. Такими особливостями є наступні: відносно невелика обчислювальна потужність мобільних пристроїв, вельми

малий розмір дисплеїв їх терміналів, обмежений час роботи від акумулятору [3]. Тому для підвищення ефективності використання МІС необхідно розробляти відповідне програмне забезпечення (ПЗ) із вбудованим механізмом адаптації, який буде, в залежності від стану зовнішнього середовища, змінювати певні параметри функціонування компонентів ПЗ МІС з метою підтримки їх у працездатному стані.

Одним з найбільш поширених типів МІС є системи керування завданнями (СКЗ). До їх типової функціональності належать такі можливості як: формування та обробка списків задач користувача, синхронізація даних з віддаленим сервером, можливість додавання різноманітних файлів до створених задач і деякі ін., які, наприклад, визначені в рекомендаціях групи розробників СКЗ: Getting Things Done (GTD) [4]. Таким чином, такі системи можуть накопичувати великі обсяги інформаційних ресурсів, і тому в умовах жорстко обмежених апаратних ресурсів МІС постає задача адаптивного управління СКЗ для підвищення продуктивності використання таких систем.

Проаналізувавши функціональність та архітектуру деяких існуючих СКЗ, можна зробити висновок, що ці системи надають всю необхідну функціональність з керування завдань, але жодна з них не використовує механізмів адаптивного управління. Тому метою досліджень, які представлені в цій статті, є розробка та використання механізму адаптивного управління ресурсами типової СКЗ, на прикладі сервісу Google Tasks (<http://mail.google.com/tasks>).

2. Аналіз типової архітектури мобільної СКЗ з використанням сервісу Google Tasks. Спираючись на результати, отримані при аналізі існуючих мобільних СКЗ, була проаналізована загальна архітектура клієнт-серверної мобільної СКЗ, що подана на рис. 1 у вигляді діаграми розгортання її компонентів в нотатції UML 2.0. Основними вузлами в цій системі є: сервер Google та мобільний пристрій (клієнтське застосування) на платформі мобільної операційної системи (МОС) Android [5]. При цьому на стороні мобільного пристрою наявні такі програмні компоненти:

1. «Менеджер облікових записів» – компонент МОС Android, що надає засоби для зберігання та доступу до облікових записів користувачів;
2. «Менеджер задач» – безпосередньо клієнтське застосування, що надає графічний інтерфейс користувача для роботи з задачами;
3. «База даних SQLite» – реляційна локальна база (БД) даних СКЗ;
4. «Сервіс синхронізації» – фоновий процес, що забезпечує синхронізацію локальної БД з віддаленим сервісом Google;
5. «Бібліотека Google Tasks API» – сукупність засобів для обміну даними з сервісом Google Tasks.

На серверній стороні МІС розгорнуті наступні компоненти:

1. «Google Tasks API» – компонент, що надає засоби для взаємодії з централізованою БД задач;
2. «Сервіс Google Task» – централізована БД задач СКЗ.

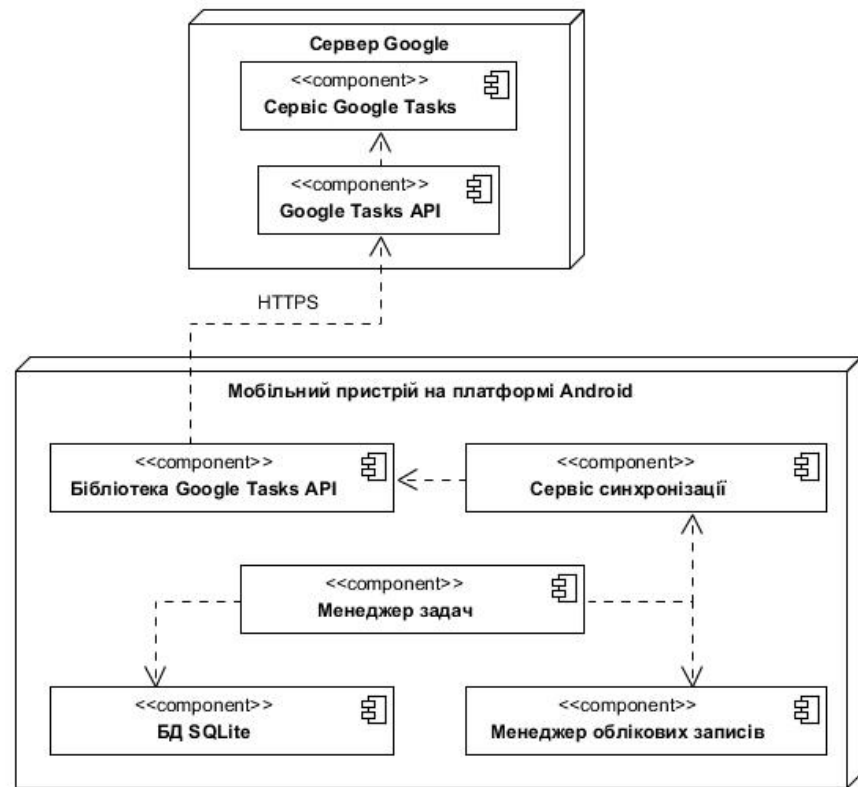


Рис. 1 – Загальна архітектура мобільної СКЗ із використанням МОС Android та сервісу Google Tasks

Оскільки Google Tasks є стороннім програмним сервісом, то будь-яка його модифікація з метою додавання можливості адаптивного управління не є можливою. На стороні мобільного застосування можливо використати кеш (cache) запитів до локальної БД та засоби для адаптивного керування розміром кешу, що є актуальним у випадку великої кількості задач, створених користувачем мобільної СКЗ та в умовах обмеженості обчислювальних ресурсів мобільного пристрою.

3. Визначення та формальний опис ресурсів адаптації мобільної системи. Адаптація є важливою складовою процесу управління будь-якими складними об'єктами, що є насамперед необхідним в умовах постійних змін, що відбуваються в середовищі їх функціонування. Спираючись на загальновідому класифікацію підходів до побудови адаптивних систем управління [6–7], а також беручи до уваги деякі особливості саме адаптивних

програмних систем (див., наприклад, в [8]), в цьому дослідженні в подальшому буде розглянуто підхід до реалізації параметричної адаптації МІС при вирішенні задачі управління розміром кеш-пам'яті клієнтського пристрою мобільної СКЗ. В її архітектурі «вузьким місцем» є локальна БД, оскільки саме процес обробки SQL-запитів до неї, при великій кількості зберігаємих даних та при відносно низькій обчислювальній потужності мобільних пристроїв, може суттєво вплинути на продуктивність усього мобільного застосування.

Для вирішення цієї задачі пропонується побудова кешу запитів до БД, який буде зберігати записи, до яких найчастіше відбувалося звернення. Для забезпечення функціонування кешу обрано алгоритм LRU (Least Recently Used) [9]. Цей алгоритм передбачає обробку елементів з кешу за принципом побудови такої структури даних як стек (stack). Тобто, нові елементи додаються до вершини стеку, а коли наявний розмір стеку приймає граничне значення, то елементи даних, які більше не використовуються, витісняються із дна стеку.

На розмір кешу (C_s) впливають такі фактори, як: відсоток вільної оперативної пам'яті мобільного пристрою (M) від загального об'єму та кількість унікальних запитів до БД (R).

Для функціонування блоку адаптивного управління (БАУ) можливо використати такі підходи як: нейронні мережі, дерева рішень, вивід на основі прецедентів та деякі інші. Спираючись на раніше вказані особливості мобільних пристроїв, для розробки БАУ найбільш доцільно використовувати підхід із використанням виводу на основі аналізу прецедентів (Case Based Reasoning – CBR) [10]. Він не передбачає наявності потужних обчислювальних ресурсів та дозволяє зберігати необхідні дані для алгоритму управління безпосередньо в оперативній пам'яті мобільного пристрою. Використання CBR призводить до зменшення часу на розрахунок розміру кешу в залежності від поточного стану системи.

CBR – це метод прийняття рішень, в якому використовуються знання про попередні проблемні ситуації або випадки (прецеденти) [7, 10]. При розгляді нової проблеми (поточного випадку) знаходиться схожий прецедент як її аналог. Можна спробувати використовувати його рішення, можливо, адаптувавши щодо поточного випадку, замість того, щоб шукати вирішення кожен раз спочатку. Після того, як поточний випадок буде оброблений, він вноситься до бази прецедентів, разом із своїм рішенням, для можливого подальшого використання.

Прецедент – це опис проблемної ситуації із зазначення дій, що застосовуються в цій ситуації. Опис кожного прецеденту включає:

- опис проблемної ситуації;
- визначення рішення цієї проблеми.

Формально прецедент можна представити таким чином:

$$\vec{p} = \left\{ \vec{d}, \vec{s} \right\} \quad (1)$$

де $\vec{d} = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$ – опис проблемної ситуації;

$\vec{s} = \{s_1, s_2, \dots, s_k\}$ – опис рішення.

Стосовно до задачі, яка розглядається в даній статті, формальний опис прецеденту буде виглядати так:

$$\vec{d} = \{R, M\}, \quad (2)$$

$$\vec{s} = \{C_s\} \quad (3)$$

де R – кількість унікальних запитів до бази даних;

M – відсоток вільної пам'яті;

C_s – розмір кешу (кількість елементів у стеку).

Для адаптивного керування кешем пропонується алгоритм вказаний на рисунку 3. Цей алгоритм враховує необхідність нормування параметрів.

Як було зазначено вище, один із параметрів, що використовується – відсоток вільної оперативної пам'яті мобільного пристрою. Для запобігання частого перерахування об'єму кешу значення цього параметру округлюється до цілого числа.

Розрахунок розміру кешу відбувається за наступною формулою:

$$C_s = \frac{R * r_{avg}}{M} \quad (4)$$

де C_s – розмір кешу;

R – кількість унікальних запитів;

r_{avg} – середній розмір запису у кеші (байти);

M – коефіцієнт вільної оперативної пам'яті (%).

Геометрична інтерпретація цього формалізованого опису ресурсів адаптації мобільної СКЗ наведено на рис. 2.

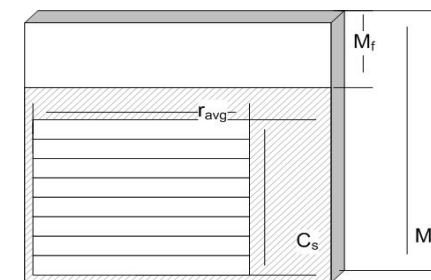


Рис. 2 – Формалізована модель ресурсів адаптації СКЗ

Беручи до уваги загальновідому процедуру CBR [7], а також враховуючи формулу (4), можливо запропонувати загальний алгоритм адаптивного управління розміром кешу, який у спрощеному вигляді наведено на рис. 3.

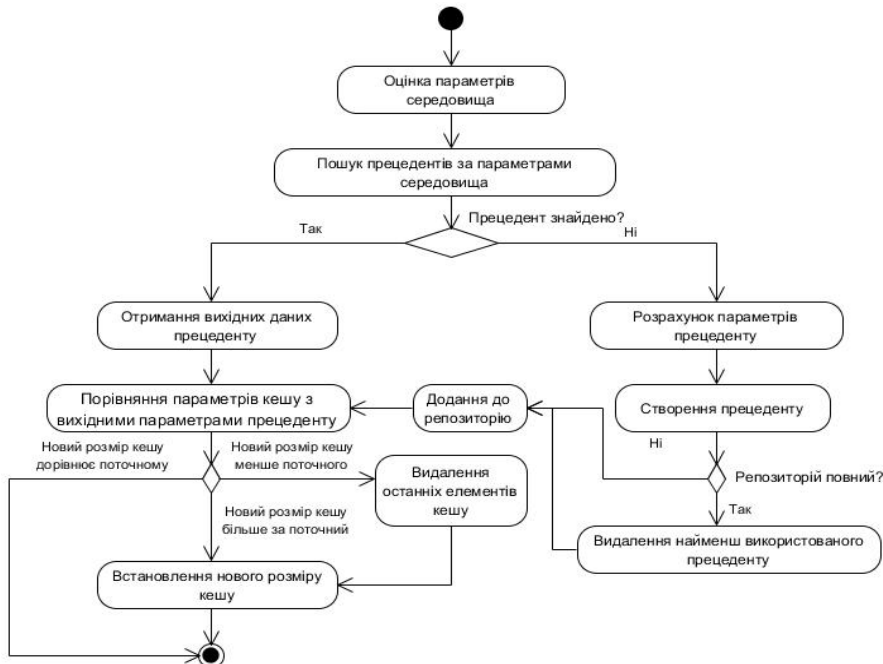


Рис. 3 – Алгоритм адаптивного управління кешем

При цьому коефіцієнт вільної оперативної пам'яті розраховується за наступною формулою:

$$M = \frac{M_f}{M_t} \cdot 100\% \quad (5)$$

де M_f – об'єм вільної оперативної пам'яті (Мб);
 M_t – загальний об'єм оперативної пам'яті (Мб).

Такий підхід дозволяє змінювати розмір кеш-пам'яті у мобільній СКЗ в залежності від стану середовища.

4. Архітектурна модель СКЗ з вбудованим БАУ. Наведена у розділі 2 архітектурна модель мобільної СКЗ була розширена компонентами, що є необхідними для реалізації адаптивного управління кеш-пам'яттю мобільного пристрою. Відповідна діаграма розміщення компонентів наведено на рис. 4, а саме:

1. «Блок адаптивного управління», що реалізує моніторинг характеристик мобільного пристрою (відсотку вільної оперативної пам'яті та кількості запитів до БД), розрахунок та зміну розміру кешу запитів до БД.
2. «Кеш запитів», що реалізує збереження в оперативній пам'яті мобільного пристрою запитів до БД та результатів їх виконання.

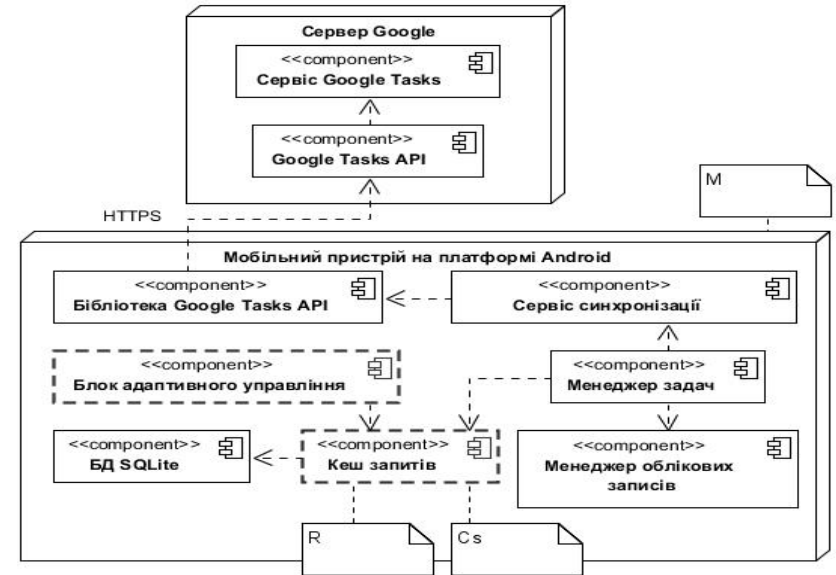


Рис. 4 – Загальна архітектура мобільної СКЗ з компонентами адаптивного управління

У якості цільової платформи для розробки прототипу такої системи обрано MOC Google Android, у якості сервісу для збереження задач обрано зовнішній сервіс Google Tasks.

На основі архітектури, що наведена на рис. 4, було програмно реалізовано прототип мобільної СКЗ та модель кешу запитів. Цей прототип пройшов випробування на декількох тестових наборах параметрів розміру кешу та кількості записів до локальної БД (деякі результати цих тестів наведені на рис. 5). Вони показали, що за рахунок збільшення розміру кешу підвищується швидкість виконання запитів, і це, в цілому, прискорює відображення даних на екрані мобільного пристрою. Але для певного розміру кешу існують деякі «порогові значення» мінімального та максимального його розміру, що пов'язано із загальною кількістю записів у БД. При досягненні цих значень швидкість виконання запитів може значно зменшуватися, тому постає питання визначення алгоритму пошуку ефективного значення розміру кешу.

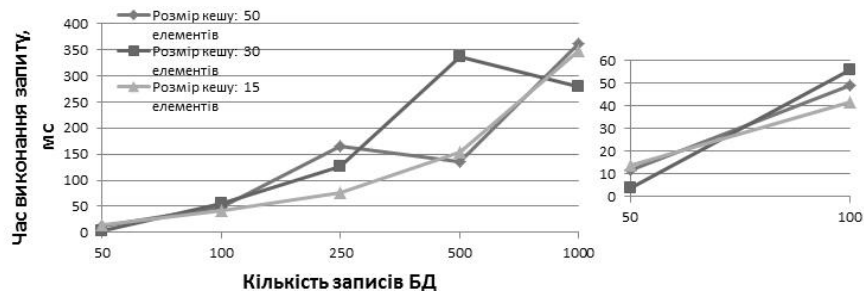


Рис. 5 – Результати тестування прототипу програмного рішення

Проведені дослідження свідчать про те, що розроблений підхід є працездатним, але деякі значення часу виконання запиту свідчать про необхідність більш детального тестування.

5. Висновки та напрямки подальших досліджень. В даній науковій статті: 1) показано актуальність розробки адаптивного програмного забезпечення для мобільних інформаційних систем; 2) проаналізована типова архітектура існуючих мобільних систем та визначені її можливі ресурси адаптації; 3) розроблено підхід до адаптивного управління розміром кеш-пам'яті мобільного пристрою, що базується на використанні методу логічного виводу на основі аналізу прецедентів; 4) запропоновано перспективну архітектуру клієнтського застосування у мобільній системі керування завданнями (СКЗ) з вбудованим блоком адаптивного управління (БАУ).

Отримані результати будуть використані при розробці прототипу мобільної СКЗ з інтегрованим БАУ на платформі Google Android та для проведення серії експериментів з оцінки ефективності запропонованого підходу. Також алгоритм керування розміром кешу буде модифіковано з метою виявлення «порогових значень» розміру кешу.

Список літератури: 1. Офіційна сторінка мобільного проекту Due Today // <http://bit.ly/s9ZLJ2> // 27.10.2010. 2. Офіційна сторінка мобільного проекту Shuffle // <http://bit.ly/iXcadm> // 27.10.2010. 3. *Vietanh N.* Mobile Computing & Disconnected Operation: A Survey of Recent Advance // <http://bit.ly/sTqXyo> // 27.10.2010. 4. Офіційний ресурс розробника методології GTD // <http://www.davidco.com/> // 01.11.2011. 5. *Komatineni S.* Pro Android 3 / *S. Komatineni, D. MacLean, S. Y. Hashimi* – NY.: Apress, 2011. – 1200 с. 6. *Расстригин Л. А.* Адаптация сложных систем / *Л. А. Расстригин* – Рига: «Зинатне», 1981. – 375 с. 7. *Карпов Л. Е., Юдин В. Н.* Адаптивное управление по прецедентам, основанное на классификации состояний управляемых объектов // <http://bit.ly/vA7GF1> // 17.03.2011. 8. *Ткачук Н. В.* Структурная адаптация программных систем: анализ состояния проблемы и некоторые подходы к ее решению / *Н. В. Ткачук, К. А. Назорный* // Східно-Європейський журнал передових технологій – 2009. – № 6 (42). – С. 33–36. 9. *Jelenković P.* Least-Recently-Used Caching with Dependent Requests / *Jelenković P., Radovanović A.* // Theoretical Computer Science, №326. – 2004. – С. 293–327. 10. *Павлов А. И., Юрин А. Ю.* Программный модуль правдоподобного вывода по прецедентам // <http://bit.ly/uPgQ36> // 07.10.2010.

Надійшла до редколегії 07.12.2011

А. А. КОБОЗЕВА, д-р техн. наук, проф. ОНПУ, Одесса;
С. АЛЬФАЛУДЖИ, аспірант ОГАХ, Одесса

СТЕГАНОГРАФИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЙ БОЛЬШУЮ ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ КАНАЛА СКРЫТОЙ СВЯЗИ

У роботі пропонується новий стеганографічний алгоритм, який використовує малорангові апроксимації матриці цифрового зображення як контейнер, що забезпечує більшу в порівнянні з методом модифікації найменшого значущого біта пропускну спроможність каналу прихованого зв'язку разом зі збереженням надійності сприйняття сформованого стеганоповідомлення

В работе предлагается новый стеганографический алгоритм, использующий малоранговые аппроксимации матрицы цифрового изображения в качестве контейнера, обеспечивающий большую по сравнению с методом модификации наименьшего значащего бита пропускную способность канала скрытой связи наряду с сохранением надежности восприятия формируемого стеганосообщения

Proposed a new steganographic algorithm using the low-rank matrix approximation of digital images as cover that provides greater bandwidth covert communications than the LSB-method while maintaining the reliability of perception formed stegano-message

Введение. Защита информации в современных условиях является сложной и чрезвычайно актуальной проблемой, что обусловлено рядом обстоятельств, среди которых массовое распространение средств электронной вычислительной техники, усложнение шифровальных технологий, необходимость защиты не только государственной и военной тайны, но и промышленной, коммерческой и финансовой тайн, расширяющиеся возможности несанкционированных действий над информацией [1]. Очевиден вывод о необходимости создания комплексной системы защиты информации, учитывающей угрозы национальной и международной безопасности, угрозы обществу, личности, государству, экономике, финансовым учреждениям, включающей в себя в качестве важного составного звена стеганографию [2,3].

Стеганография изучает возможности сокрытия самого факта присутствия секретной, или дополнительной, информации (ДИ) в некотором общедоступном информационном контенте – основном сообщении (ОС), или контейнере [4], и является областью исследования настоящей работы. Не ограничивая общности рассуждений, для простоты изложения далее в качестве ОС рассматривается монохромное изображение. Процесс погружения в контейнер ДИ, в качестве которой рассматривается бинарная последовательность, сформированная случайным образом, будем называть стеганообразованием (СП), а результат СП – стеганосообщением (СС).

Любой стеганографический метод (СМ) характеризуется тремя основными параметрами: устойчивостью (степенью обеспечения нечувствитель-

ности СС к возмущающим воздействиям [4]), надежностью восприятия (СС не должно визуально отличаться от ОС [2]) и пропускной способностью. В соответствии с [2] под пропускной способностью канала передачи скрываемых сообщений или просто под скрытой пропускной способностью (СПС) будем понимать максимальное количество информации, которое может быть вложено в один элемент контейнера. Поскольку канал скрытой связи образуется внутри канала открытой связи, СПС будет меньше пропускной способности канала открытой связи [5], в котором за одно использование канала передается один элемент СС, содержащего ДИ [2].

Очевидно, что при организации канала связи, используемого для передачи секретной информации, чрезвычайно важным является обеспечение большой СПС, но существующие СМ, информация о которых доступна из открытой печати, не могут в полной мере удовлетворить этому требованию [2-4]. Действительно, многие СМ, используя в качестве элементов контейнера 8×8 -блоки, являющиеся результатом стандартного разбиения матрицы ЦИ [6], погружают в блок лишь от 1 до 8 бит секретной информации [2,3], обеспечивая при этом СПС, равную от 1/64 до 1/8 бит/пикс. Алгоритмом, который на сегодняшний день является наиболее предпочтительным с точки зрения обеспечения значительной СПС, является стеганографический алгоритм модификации наименьшего значащего бита (LSB), в силу чего при оценке СПС любого вновь создаваемого стеганографического алгоритма основное внимание уделяется его сравнению именно с LSB [2-4]. LSB может задействовать при СП все пиксели ЦИ-контейнера, обеспечивая при этом СПС, равную 1 бит/пикс, хотя она потенциально может быть увеличена, например, в 2 (3) раза за счет модификации не одного, а двух (трех) наименьших значащих битов. Дальнейшее увеличение СПС за счет увеличения количества модифицированных битов может привести к нарушению надежности восприятия СС. Таким образом, проблема разработки алгоритмов, обладающих большой СПС является актуальной и нерешенной до настоящего момента. В силу этого

Целью настоящей работы является разработка стеганографического алгоритма, обладающего большей по сравнению с алгоритмом LSB СПС наряду с большой вероятностью обеспечения надежности восприятия формируемого им СС.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие *задачи*:

- Формализовать процесс СП;
- Учитывая достаточные условия высокой вероятности обеспечения надежности восприятия СС, получить достаточные условия обеспечения значительной СПС разрабатываемым алгоритмом.

Основными математическими инструментами при создании алгоритма являются матричный анализ и теория возмущений [7,8].

Основная идея стеганографического алгоритма, обеспечивающего большую скрытую пропускную способность. Обозначим матрицу ОС F . Процесс СП, независимо от метода и области, выбранных для погружения ДИ, можно представить как возмущение ΔF матрицы F [9,10]. Тогда матрица СС \bar{F} удовлетворяет соотношению:

$$\bar{F} = F + \Delta F, \quad (1)$$

где $\Delta F = f(F)$, т.е. ΔF является некоторой функцией матрицы контейнера F [4].

Если F — матрица произвольной структуры размерами $m \times n$ с элементами f_{ij} , $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, n}$, ($m \geq n$), для нее справедливо представление, называемое нормальным сингулярным разложением [9,10]:

$F = U \Sigma V^T = \sum_{i=1}^n \sigma_i u_i v_i^T$, где U, V — ортогональные матрицы размерности $m \times n$ и $n \times n$ соответственно, столбцы u_1, \dots, u_n матрицы U , называемые левыми сингулярными векторами (СНВ), лексикографически положительны [9,10] (столбцы v_1, \dots, v_n матрицы V называют правыми СНВ матрицы F); $\Sigma = \text{diag}(\sigma_1, \dots, \sigma_n)$, $\sigma_1 \geq \dots \geq \sigma_n \geq 0$ — сингулярные числа (СНЧ); (σ_i, u_i, v_i) называется сингулярной тройкой F .

В случае, когда F — симметричная $n \times n$ -матрица, для нее справедливо представление, называемое нормальным спектральным разложением (НСР) [9,10]: $F = U \Lambda U^T = \sum_{i=1}^n \lambda_i u_i u_i^T$, где U — ортогональная матрица, столбцы u_1, \dots, u_n которой, называемые собственными векторами (СВ), лексикографически положительны, $\Lambda = \text{diag}(\lambda_1, \dots, \lambda_n)$, $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ — собственные значения (СЗ), для которых $|\lambda_1| \geq \dots \geq |\lambda_n|$; (λ_i, u_i) называется собственной парой. Если все $|\lambda_1|, \dots, |\lambda_n|$ попарно различны, то НСР определяется однозначно [4].

В соответствии с [4] любое преобразование ОС, в частности, СП, а также любое преобразование самого СС, формально будем описывать совокупностью возмущений соответствующих параметров, входящих в используемый полный набор — множество СЗ и СВ или множество СНЧ и СНВ.

Требование соблюдения надежности восприятия СС с одновременным требованием большой СПС, предъявляемые нами к создаваемому стеганографическому алгоритму, качественно находятся в обратной зависимости друг к другу.

Увеличение размера скрываемого сообщения (что вызовет обязательное увеличение возмущения ΔF контейнера) рано или поздно приведет к нарушению надежности восприятия СС [11]. До настоящего времени при анализе уровня визуальных искажений, которые вносятся в контейнер при СП, широко применяются разностные показатели, основывающиеся на различных модификациях отношения «сигнал-шум» [3], хотя слабые места таких показателей давно известны (например, отсутствие корреляции этих показателей со зрением человека). Это объясняется тем, что все существующие модели зрительного восприятия являются лишь частичным и ограниченным отражением зрительной системы человека в силу ее сложности, а показатели искажения, основанные на таких моделях, информация о которых доступна из открытой печати, все еще остаются несовершенными и достаточно сложными в реализации [11]. Таким образом, до настоящего момента надежность восприятия в подавляющем большинстве случаев оценивается путем субъективного ранжирования, что включает в систему стеганографической передачи данных человека и вносит непреодоленные до настоящего момента трудности в процесс математической формализации обеспечения рассматриваемого требования. С уверенностью можно утверждать лишь то, что надежность восприятия сохраняется с большой вероятностью только тогда, когда норма матрицы возмущения $\|\Delta F\|$ при СП будет малой [11].

Таким образом, значительное увеличение СПС путем увеличения ΔF при СП без предварительного преобразования ОС осуществить принципиально невозможно, т.к. в этом случае с ростом $\|\Delta F\|$ возрастает вероятность нарушения надежности восприятия получаемого СС. В силу этого основная идея предлагаемого алгоритма заключается в следующем. Пусть ЦИ с матрицей F_{ucx} — основа для контейнера. В качестве контейнера используется предварительно преобразованное ЦИ с матрицей F_{ucx} . Результатом преобразования должно явиться (визуальное) ухудшение изображения за счет некоторого возмущающего воздействия с матрицей ΔF_{ucx} . Именно это «ухудшенное» ЦИ и будет рассматриваться в качестве ОС с матрицей F : $F = F_{ucx} + \Delta F_{ucx}$. Процесс СП должен работать на «возвращение» первоначально «испорченного» контейнера F в исходное состояние F_{ucx} после погружения ДИ. Формально это требование с использованием формулы (1) будет иметь вид:

$$\bar{F} = F + \Delta F = (F_{ucx} + \Delta F_{ucx}) + \Delta F \approx F_{ucx}.$$

Это даст возможность обеспечить надежность восприятия СС даже при значительном возмущающем воздействии ΔF , возникающем за счет СП, в случае, когда

$$\Delta F \approx \Delta F_{ucx}, \quad (2)$$

т. е. чем сильнее будет «испорчено» исходное ЦИ F_{ucx} , тем большую СПС можно будет обеспечить при возвращении ОС с матрицей F к первоначальному состоянию F_{ucx} путем СП.

Предварительное преобразование контейнера. Многие известные СМ производят СП с использованием различных предварительных преобразований контейнера [2-4], однако эти преобразования в подавляющем большинстве случаев не являются для исходного ЦИ возмущающими воздействиями, а являются лишь другими, но равносильными его представлениями (при предположении отсутствия ошибок округления).

Для определенности в качестве предварительного преобразования ЦИ с матрицей F_{ucx} рассмотрим процесс сжатия с потерями путем замены матрицы F_{ucx} , для которой сингулярное разложение определяется как $F_{ucx} = \overline{U \Sigma V}^T = \sum_{i=1}^n \overline{\sigma_i u_i v_i}^T$ (а в случае $F_{ucx} = F_{ucx}^T$ спектральное разложение определяется как $F_{ucx} = \overline{U \Lambda U}^T = \sum_{i=1}^n \overline{\lambda_i u_i u_i}^T$), на ее малоранговую аппроксимацию [7], при этом под аппроксимацией ранга k будем понимать

$$F_{ucx}^{(k)} = \sum_{i=1}^k \overline{\sigma_i u_i v_i}^T \quad (\text{или } F_{ucx}^{(k)} = \sum_{i=1}^k \overline{\lambda_i u_i u_i}^T \text{ в случае } F_{ucx} = F_{ucx}^T), \quad (3)$$

что эквивалентно обнулению наименьших СНЧ (наименьших по модулю СЗ, если $F_{ucx} = F_{ucx}^T$) матрицы F_{ucx} . Таким образом для контейнера F : $F = F_{ucx}^{(k)}$. В этом случае процесс СП должен будет вернуть обнуленные СНЧ (СЗ) к значениям, близким к исходным. Такое преобразование является приемлемым и желаемым в нашем случае: возмущения наименьших СНЧ (наименьших по модулю СЗ) не должны значимо сказаться на надежности восприятия СС [11].

Отметим, что реализация процесса сжатия с использованием малоранговых аппроксимаций может проводиться как с использованием матрицы всего ЦИ, так и с использованием блоков матрицы изображения, на которые оно разбивается предварительно. Обнуление наименьших СНЧ (наименьших по модулю СЗ) при замене матрицы ЦИ или блока матрицы на малоранговую аппроксимацию практически всегда будет являться возмущением для исходной матрицы даже тогда, когда ранг аппроксимации k будет близок к размеру матрицы. Действительно, для ТИФ-ЦИ СНЧ (СЗ) матрицы всего изображения или блока практически никогда не содержат нулевых СНЧ (СЗ). Так при

стандартном разбиении матрицы ТИФ-ЦИ на блоки размером 8×8 в среднем лишь $\approx 1.5\%$ от общего числа блоков будут иметь нулевые СНЧ (СЗ) [11].

Симметризация контейнера и стеганосообщения. Если матрица F_{ucx} симметрична, то в качестве определяющего ее полного набора параметров можно использовать, как множество СНЧ и СНВ, так и спектр матрицы и множество СВ специального вида. Предпочтение в этом случае безоговорочно следует отдать второму набору параметров, т.к. построение НСР симметричной матрицы обладает рядом преимуществ в вычислительном смысле по сравнению с построением сингулярного разложения для матрицы произвольной структуры той же размерности и того же уровня заполненности [4,7]. Однако, как правило, матрица ЦИ F_{ucx} не является симметричной. Предположим, что F_{ucx} — $n \times n$ -матрица. Для обеспечения ее виртуальной симметричности поставим в соответствие ей две симметричные $n \times n$ -матрицы A_V, A_N по следующему правилу:

$$F_{ucx} = \begin{pmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{13} & \dots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & f_{23} & \dots & f_{2n} \\ f_{31} & f_{32} & f_{33} & \dots & f_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{n1} & f_{n2} & f_{n3} & \dots & f_{nn} \end{pmatrix} \rightarrow AV = \begin{pmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{13} & \dots & f_{1n} \\ f_{12} & f_{22} & f_{23} & \dots & f_{2n} \\ f_{13} & f_{23} & f_{33} & \dots & f_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{1n} & f_{2n} & f_{3n} & \dots & f_{nn} \end{pmatrix}, AN = \begin{pmatrix} f_{11} & f_{21} & f_{31} & \dots & f_{n1} \\ f_{21} & f_{22} & f_{32} & \dots & f_{n2} \\ f_{31} & f_{32} & f_{33} & \dots & f_{n3} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{n1} & f_{n2} & f_{n3} & \dots & f_{nn} \end{pmatrix}, (4)$$

которые будем рассматривать ниже как основу для ОС. Контейнер будет сформирован как совокупность $AV^{(k)}$ и $AN^{(k)}$, которые очевидно также являются симметричными.

При встраивании ДИ в контейнер СП представляется в виде погружения в верхний (нижний) треугольник матрицы $A_V^{(k)}$ ($A_N^{(k)}$) с последующим виртуальным симметричным отражением результата относительно главной диагонали. Пусть итогом такого погружения явились симметричные матрицы \bar{A}_V и \bar{A}_N . При окончательном формировании матрицы СС \bar{F} используется верхний треугольник \bar{A}_V и нижний треугольник матрицы \bar{A}_N .

Пусть E — матрица произвольного возмущения, которому подвергается ОС (или СС). В общем случае $E \neq E^T$. Матрице E поставим в соответствие две симметричных матрицы той же размерности, используя правило (4), рассматривая матрицу, отвечающую верхнему (нижнему) треугольнику E как возмущающую для контейнера (СС), полученного на основе $A_V^{(k)}$ ($A_N^{(k)}$), что дает принципиальную возможность матрицу произвольного возмущения и, как следствие, матрицу СС также рассматривать ниже как симметричные.

Таким образом, получена принципиальная возможность для рассмотрения матрицы контейнера, СС, а также матрицы результата любого возмущающего воздействия, относящегося как к ОС, так и к СС, в симметричном виде, что позволяет сократить вычислительную работу для осуществления, обработки и анализа процесса СП и любого атакующего действия.

Стеганографический алгоритм, использующий малоранговые аппроксимации матрицы контейнера. Определим матрицу разности $C(G, H)$ между двумя произвольными матрицами G и H одинакового размера естественным образом: $C(G, H) = G - H$. Обозначим $\bar{C}^{(k)} = C(A_V, A_V^{(k)})$, $\underline{C}^{(k)} = C(A_N, A_N^{(k)})$.

Пусть p_1, p_2, \dots , где $p_i \in \{0, 1\}$, — секретное сообщение. Для удобства далее элементы матрицы A_V (A_N) будем обозначать v_{ij} (n_{ij}), элементы $A_V^{(k)}$ ($A_N^{(k)}$) — $v_{ij}^{(k)}$ ($n_{ij}^{(k)}$), элементы \bar{A}_V (\bar{A}_N) — \bar{v}_{ij} (\bar{n}_{ij}), элементы $\bar{C}^{(k)}$ ($\underline{C}^{(k)}$) — $\bar{c}_{ij}^{(k)}$ ($\underline{c}_{ij}^{(k)}$), $i, j = \bar{1}, n$.

Основные этапы при погружении ДИ нового стегоалгоритма, использующего малоранговые аппроксимации матрицы контейнера (САМАК), следующие.

Шаг 1. Для исходной матрицы F_{ucx} в соответствии с (4) получить A_V, A_N ;

Шаг 2. Для матриц A_V, A_N построить НСР, на основе которого в соответствии с (3) получить $A_V^{(k)}, A_N^{(k)}$ — аппроксимации ранга k ;

Шаг 3. Вычислить $\bar{C}^{(k)}, \underline{C}^{(k)}$;

Шаг 4. (Погружение ДИ в $A_V^{(k)}$). Пусть p_l — очередной бит секретного сообщения, подлежащий встраиванию, а биты, следующие за ним в ДИ — это $p_{l+1}, p_{l+2}, p_{l+3}, \dots$, если

$$p_l = 1,$$

то

- Найти очередной по заданному порядку элемент $v_{mj}^{(k)}$, $m < j$, матрицы $A_V^{(k)}$, такой, что соответствующий $\bar{c}_{mj}^{(k)} = t > 0$.
- В последовательности p_l, p_{l+1}, \dots выделить такую ее часть p_l, \dots, p_{l+r} максимальной длины, что при рассмотрении ее в виде двоичного

представления десятичного числа, это число, обозначаемое w , будет меньше t .

- Погружение p_1, \dots, p_{l+r} осуществить в соответствии с формулой: $\bar{v}_{mj} = v_{mj}^{(k)} + w$, где \bar{v}_{mj} — соответствующий элемент стеганосообщения \bar{A}_V .

иначе

- В цепочке $p_1, p_{l+1}, p_{l+2}, \dots$ найти первый по порядку элемент $p_{l+q} \neq 0$.
- Найти очередной по заданному порядку элемент $v_{mj}^{(k)}$, $m < j$, матрицы $A_V^{(k)}$, такой, что соответствующий $\bar{c}_{mj}^{(k)} < 0$.

если

$$q < \left\lceil \bar{c}_{mj}^{(k)} \right\rceil,$$

то

погружение p_1, \dots, p_{l+q-1} осуществляется в соответствии с формулой:

$$\bar{v}_{mj} = v_{mj}^{(k)} - q. \quad (5)$$

иначе

погружение p_1, \dots, p_{l+s-1} , где $s = \left\lceil \bar{c}_{mj}^{(k)} \right\rceil$, осуществляется в соответствии с формулой (5); погружение $p_{l+s}, \dots, p_{l+q-1}$ производится в следующий по заданному порядку элемент $v_{id}^{(k)}$, $i \leq d$, матрицы $A_V^{(k)}$, такой, что соответствующий $\bar{c}_{id}^{(k)} < 0$.

Шаг 5. (Погружение ДИ в $A_N^{(k)}$). Для матрицы $A_N^{(k)}$ повторить шаг 4, используя $\underline{C}^{(k)}$, погружая ДИ в нижний треугольник $A_N^{(k)}$, формируя на основе $A_N^{(k)}$ стеганосообщение \bar{A}_N .

Шаг 6. Стеганосообщение \bar{F} формируется как объединение двух треугольных матриц: верхнего треугольника \bar{A}_V и нижнего треугольника \bar{A}_N .

В качестве секретного ключа в процессе декодирования используются матрица исходного изображения $F_{исх}$, ранг аппроксимации k , порядок переноса элементов верхнего (нижнего) треугольника $A_V^{(k)}$ ($A_N^{(k)}$) при СП.

Процесс декодирования ДИ состоит из следующих основных шагов.

Шаг 1. По стеганосообщению \bar{F} в соответствии с (4) получить \bar{A}_V , \bar{A}_N ;

Шаг 2. Найти $\underline{\underline{C}}^{(k)} = C(\bar{A}_V, A_V^{(k)})$, $\underline{C}^{(k)} = C(\bar{A}_N, A_N^{(k)})$;

Шаг 3. (Декодирование ДИ, погруженной в \bar{A}_V). Просматриваются в соответствии с заданным порядком элементы \bar{c}_{ij} , $i < j$, матрицы $\underline{\underline{C}}^{(k)}$.

если

$$\bar{c}_{ij} > 0,$$

то

десятичное значение \bar{c}_{ij} представляется в двоичном виде, давая часть ДИ;

иначе

значение $\left\lceil \bar{c}_{ij} \right\rceil$ определяет количество встроенных в рассматриваемый пиксель нулей.

Шаг 4. (Декодирование ДИ, погруженной в \bar{A}_N). Аналогичные шагу 3 действия проделать с нижним треугольником матрицы $\underline{\underline{C}}^{(k)}$.

Результаты вычислительного эксперимента. Одним из ключевых вопросов реализации алгоритма является выбор параметра k – ранга аппроксимации для матрицы ОС. Поскольку ДИ – это бинарная последовательность, сформированная случайным образом, при СП алгоритмом САМАК на практике не всегда удается достичь результата, обеспечивающего (2), что может неблагоприятно сказаться на надежности восприятия получаемого СС. На основании вычислительного эксперимента, проведенного в среде Matlab в условиях идеального канала связи, в котором принимало участие 300 ЦИ размером 400×400 , значение параметра k рекомендуется выбирать из промежутка $\left[\frac{n}{7}, \frac{4n}{5} \right]$, где n – размер матрицы ОС, хотя для некоторых ЦИ

надежность восприятия СС будет сохраняться и для $k < \frac{n}{7}$ (рис. 1).

На основании эксперимента можно утверждать, что разработанный алгоритм обладает большой потенциальной скрытой пропускной способностью (см. таблицу), хотя ее реальные показатели зависят непосредственно от конкретного секретного сообщения. Среднее значение длины секретного сообщения рассчитывалось следующим образом. В тестируемые ЦИ при заданном ранге аппроксимации погружались различные случайно сформированные бинарные последовательности. Количество экспериментов с одним ЦИ равнялось 3. В каждом конкретном случае находилась длина ДИ. Среднее

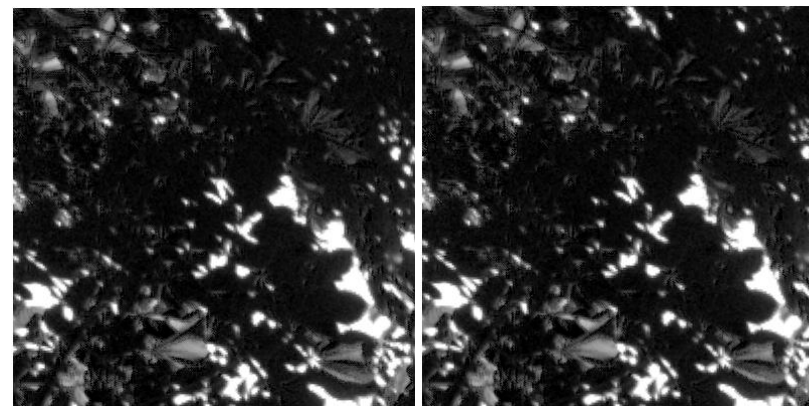
значение вычислялось по всем изображениям с учетом всех трех экспериментов с каждым из них. Для вычисления среднего максимально возможного значения длины секретного сообщения для каждого ЦИ при заданном k вычислялась максимально возможная длина ДИ, а затем бралось среднее с учетом всех ЦИ.

Сравнение скрытой пропускной способности различных стеганометодов

k		150	100	$57 \approx \frac{n}{7}$
Длина секретного сообщения в LSB-алгоритме		160000	160000	160000
САМАК	Среднее значение длины секретного сообщения	112239	176002	212001
	Среднее максимально возможное значение длины секретного сообщения	221446	332135	490902

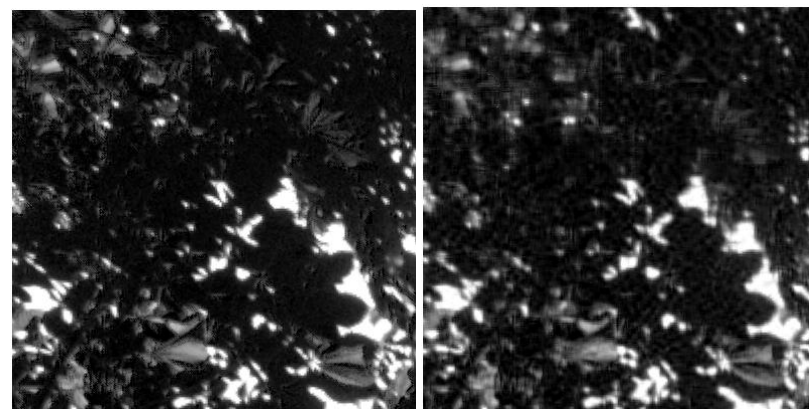
Из таблицы видно, что для достаточно малого ранга аппроксимации ($k < 150$) преимущество САМАК по сравнению с LSB-алгоритмом с точки зрения величины СПС не вызывает сомнений. Заметим, что вообще говоря, среднее максимально возможное значение длины секретного сообщения хорошо для статистики, но оно не может характеризовать конкретное ЦИ. На практике максимально возможная длина секретного сообщения может быть гораздо больше. На рис.1 приведен пример ЦИ, для которого максимально возможна длина ДИ для ранга 57 составила 751 666, для ранга 47 – 875 344 (при этом не была нарушена надежность восприятия СС (рис. б, в)). Чтобы достичь такой же СПС в LSB-алгоритме, надо модифицировать последние 5 бит, что, как видно из рис. г нарушает надежность восприятия.

Заключение. В работе предложен новый стеганоалгоритм, использующий в качестве ОС малоранговые аппроксимации исходных ЦИ, применимый для любого ОС, обеспечивающий значительную СПС, рост которой достигается за счет уменьшения ранга аппроксимации, превосходящую аналогичный параметр для алгоритма модификации наименьшего значащего бита. Попытки достижения той же СПС в LSB за счет увеличения количества модифицируемых при СП битах на практике может привести к нарушению надежности восприятия соответствующего СС, что говорит в пользу алгоритма САМАК.



a

б



в

г

Рис.: *a* – исходное ЦИ в формате TIF; *б* – СС, сформированное на основе аппроксимации ранга 57 (длина ДИ – 362 254); *в* – СС, сформированное на основе аппроксимации ранга 47 (длина ДИ – 801 117); *г* – СС, сформированное LSB-алгоритмом.

При разработке алгоритма получена принципиальная возможность для рассмотрения матрицы ОС, СС в симметричном виде, что позволило сократить вычислительную сложность алгоритма, которая является сравнимой с количеством арифметических операций для построения НСР матрицы и составляет $\underline{O}(n^3)$, где n – размер матрицы ОС. Это количество можно уменьшить до $\underline{O}(n^2)$, если предварительно подвергнуть матрицу контейнера

операции разбиения на блоки фиксированной малой размерности, а алгоритм применять для каждого блока в отдельности.

Список литературы: 1. *Хорошко В. А.* Методы и средства защиты информации / *В. А. Хорошко, А. А. Чекатков.* – К. : Юниор, 2003. – 501 с. 2. *Грибунин В. Г.* Цифровая стеганография / *В. Г. Грибунин, И. Н. Оков, И. В. Туринцев.* – М. : Солон-Пресс, 2002. – 272 с. 3. *Конахович Г. Ф.* Компьютерная стеганография. Теория и практика / *Г. Ф. Конахович, А. Ю. Пузыренко.* – К. : МК – Пресс, 2006. – 288 с. 4. *Кобозева А. А.* Анализ защищенности информационных систем / *А. А. Кобозева, И. О. Мачалин, В. О. Хорошко.* – К. : ДУИКТ, 2010. – 316 с. 5. *Шеннон К.* Работы по теории информации и кибернетики / Пер. с англ. – М. : Иностранная литература, 1963. – 829 с. 6. *Гонсалес Р., Вудс Р.* Цифровая обработка изображений. – М. : Техносфера, 2005. – 1072 с. 7. *Деммель Дж.* Вычислительная линейная алгебра / *Дж. Деммель;* пер. с англ. *Х. Д. Икрамова.* – М. : Мир, 2001. – 430 с. 8. *Кобозева А. А.* Анализ информационной безопасности / *А. А. Кобозева, В. А. Хорошко.* – К. : ГУИКТ, 2009. – 251 с. 9. *Кобозева А. А.* Применение сингулярного и спектрального разложения матриц в стеганографических алгоритмах / Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2006. – № 9 (103), ч. 1. – С. 74–83. 10. *Кобозева А. А.* Стеганографический метод, основанный на преобразовании спектра симметричной матрицы / Праці УНДІРТ. – 2006. – № 4 (48). – С. 44–52. 11. *Кобозева А. А., Трифонова Е. А.* Учет свойств нормального спектрального разложения матрицы контейнера при обеспечении надежности восприятия стегосообщения / Вестник НТУ «ХПИ». – 2007. – № 18. – С.81–93.

Надійшла до редколегії 26.12.2011

УДК 004.056.5

И. И. БОБОК, аспирант ОНПУ, Одесса

СТЕГАНОАНАЛИТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ДЛЯ ОСНОВНОГО СООБЩЕНИЯ, ХРАНИМОГО В ФОРМАТАХ С ПОТЕРЯМИ

Пропонується новий стеганографічний алгоритм для аналізу стеганоповідомлень, сформованих на основі контейнера, що зберігається у форматі з втратами з використанням методу модифікації найменшого біту, що є значущим.

Предлагается новый стеганоаналитический алгоритм для анализа стеганосообщений, сформированных на основе контейнера, хранимого в формате с потерями, с использованием метода модификации наименьшего значащего бита

Proposed a new steganalysis algorithm for the analysis of stegano-messages formed on the basis of the container, stored in lossy format, using the method of modifying the least significant bit

Введение. Защита информации сегодня является одним из самых важных вопросов, решаемых обществом. Комплексный системный подход к проблеме информационной безопасности предполагает создание системы защиты, необходимым звеном которой является цифровая стеганография [1].

Активизация в настоящий момент научной деятельности в области стеганографии, отчасти связанная с ограничением использования шифрова-

ния во многих странах мира, усилила актуальность вопросов, связанных с повышением эффективности стеганоанализа (СА) [2].

При всем многообразии имеющихся стеганоаналитических методов [3–6] общего подхода к проблеме СА (в смысле детектирования произведенного внедрения секретной информации или вывода об отсутствии такого внедрения) до настоящего момента не существовало.

Совсем недавно в [7, 8] был предложен принципиально новый математический подход к решению проблемы СА (МПСА), основанный на общем подходе к анализу состояния и технологии функционирования информационных систем (ОПАИС) [9], основными математическими инструментами которого являются матричный анализ и теория возмущений. Настоящая статья является очередным шагом автора на пути разработки универсального стеганоаналитического метода (на основе МПСА).

В стеганографии организация секретного канала связи осуществляется внутри открытого канала [2]: в некоторый информационный контент – контейнер, или основное сообщение (ОС), осуществляется внедрение секретной, или дополнительной, информации (ДИ) так, чтобы результат этого внедрения – стеганосообщение (СС) был зрительно (на слух) неотличим от ОС. Процесс погружения ДИ будем называть стеганообразованием (СП).

В настоящее время хранение и передача подавляющего большинства цифровых сигналов, в частности, цифровых изображений (ЦИ) по каналам телекоммуникаций осуществляется в сжатом состоянии. Учитывая этот факт, в качестве контейнера будет рассматриваться цифровой сигнал, для определенности – ЦИ, хранящийся в каком-либо из форматов с потерями (КсП – контейнер с потерями).

При организации секретного канала связи на сегодняшний день очень широко используется метод модификации наименьшего значащего бита (LSB), хотя его недостатки хорошо известны [2]. Однако, кроме популярности в силу обеспечения надежности восприятия сформированного СС, простоты реализации и значительной скрытой пропускной способности [2], LSB-метод обладает очень важным в условиях решаемой автором задачи свойством: СП вызывает здесь очень незначительные возмущения контейнера. Разрабатывая СА метод для выявления результатов такого «слабого» СП, можно надеяться на его эффективную работу по выявлению результатов СП другими стеганографическими алгоритмами. Все это явилось побуждающими факторами для автора, в первую очередь, рассмотреть характерные особенности и найти способы выявления последствий работы LSB-метода.

Целью настоящей работы является разработка нового СА алгоритма для анализа СС (ОС), сформированных на основе КсП с использованием LSB-метода.

Метод модификации наименьшего значащего бита является неустойчивым к любого рода возмущающим воздействиям, в частности, к операции сжатия [2]. Поэтому СС, сформированное LSB-методом на основе КсП, мо-

жет быть сохранено только в формате без потерь (ФБП) (например, TIF, BMP). С учетом этого для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выделить математические объекты, характеризующие ОС, СС, анализ которых позволит отделить ЦИ, подвергшееся операции СП, от ЦИ, не претерпевшего СП;
2. Выявить характерные признаки (качественные, количественные) для выделенных математических объектов, которые позволят отличить сжатое ЦИ, пересохраненное в ФБП, от ЦИ, которое первоначально хранится в ФБП;
3. Выявить характерные признаки для выделенных математических объектов, которые позволят отличить сформированное LSB-методом на основе КсП и сохраненное в ФБП СС от ЦИ, которое хранилось первоначально в формате с потерями (ФСП) и, не подвергаясь процессу СП, было пересохранено в ФБП;
4. На основе результатов решения задач 2 и 3, необходимо выявить характерные признаки (качественные, количественные) для выделенных математических объектов, которые позволят отличить сформированное LSB-методом на основе КсП и сохраненное в ФБП СС от ЦИ, которое первоначально хранится в ФБП.

Основная часть. Общая схема сжатия (с потерями) для ЦИ, которая использована в наиболее распространенных на сегодня стандартах, в частности, JPEG, состоит из трех основных шагов: отображение в частотную область после предварительного стандартного разбиения матрицы изображения на 8×8 -блоки, квантование полученных частотных коэффициентов, энтропийное кодирование. Восстановление включает в себя шаги, обратные к перечисленным выше, в обратном порядке [10].

Независимо от конкретики непосредственной реализации сжатия отметим, что в силу специфики человеческого зрения сжатие происходит таким образом, что его результат приводит к исключению из сигнала его высокочастотных (а возможно, и среднечастотных) составляющих за счет обнуления соответствующих коэффициентов. В силу этого матрицы одного ЦИ в ФБП и в ФСП (обозначим эти матрицы F_T и F_J соответственно) различны. Кроме того, матрица изображения, сохраненного в ФБП первоначально и сохраненного в ФБП после сжатия (обозначим последнюю $F_{J \rightarrow T}$) качественно отличаются друг от друга по своим характеристикам, в частности, они кардинально по-разному реагируют на пересохранение ЦИ в ФСП. Действительно, F_T отвечает представлению сигнала, у которого все частотные коэффициенты в «первозданном» невозмущенном виде, в то время, как $F_{J \rightarrow T}$ соответствует представлению сигнала, у которого уже «отсутствуют» высокочастотные (возможно, среднечастотные) составляющие – коэффициенты при них если

ненулевые, то малые (сравнимы с погрешностями округлений). Сжатие для F_T – первое (матрицу результата обозначим $F_{T \rightarrow J}$), свойства $F_{T \rightarrow J}$ аналогичны F_J . С учетом того, что сжатие происходит с достаточно высоким качеством (такое предположение делается в силу требования сохранения надежности восприятия СС), ожидаемым результатом является незначительное возмущение значений яркости большинства пикселей изображения. Для $F_{J \rightarrow T}$ очередное сжатие является вторым (матрицу результата обозначим $F_{J \rightarrow T \rightarrow J}$), причем его характеристики с большой вероятностью не будут совпадать с характеристиками первого сжатия, в силу чего результат возмущений значений яркости пикселей $F_{J \rightarrow T}$ при переходе к $F_{J \rightarrow T \rightarrow J}$ в общем случае принципиально предсказать невозможно. Ясно лишь, что эти возмущения должны быть значительнее, чем при переходе от F_T к $F_{T \rightarrow J}$.

Обозначим: $R = \text{abs}(F_T - F_{T \rightarrow J})$ ($\bar{R} = \text{abs}(F_{J \rightarrow T} - F_{J \rightarrow T \rightarrow J})$) — матрицу абсолютных значений разностей элементов F_T и $F_{T \rightarrow J}$ ($F_{J \rightarrow T}$ и $F_{J \rightarrow T \rightarrow J}$). Пусть $M(A)$ – значение, которое встречается среди элементов произвольной матрицы A с максимальной частотой, $\max(A)$ – максимальное значение среди элементов матрицы A . На основании проведенных рассуждений можно предположить, что $\max(R) < \max(\bar{R})$; $M(R) < M(\bar{R})$.

Для практической проверки выдвинутого предположения в среде Matlab был проведен вычислительный эксперимент, в котором участвовало около 800 ЦИ размером 1024×1024 пикселей. С учетом поставленных задач в качестве предмета исследования были выбраны гистограммы значений матриц R, \bar{R} .

Не ограничивая общности рассуждений, для определенности при проведении вычислительных экспериментов на этой стадии в качестве ФБП использовался TIF, а как ФСП – JPEG, основанный на дискретном косинусном преобразовании (хотя в силу вышесказанного мог быть использован любой другой ФСП, что будет подробно рассмотрено ниже).

На первом этапе эксперимента устанавливались характерные особенности возмущений элементов матрицы изображения при переходе от F_T к $F_{T \rightarrow J}$. В результате вычислительного эксперимента было получено, что для различных ЦИ

$$\max(R) \in \{7, 8, 9, \dots, 32\}, \quad (1)$$

$$M(R) \leq 1. \quad (2)$$

Во второй части вычислительного эксперимента устанавливались характерные особенности возмущений элементов матрицы изображения при пере-

ходе от $F_{J \rightarrow T}$ к $F_{J \rightarrow T \rightarrow J}$. В результате вычислительного эксперимента было установлено, что

$$\max(\bar{R}) \in \{36, 37, \dots, 47\} \quad (3)$$

для разных ЦИ. Для всех протестированных ЦИ $M(\bar{R}) > 1$, что соответствует выдвинутому предположению и, с учетом соотношений (1) и (2) позволяет различить ЦИ, первоначально сохраненные в ФБП, и ЦИ, пересохраненные в ФБП после сжатия.

Пусть КсП подвергается СП методом наименьшего значащего бита, при этом стеганопуть [2] формируется случайным образом. Результат работы LSB-метода в соответствии с [11] в матричном виде будем представлять как возмущение ΔF матрицы контейнера F_J , т.е.

$$\bar{F}_J = F_J + \Delta F, \quad (4)$$

где \bar{F}_J – матрица СС, при этом матрица возмущения ΔF имеет элементы, значения которых принадлежат множеству $\{-1, 0, 1\}$. При погружении ДИ в дальнейшем будем учитывать лишь те ее биты, которые вызывают возмущение соответствующих пикселей ОС. Так, будем говорить, что объем погруженной информации (ОПИ) составляет, например, 10%, если при погружении этой ДИ десятая часть общего числа пикселей контейнера претерпела возмущения. СС сохраняется в ФБП (результатирующая матрица – $\bar{F}_{J \rightarrow T}$). Как показал проведенный вычислительный эксперимент, в котором ОПИ изменялся от 10% до 50% с шагом 10%, полученные СС $\bar{F}_{J \rightarrow T}$ ведут себя аналогично $F_{J \rightarrow T}$: после последующего пересохранения СС в ФСП (результатирующую матрицу обозначим $\bar{F}_{J \rightarrow T \rightarrow J}$), гистограммы значений элементов матриц $\bar{R} = \text{abs}(\bar{F}_{J \rightarrow T} - \bar{F}_{J \rightarrow T \rightarrow J})$ качественно практически не отличаются от гистограмм матриц \bar{R} , а также между собой, несмотря на различие в ОПИ. Теоретически такой результат был ожидаемым: возмущение матрицы ОС F_J за счет СП, которое изменит значения яркости определенной части пикселей лишь на 1, является незначительным. В представлении сигнала ОС F_J коэффициенты при высоких (и возможно некоторых средних) частотах 8×8 -блоков матрицы были малы (сравнимы с нулем), что, учитывая связь между частотным спектром произвольной матрицы и ее сингулярными тройками [12], приводит к сравнимости с нулем наименьших сингулярных чисел блоков матрицы. СНЧ произвольной матрицы являются нечувствительными к возмущающим воздействиям, или хорошо обусловленными [9], что приведет к их незначительному возмущению при СП, т.е. оставит их значения сравнимыми

с нулем, что, в свою очередь, оставит сравнимыми с нулем коэффициенты при высоких (и возможно некоторых средних) частотах блоков матрицы \bar{F}_J , а значит и $\bar{F}_{J \rightarrow T}$. Потому при пересохранении в ФСП $\bar{F}_{J \rightarrow T}$ качественно ведет себя практически также, как ЦИ, представлением которого является матрица $F_{J \rightarrow T}$.

В соответствии с ОПАИС о состоянии и изменении состояния КсП в связи с его СП можно судить по характерным свойствам сингулярных чисел (СНЧ) и сингулярных векторов (СНВ) соответствующей матрицы ЦИ. В связи с тем, что реакция СНВ на возмущающие воздействия различна, а в некоторых случаях – непредсказуема [9], анализ состояния контейнера (или СС) целесообразности свести к анализу только СНЧ.

Рассмотрим более подробно процесс восстановления ЦИ после сжатия (с потерями). Последний шаг восстановления возвращает ЦИ из частотной в пространственную область. При этом коэффициенты получаемой матрицы будут иметь вещественные значения, которые могут выходить за границы множества $[0, 255]$. Результат восстановления на этой стадии назовем частичным (ЧВ). Окончательное, или полное, восстановление (ПВ) ЦИ будет получено после округления значений яркости до целых и введения их в границы $0 \dots 255$.

Квантование коэффициентов является необратимой процедурой и приводит к некоторым закономерным особенностям СНЧ 8×8 -блоков, полученных после предварительного стандартного разбиения матрицы ЦИ. Везде ниже полагаем, что СНЧ упорядочены по убыванию, т.е. $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_8 \geq 0$. Для $n \times m$ -матрицы F назовем матрицей нулевых СНЧ блоков (МНСЧБ) $\left[\frac{n}{8} \right] \times \left[\frac{m}{8} \right]$ -матрицу (где $[\bullet]$ – целая часть аргумента), каждый элемент которой равен количеству нулей в сингулярном спектре одноименного блока F . Для ЦИ, хранимого в ФБП, в среднем более 97% элементов МНСЧБ равны 0 [11], при ЧВ квантованного ЦИ у соответствующей МНСЧБ в среднем менее 5% являются нулевыми [11]. При ПВ подавляющее большинство нулевых СНЧ блоков матрицы частично восстановленного ЦИ станут ненулями, что сделает МНСЧБ для ПВ ЦИ подобной МНСЧБ ЦИ, хранимого в ФБП, но значения этих наименьших СНЧ первого будут сравнимы с погрешностью округления и друг с другом, что не характерно для блоков ЦИ, хранимого в ФБП [11]. Кроме того, характер поведения наименьших СНЧ ПВ изображений (бывших нулями при ЧВ) качественно отличается от характера СНЧ с теми же номерами для блоков изображений, хранимых без потерь: скорость их изменения значительно меньше. Это дает возможность предвидеть качественные изменения свойств СНЧ КсП в ходе СП: с увеличением ОПИ характер поведения СНЧ блоков СС, должен все больше «напоминать» характер СНЧ

для ЦИ, хранимого в ФБП, в частности, ожидаемым является увеличение скорости изменения наименьших СНЧ с ростом ОПИ, что подтверждается результатами вычислительного эксперимента: для подавляющего большинства блоков ЦИ абсолютное значение углового коэффициента прямой, интерполирующей σ_7, σ_8 , после СП даже с минимальным рассматриваемым ОПИ, равным 10%, возрастает. Результатом этого будет увеличение количества блоков матрицы СС, в которых скорость изменения наименьших СНЧ будет больше некоторого числового порога k , по сравнению с ОС. Для оценки этого порога в качестве предмета исследования рассматривались гистограммы значений скорости изменения минимальных СНЧ (ГМСЧ) блоков ОС и СС, полученных LSB-методом с разными ОПИ, результат работы которого представлялся в соответствии с (4). В ходе эксперимента, в котором участвовало 450 ЦИ, было установлено, что, как и ожидалось, аргумент, в котором достигается максимум гистограммы, монотонно увеличивается с увеличением ОПИ, при этом для исходного КсП пик ГМСЧ достигается в аргументе, меньшем 0.5. Такая картина наблюдается для большинства протестированных ЦИ, поэтому для предлагаемого СА алгоритма, основные шаги которого представлены ниже, в качестве порогового значения используется $k = 0.5$.

Стеганоаналитический алгоритм детектирования секретного сообщения, погруженного LSB-методом в КсП (h – шаг ГМСЧ)

Шаг 1. Тестируемое ЦИ в ФБП с матрицей F_{test} пересохранить в ФСП. Полученное в результате изображение с матрицей $F_{test \rightarrow J}$.

Шаг 2. Построить матрицу $R_{test} = abs(F_{test} - F_{test \rightarrow J})$.

Шаг 3. Построить гистограмму значений элементов R_{test} . Определить $M(R_{test})$ и $\max(R_{test})$

Если $M(R_{test}) < 2$ & $\max(R_{test}) < 33$

то F_{test} не может отвечать СС, построенному на основании КсП

иначе

Шаг 3.1. Построить ГМСЧ для F_{test}

Шаг 3.2. Определить номер N столбца ГМСЧ, в котором достигается максимум

Если $N < \frac{k}{h}$

то F_{test} отвечает ЦИ, не подвергшемуся СП

иначе F_{test} отвечает СС

Для апробации разработанного алгоритма в среде Matlab был проведен вычислительный эксперимент для более 800 различных изображений, первоначально хранимых в различных форматах с потерями, в качестве которых использовались JPEG (основанный на дискретном косинусном преобразовании), JPEG2000 (основанный на вейвлет-преобразовании) [10], сжатие, основанное на использовании аппроксимаций блоков ранга r матрицы изображения (МАБ), не являющееся стандартом, но часто используемое при решении различных прикладных задач [13, 14], каждое из которых подвергалось в процессе эксперимента СП с различными ОПИ. Использование большего количества вариантов ФСП для КсП вызывает значительные затруднения в силу отсутствия их стандартов в свободном доступе.

Пересохранение в ФСП на шаге 1 разработанного алгоритма для определенности и единообразия везде проводилось в JPEG в среде Adobe Photoshop с коэффициентом качества $Q = 10$. Результаты тестирования работы алгоритма представлены в таблице ниже.

При организации вычислительного эксперимента для получения КсП в формате JPEG2000 ЦИ в ФБП были пересохранены в JPEG2000 в Adobe Photoshop с коэффициентами качества $Q = 8, Q = 9$ (такие коэффициенты были выбраны как качественные аналоги коэффициента $Q = 10$ для JPEG, основанном на дискретном косинусном преобразовании. Аналогия устанавливалась путем субъективного ранжирования). Аналогичным образом выбирался ранг аппроксимации в МАБ.

Результаты работы стеганоаналитического алгоритма для различных форматов с потерями, используемых для хранения контейнера

ФСП, использованные для КсП	Количество выявленных СС относительно общего количества СС (%)				Количество выявленных ОС относи- тельно общего количества ОС (%)
	ОПИ				
	30%	40%	50%	>50%	
JPEG	69	91	98	≥98	97
JPEG2000 ($Q = 8$)	67	92	96	≥96	98
JPEG2000 ($Q = 9$)	70	92	98	≥98	98
МАБ ($r = 4$)	90	95	99	≥99	99.5
МАБ ($r = 5$)	90	94	98	≥98	99.5

Поскольку, как правило, при использовании LSB-метода на практике ОПИ достаточно большой (50%–100%) [2], то полученные в ходе эксперимента результаты говорят о высокой эффективности разработанного стеганоаналитического алгоритма в условиях применения LSB-метода к КСП.

Заметим, что несколько бóльшая эффективность разработанного СА алгоритма в случае МАБ очевидно объясняется тем, что здесь сжатие осуществлялось непосредственно за счет обнуления наименьших СЧЧ блоков матрицы ЦИ, которые затем и анализировались в процессе СА.

Заключение. На основе МПСА в работе разработан эффективный в условиях применения LSB-алгоритма СА алгоритм для КСП. Проведенный анализ и полученные результаты позволяют надеяться на успешную адаптацию данного алгоритма для детектирования работы стеганографических методов, отличных от LSB, на что и направлены в настоящий момент усилия автора.

Список литературы: 1. *Хорошко В. А.* Методы и средства защиты информации / *В. А. Хорошко, А.А. Чекатков.* – К. : Юниор, 2003. – 501 с. 2. *Грибунин В. Г.* Цифровая стеганография / *В. Г. Грибунин, И. Н. Оков, И. В. Турицева.* – М. : Солон-Пресс, 2002. – 272 с. 3. *G. Gul, F. Kurugollu.* SVD-Based Universal Spatial Domain Image Steganalysis / *IEEE Transactions on Information Forensics and Security.* – 2010. – Vol. 5, No. 2. – P. 349–353. 4. *G. Gul, A. E. Dirik, I. Avcibas.* Steganalytic features for JPEG compression based perturbed quantization / *IEEE Signal Process. Lett.* – 2007. – Vol. 14, No. 3. – P. 205–208. 5. *S. Lyu, H. Farid.* Detecting hidden messages using higher-order statistics and support vector machines / *Lecture Notes in Computer Science.* New York. – 2002. – Vol. 2578. – P. 340–354. 6. *I. Avcibas, M. Kharrazi, N. Memon,* and etc. Image steganalysis with binary similarity measures / *EURASIP J. Appl. Signal Process.* – 2005. – Vol.7. – pp. 2749–2757. 7. *Бобок И. И., Кобозева А. А.* Стеганоанализ как частный случай анализа информационной системы / *Сучасна спеціальна техніка.* – 2011. – № 2. – С. 21–34. 8. *Бобок И. И., Кобозева А. А.* Общий стеганоаналитический подход, основанный на матричном анализе / *Вісник Національного технічного ун-ту «ХПІ».* Збірник наукових праць. Тематичний випуск «Системний аналіз, управління та інформаційні технології». – 2011. – № 35. – С. 12–20. 9. *Кобозева А. А.* Анализ информационной безопасности / *А. А. Кобозева, В. А. Хорошко.* – К. : ГУИКТ, 2009. – 251 с. 10. *Гонсалес Р.* Цифровая обработка изображений / *Р. Гонсалес, Р. Вудс;* пер. с англ. под ред. *П. А. Чочиа.* – М. : Техносфера, 2005. – 1072 с. 11. *Кобозева А. А.* Анализ защищенности информационных систем / *А. А. Кобозева, И. О. Мачалин, В. О. Хорошко.* – К. : ДУИКТ, 2010. – 316 с. 12. *Кобозева А. А.* Связь свойств стеганографического алгоритма и используемой им области контейнера для погружения секретной информации / *Искусственный интеллект.* – 2007. – № 4. – С. 531–538. 13. *Деммель Дж.* Вычислительная линейная алгебра / *Дж. Деммель;* пер.с англ. *Х. Д. Икрамова.* – М. : Мир, 2001. – 430 с. 14. *Каханер Д.* Численные методы и программное обеспечение / *Д. Каханер, К. Моулер, С. Нэш;* пер. с англ. *Х. Д. Икрамова.* – М. : Мир, 2001. – 575 с.

Надійшла до редколегії 26.12.2011

УДК 519.24

А. А. ПАВЛОВ, д-р техн. наук, проф., декан факультета информатики и вычислительной техники НТУУ «КПИ», Киев;

А. В. ЧЕХОВСКИЙ, студент НТУУ «КПИ», Киев

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ МНОГОМЕРНОЙ ПОЛИНОМИАЛЬНОЙ РЕГРЕССИИ ПО ИЗБЫТОЧНОМУ ОПИСАНИЮ

У статті наводиться ефективний алгоритм відновлення багатовимірної поліноміальної регресії за надлишковим описом, що не приводить до послідовного накопичення помилок.

В статье приводится эффективный алгоритм восстановления многомерной полиномиальной регрессии по избыточному описанию не приводящий к последовательному накоплению ошибок.

The paper presents an efficient algorithm for reconstructing multivariate polynomial regression on excessive description that does not lead to a successive accumulation of errors.

В [1] приведен метод построения многомерной полиномиальной регрессии по избыточному описанию в условиях активного эксперимента. Метод реализует минимально необходимое число экспериментов (в схеме с фиксацией значений всех переменных кроме одной), но может приводить к существенному увеличению ошибок оценок неизвестных коэффициентов регрессии в результате решения последовательно конструируемых систем линейных равенств в следствие многократного использования в этих равенствах ранее найденных оценок коэффициентов регрессии. Этот эффект наиболее часто наблюдается в задачах большой размерности. Рассмотрим модификацию изложенного в [1] метода, которая исключает последовательное накопление ошибок оценок коэффициентов многомерной полиномиальной регрессии.

Возможность для одномерного случая практически гарантированно находить степень полинома линии регрессии, вычислять с допустимой вероятностью с заданной погрешностью коэффициенты этого полинома [1] позволяет предложить достаточно эффективную процедуру восстановления многомерной полиномиальной линии регрессии (при условии реализации активного эксперимента).

Пусть многомерная модель задается в виде

$$y(\bar{x}) = \sum_{\forall (i_1, \dots, i_n) \in \mathbb{K}} \sum_{\forall (j_1, \dots, j_n) \in \mathbb{K}(i_1, \dots, i_n)} b_{i_1, \dots, i_n}^{j_1, \dots, j_n} (x_{i_1})^{j_1} \cdot (x_{i_2})^{j_2} \dots (x_{i_n})^{j_n} + E, \quad (1)$$

где $\bar{x} = (x_1 \dots x_n)^T$ – детерминированный вектор входных переменных;
 x_i – i -тая компонента вектора \bar{x} ;

$b_{i_1, \dots, i_l}^{j_1, \dots, j_l}$ – неизвестные коэффициенты;

j_l – натуральные числа;

i_l – натуральные индексы из множества $\{1, \dots, n\}$;

E – случайная величина с нулевым математическим ожиданием и ограниченной неизвестной дисперсией σ_E^2 (как и в одномерном случае может быть известна верхняя оценка σ_E^2).

Модель (1) является избыточной – возможно, некоторые из коэффициентов $b_{i_1, \dots, i_l}^{j_1, \dots, j_l}$ равны нулю. Для удобства дальнейшего изложения линию регрессии модели (1) представим иначе:

$$\sum_{l=1}^n \sum_{\forall (i_1, \dots, i_l) \in K_l} \sum_{\forall (j_1, \dots, j_l) \in K_l(i_1, \dots, i_l)} b_{i_1, \dots, i_l}^{j_1, \dots, j_l} (x_{i_1})^{j_1} \cdot (x_{i_2})^{j_2} \dots (x_{i_l})^{j_l}. \quad (2)$$

Составляющие

$$\sum_{\forall (i_1, \dots, i_l) \in K_l} \sum_{\forall (j_1, \dots, j_l) \in K_l(i_1, \dots, i_l)} b_{i_1, \dots, i_l}^{j_1, \dots, j_l} (x_{i_1})^{j_1} \cdot (x_{i_2})^{j_2} \dots (x_{i_l})^{j_l} \quad (3)$$

содержат все слагаемые из (1), в каждую из которых входит компонента x_1 .

Составляющие

$$\sum_{\forall (i_1, \dots, i_l) \in K_l} \sum_{\forall (j_1, \dots, j_l) \in K_l(i_1, \dots, i_l)} b_{i_1, \dots, i_l}^{j_1, \dots, j_l} (x_{i_1})^{j_1} \cdot (x_{i_2})^{j_2} \dots (x_{i_l})^{j_l}, l = \overline{2, n}, \quad (4)$$

содержат все слагаемые из (1), в каждую из которых входит компонента x_1 ,

Рассмотрим составляющую (3). Обозначим через $M_j^1, j = \overline{1, n_1}$, количество слагаемых, каждая из которых содержит x_1 в j -й степени; $M^1 = \max_j M_j^1, j = \overline{1, n_1}$, n_1 – максимальная степень полинома от переменной x_1 .

Фиксируем M^1 наборов значений компонент $x_2^s, \dots, x_n^s, s = \overline{1, M^1}$. На числа $x_i^s, i = \overline{2, n}, s = \overline{1, M^1}$, накладывается единственное условие – определенные ниже квадратные матрицы должны быть невырожденными.

Реализуем M^1 экспериментов, в каждом из которых (s -м, $s = \overline{1, M^1}$) переменные x_2, \dots, x_n принимают фиксированные значения $x_i^s (i = \overline{2, n})$, а переменная x_1 изменяется как при построении одномерной полиномиальной регрессии. При фиксированных значениях переменных x_2, \dots, x_n в s -м экспе-

рименте ($s = \overline{1, M^1}$) многомерная линия регрессии превращается в полином от переменной x_1 степени n_1 .

Для каждого s -го эксперимента ($s = \overline{1, M^1}$) находим значения дисперсий $D\hat{\theta}_j^s, j = \overline{1, n_1}$, и эти числа ранжируем по возрастанию их значений при фиксированном j . Получим n_1 проранжированных последовательностей оценок коэффициентов $\theta_j^{s_1}, \dots, \theta_j^{s_{M^1}} (j = \overline{1, n_1})$.

Эти результаты позволяют сформировать n_1 систем линейных уравнений, решениями которых являются значения всех коэффициентов $b_{i_1, \dots, i_l}^{j_1, \dots, j_l}$ в выражении (3).

Действительно, в каждом из s экспериментов неизвестные коэффициенты $\hat{\theta}_j^s (j = \overline{1, n_1})$ одномерной полиномиальной регрессии степени n_1 от переменной x_1 определяются следующим образом: необходимо из всех членов выражения (содержащих переменную x_1 в степени j) вынести x_1^j . Полученное выражение для θ_j^s содержит только M_j^1 неизвестных коэффициентов вида $b_{i_1, \dots, i_l}^{j_1, \dots, j_l}$, так как в каждом s -м эксперименте при изменении значений переменной x_1 переменные $x_i, i = \overline{2, n}$ принимают одно и то же фиксированное значение $x_i^s, i = \overline{2, n}$. Таким образом, для построения системы линейных уравнений для нахождения M_1^1 коэффициентов вида $b_{i_1, \dots, i_l}^{j_1, \dots, j_l}$ надо использовать M_1^1 чисел $\hat{\theta}_1^{s_1}, \dots, \hat{\theta}_1^{s_{M^1}}$ (они имеют наименьшую дисперсию).

Для определения верхних статистических оценок точности нахождения M_1^1 коэффициента вида $b_{i_1, \dots, i_l}^{j_1, \dots, j_l}$, полученную систему линейных уравнений условно запишем так:

$$A \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_{M_1^1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{\theta}_1^{s_1} \\ \vdots \\ \hat{\theta}_1^{s_{M^1}} \end{pmatrix}, \quad (5)$$

где $x_i, i = \overline{1, M_1^1}$ – переменные (соответствующие M_1^1 переменным вида $b_{i_1, \dots, i_l}^{j_1, \dots, j_l}$).

Пусть оценки $\widehat{\theta}_l^{s_l}, l = \overline{1, M_1^1}$, с заданной статистически значимой вероятностью p оценивают $\theta_l^{s_l}$ с погрешностью, по модулю не превышающей чисел $\Delta_l^{s_l}, l = \overline{1, M_1^1}$. Тогда с вероятностью p максимальная погрешность нахождения точных значений M_1^1 соответствующих коэффициентов вида $b_{i_1, \dots, i_k}^{j_1, \dots, j_k}$ имеет вид

$$\max_{j=1, M_1^1} \left\{ \max \left(\sum_l^{(+)} a_{jl}^{-1} \Delta_l^{s_l}, \sum_l^{(-)} |a_{jl}^{-1}| \Delta_l^{s_l} \right) \right\}, \quad (6)$$

где $\sum_l^{(+)} a_{jl}^{-1} \Delta_l^{s_l}$ берется по всем $l = \overline{1, M_1^1}$, для которых $a_{jl}^{-1} \geq 0$; $\sum_l^{(-)} a_{jl}^{-1} \Delta_l^{s_l}$ берется по всем $l = \overline{1, M_1^1}$, для которых $a_{jl}^{-1} < 0$; $a_{jl}^{-1} - j_l$ -й элемент матрицы A^{-1} .

Как указывалось выше, предполагается, что $x_i^s, i = \overline{2, n}, s = \overline{1, M_1^1}$ выбраны так, что матрица A^{-1} существует.

Для каждой переменной $x_l, l = \overline{2, n}$ нахождение коэффициентов $b_{i_1, \dots, i_k}^{j_1, \dots, j_k}$ в выражениях (4) реализуется точно так же, как это описано для переменной x_1 .

Недостаток модифицированной схемы заключается в увеличении необходимого числа экспериментов, повторной оценке коэффициентов слагаемых, присутствующих в выражениях (4), которые были найдены на предыдущих этапах.

Преимущество заключается в отсутствии последовательного накопления ошибок и появлении косвенного критерия эффективного восстановления многомерной регрессии: практическое совпадение оценок повторяющихся коэффициентов многомерной регрессии в результате решения разных систем линейных равенств.

Изложенные выше методики требуют избыточное число экспериментов для практически точного нахождения коэффициентов в слагаемых полинома вида $a_i x_{i_1} x_{i_2} \dots x_{i_k}$. Так при фиксации значений всех переменных кроме одной получаем слагаемое первой степени относительно скалярной переменной. В этом случае удобен следующий прием:

кладем $x_{i_1} = x_{i_2} \dots x_{i_{k-1}} = x$, а значения x_{i_k} фиксируются; либо $x_{i_1} = x_{i_2} \dots = x_{i_k} = x$. Тогда в одномерных регрессиях соответствующие члены имеют вид $Q_{ke} a_i x^{k-1}$, (Q_{ke} фиксированные числа), либо $a_i x^k$. В этом случае одно и тоже количество экспериментов приводит на порядки более точному нахождению коэффициентов при x^{k-1} либо x^k в одномерных регрессиях и

следовательно решение соответствующих систем линейных равенств приводит к качественно более точным оценкам коэффициентов a_i .

Представление независимых переменных $x_i, i = \overline{1, n}$ в одном из двух приведенных выше видов определяется структурой избыточного полиномиального описания многомерной регрессии и как следствие требованиями к системам линейных равенств для оценки неизвестных коэффициентов линии регрессии. Из анализа решения конкретных примеров следует что приведенный прием может приводить к построению существенно меньшего количества одномерных регрессий.

Список литературы: 1. Згуровский М.З. Принятие решений в сетевых системах с ограниченными ресурсами: Монография / М.З. Згуровский, А.А. Павлов // К.: Наукова думка, 2010. – 574 с.

Надійшла до редколегії 01.02.2012

УДК 519.2

В. А. ШЕХОВЦОВ, канд. техн. наук, НТУ «ХПИ»;
М. Д. ГОДЛЕВСКИЙ, д-р. техн. наук, НТУ «ХПИ»;
И. Л. БРАГИНСКИЙ, аспирант, НТУ «ХПИ»

ВЕРБАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Модель зрілості програмного забезпечення є одним із основних понять, які пов'язані з покращенням процесу розробки програмного забезпечення. Вона реалізована як опис просування організації до бажаного рівня реалізації процесу розробки, заданий як сукупність послідовних етапів (які треба виконати) або рівнів (яких треба досягти). У цій роботі розглянуто питання вербального опису основних понять моделей зрілості програмного забезпечення, спираючись на інформацію, що доступна із практики.

Модель зрелости программного обеспечения является одним из основных понятий, связанных с улучшением процесса разработки программного обеспечения. Она представляет собой описание продвижения организации к желаемому уровню реализации процесса разработки, заданное в виде нескольких последовательных этапов (которые нужно выполнить) или уровней (которых нужно достичь). В данной работе рассмотрен вопрос вербального описания основных понятий моделей зрелости программного обеспечения, опираясь на информацию, доступную из практики.

Software maturity model is a main concept, related to software process improvement. It is a description of the ideal movement of the organization (or its branch) towards the desired level of implementation of the software process, defined as the sequence of consequent stages (which must be implemented) or levels (which must be reached), together with the means of assessment of the completeness of the implementation of the described stages or compliance to the described levels. In this paper, we

investigate the issue of creating the practice-based verbal description of the main concepts related to software maturity models.

1. Введение. Модель зрелости является одним из основных понятий, связанных с улучшением процесса разработки программного обеспечения (ПРПО) [1, 2]. Учитывая, что данное понятие фактически описывает некоторый метод или технологию, в дальнейшем, следуя [3], будем говорить о технологии «модель зрелости» (ТМЗ).

ТМЗ представляет собой описание идеального продвижения организации (или отдельного подразделения) к желаемому уровню реализации процесса разработки, заданное в виде нескольких последовательных этапов (которые нужно выполнить) или уровней (которых нужно достичь), дополненное средствами оценивания полноты выполнения описанных этапов или соответствия процесса организации описанным уровням. Такая модель позволяет организации оценить свою реализацию процесса разработки путем ее сравнения с лучшими вариантами (или с вариантами конкурентов). Цель такого сравнения – сформировать структурированный план улучшения ПРПО.

В данной работе мы остановимся на вопросе вербального описания ТМЗ, опираясь на информацию, доступную из практики.

Работа имеет следующую структуру. В разделе 2 рассмотрено вербальное описание основных компонентов ТМЗ. В разделе 3 приведено вербальное описание уровней улучшения процесса разработки, в частности, дано определение уровней возможностей и уровней зрелости. Раздел 4 посвящен описанию связи между дискретным и непрерывным представлением модели зрелости. В конце работы приведены выводы и план дальнейших исследований.

2. Основные компоненты моделей зрелости. Начнем изложение данного материала с описания структуры фокусной области. Под фокусной областью понимается совокупность объединенных по смыслу практик в некоторой области деятельности, связанной с разработкой программного обеспечения, и целей, важных для улучшения процесса разработки в данной области, которые можно достичь при условии совместной реализации этих практик. В данной работе в качестве примера мы будем рассматривать фокусную область «разработка требований» модели зрелости СММД (Requirements Development, RD) [4].

Для каждой фокусной области задается набор связанных с ней областей (related process areas). При этом число таких областей не ограничивается. Как результат, можно говорить о сети фокусных областей.

Теперь рассмотрим две важнейшие категории компонентов фокусных областей: частные цели и практики.

Частные цели (Specific Goals) задают уникальные целевые характеристики, достижение которых является необходимым для реализации

определенной фокусной области. Набор таких целей однозначно связывается с фокусной областью. В частности, для области RD такими частными целями будут: «разработать пользовательские требования» (SG 1), «разработать требования к продукту» (SG 2), «провести анализ и валидацию требований» (SG 3).

Частные практики (Specific Practices) описывают действия, которые считаются важными для достижения связанной с ними частной цели (для каждой частной цели задается набор частных практик). В частности, для области RD для частной цели SG 1 частными практиками будут «выявить нужды пользователей» (SP 1.1) и «преобразовать нужды пользователей в пользовательские требования» (SP 1.2).

Помимо частных целей и практик, которые задаются для отдельных фокусных областей, в моделях зрелости также выделяются общие цели и практики.

Общие цели (Generic Goals) называются так потому, что определение такой цели относится к нескольким фокусным областям. Общие цели относятся к характеристикам, которыми должен обладать процесс, реализующий фокусные области, например «внедрить процесс Р как управляемый (managed) процесс» (цель GG 2). Такие цели задаются отдельно от фокусных областей.

Общие практики (Generic Practices) описывают действия, важные для достижения общей цели. Для каждой общей цели определяется набор таких общих практик. Например, для общей цели «внедрить процесс как управляемый» определены такие общие практики, как «определить политику организации» (GP 2.1) или «задать план внедрения процесса» (GP 2.2). Для каждой такой практики задается набор руководств к реализации (generic practice elaborations), которые описывают особенности применения данной практики к различным фокусным областям.

Далее мы остановимся на структуре отдельной практики.

Для каждой практики может быть выделен набор подпрактик (subpractices) – детальных описаний действий, выполняемых в ходе выполнения практики. Такие подпрактики являются информативными компонентами модели, т.е. их набор служит средством документирования некоторой практики (каждая подпрактика описывается более детально по сравнению с общей практикой), а не обязательным руководством к исполнению. Например, для практики SP 1.2 «преобразовать нужды пользователей в пользовательские требования» в качестве подпрактик описываются такие действия, как «преобразовать нужды, ожидания, ограничения и интерфейсы заинтересованных лиц в документированные пользовательские требования» (подпрактика 1), «задать и поддерживать набор приоритетов для пользовательских требований» (подпрактика 2), «определить ограничения для верификации и валидации требований» (подпрактика 3).

Кроме того, с каждой практикой связывается описание набора рабочих продуктов, которые должны быть получены в результате ее выполнения. В частности, для практики SP 1.2 такими рабочими продуктами являются пользовательские требования с приоритетами, ограничения для проведения верификации и валидации требований и т.д.

3. Уровни улучшения процесса разработки. Уровни улучшения описывают путь улучшения процесса разработки для организации и могут являться результатом оценивания организации на соответствие модели зрелости.

В работе [3] мы отмечали, что существующие модели зрелости (в частности, CMMI) поддерживают два основных подхода к реализации уровней улучшения процесса разработки (непрерывное и дискретное представление). В данном разделе мы рассмотрим этот вопрос более детально.

При непрерывном представлении модели зрелости есть возможность поэтапно улучшать процессы, относящиеся к отдельно взятой фокусной области (или группе таких областей). При дискретном представлении есть возможность улучшать набор взаимосвязанных процессов путем поэтапного улучшения последовательно расширяющихся наборов фокусных областей.

Два этих подхода связаны с двумя типами уровней улучшения процесса разработки: уровнями возможностей (capability levels), которые задаются для непрерывного представления и уровнями зрелости (maturity levels), которые задаются для дискретного представления. Отметим, что для достижения конкретного уровня организация в любом случае обязана удовлетворить всем целям фокусной области или набора фокусных областей, которые были намечены для улучшения.

Основное отличие между подходами заключается в том, что дискретное представление использует уровни зрелости для описания общего уровня процессов организации, взятой в целом, в то время как непрерывное представление использует уровни возможностей для описания состояния процессов организации относительно отдельной фокусной области.

Уровни возможностей применяются для измерения достижений организации по улучшению положения вещей в отдельных фокусных областях (фактически они оценивают качество отдельных процессов).

Выделяют 4 уровня возможностей (от 0 до 3).

0. Неполный. Такой процесс или не выполняется вовсе или не позволяет достичь некоторых частных целей своей фокусной области.

1. Выполняемый. Такой процесс выполняет необходимую работу, производит рабочие продукты, позволяет достичь соответствующих частных целей фокусной области.

2. Управляемый. Это выполняемый процесс, который планируется и выполняется в соответствии с некоторой политикой организации. Для него проводится мониторинг и проверка на соответствие документации.

3. Определенный. Это управляемый процесс, который задан в соответствии со стандартом, определенным для организации.

Если все процессы для фокусной области соответствуют некоторому уровню возможностей, то говорят о достижении такого уровня для всей фокусной области, т.е. фактически уровень возможностей фокусной области соответствует минимальному уровню возможностей ее практик.

Для поддержки дискретного представления используются *уровни зрелости*. Такой уровень состоит из связанных частных и общих практик для предопределенного набора фокусных областей.

Уровни зрелости применяются для измерения достижений организации по улучшению ее процесса разработки в целом – через границы фокусных областей. Фактически каждый такой уровень оценивает улучшение работы всей организации в рамках заданного для него набора фокусных областей.

Уровень зрелости организации характеризует ее производительность в целом. Представляется целесообразным организовывать улучшение процесса разработки в организациях путем выделения некоторого подмножества фокусных областей за один раз (при этом сложность фокусных областей выделяемых наборов со временем повышается).

Уровень зрелости задает некоторое подмножество процессов организации, которые необходимо улучшить для достижения этого уровня. Улучшение определяется как достижение частных и общих целей набора фокусных областей, связанных с данным уровнем. Переход на последующие уровни невозможен без достижения предыдущих.

Выделяют пять уровней зрелости, заданных номерами с 1 по 5.

1. Начальный. Процессы в организации фактически не поддерживаются.

2. Управляемый. Процессы планируются и выполняются в соответствии с политикой организации.

3. Определенный. Процессы определяются на основе стандартов организации.

4. Количественно управляемый. В организации определены количественные оценки для процессов, которые используются как критерии для управления проектами.

5. Оптимизированный. Организация поддерживает постоянное улучшение своих процессов (не только отдельных проектов) на основе интегральной количественной информации по своей производительности.

4. Фокусные области и представления моделей зрелости. Непрерывное представление позволяет организации выбрать направление усилий по улучшению процесса разработки путем выбора тех фокусных областей или наборов взаимосвязанных областей, которые она посчитает удобным. После выбора областей нужно выбрать уровень возможностей, которого мы планируем достичь (он может быть разным для разных областей). После достижения некоторого уровня можно продолжить улучшать данный набор областей или расширить набор за счет новых областей.

Такой набор фокусных областей и уровней возможностей называют *целевым профайлом* [4]. В нем задаются все области, с которыми планируется работать и уровни, которых нужно достичь для каждой области.

Дискретное представление предоставляет путь к улучшению от уровня зрелости 1 до уровня 5, который включает в себя достижение целей фокусных областей на каждом уровне. Модель зрелости задает уровни зрелости, к которым относится каждая фокусная область. Переход к следующему уровню зрелости производится по достижению всех целей всех областей, относящихся к текущему уровню.

Рассмотрим связь между непрерывным и дискретным представлением модели зрелости.

Для оценивания организации на основе непрерывного представления используется понятие эквивалентного задания уровней (*equivalent staging*). В данном случае достигнутые уровни возможностей для набора фокусных областей преобразуются в оценку уровня зрелости. Для этого используются следующие правила [5].

1. Для достижения уровня зрелости 2, все фокусные области, относящиеся к уровню зрелости 2, обязаны достичь уровня возможностей 2 или 3.

2. Для достижения уровня зрелости 3, все фокусные области, относящиеся к уровням зрелости 2 и 3, обязаны достичь уровня возможностей 3.

3. Для достижения уровня зрелости 4, все фокусные области, относящиеся к уровням зрелости 2, 3 и 4, обязаны достичь уровня возможностей 3.

4. Для достижения уровня зрелости 5, все фокусные области обязаны достичь уровня возможностей 3.

5. Выводы и перспективы дальнейшей работы. В ходе выполнения данной работы проведено вербальное описание моделей зрелости, использующихся при улучшении качества процесса разработки программного обеспечения.

Планируется реализовать данное вербальное описание в виде набора формальных моделей и информационной технологии управления качеством процесса разработки программного обеспечения.

Список литературы: 1. *Persse J. R. Process Improvement Essentials / J. R. Persse.* – O'Reilly. – 2006. 2. *Mutafelija, B. Process improvement with CMMI v1.2 and ISO standards / B. Mutafelija.* – Auerbach Pubs. – 2009. 3. *Шеховцов В. А.* Оценка и управление качеством процесса разработки программного обеспечения на основе моделей зрелости / *В. А. Шеховцов, М. Д. Годлевский, И. Л. Брагинский // Восточно-Украинский журнал передовых технологий, 2011.* – № 5/2 (53). – С. 22–27. 4. *Chrissis M. B. CMMI: Guidelines for Process Integration and Product Improvement / M. B. Chrissis, M. Konrad.* – Addison-Wesley. – 2003. – 688 p. 5. *van Steenberg M.* The Design of Focus Area Maturity Models / *M. van Steenberg, R. Bos, S. Brinkkemper, et al.* – 2010.

Надійшла до редколегії 01.03.2012

К. В. МЕЛЬНИК, ассистент НТУ «ХПИ»;

А. Е. ГОЛОСКОКОВ, канд. техн. наук, профессор НТУ «ХПИ»

АНАЛИЗ ДАННЫХ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ В ЛЕЧЕБНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКОМ УЧРЕЖДЕНИИ

Виконаний огляд і класифікація медичних інформаційних систем для лікувально-профілактичних установ. Наводиться огляд джерел медичної інформації. Складена модель ключових бізнес-процесів типового медичного закладу.

Выполнен обзор и классификация медицинских информационных систем для лечебно-профилактических учреждений. Приводится обзор источников медицинской информации. Составлена модель ключевых бизнес-процессов типового медицинского учреждения.

A review and classification of medical information systems for health care institutions are performed. The review of sources of medical information is completed. The model of key business processes of typical medical institution is provided.

Введение. Система здравоохранения – это совокупность государственных и общественных мер по организации медицинской помощи, предупреждению заболеваний, повышению уровня здоровья населения [1]. Развитие системы здравоохранения и выход Украины на европейский уровень в медицине происходит достаточно медленно, чему способствует целый ряд проблем [2]. Основными проблемами являются недостаточное финансирование здравоохранения, ухудшающаяся экологическая обстановка и низкая эффективность процессов принятия медицинских решений.

Многие авторы уделяют внимание различным задачам, связанным с усовершенствованием системы здравоохранения. Например, вопросам реструктуризации и финансирования посвящены работы [3–6], проблемы экологической обстановки и ее влияние на здоровье нации отражены в [7, 8], вопросы информатизации медицинской сферы рассматриваются в [9–13]. Анализ показывает, что повышение эффективности системы здравоохранения связано с разработкой, внедрением и использованием прогрессивных информационных технологий.

Медицинская информационная система (МИС) – совокупность программно-технических средств, баз данных (БД) и знаний, предназначенных для автоматизации различных процессов, протекающих в системе здравоохранения.

Целями внедрения и использования МИС являются:

- Повышение качества медицинской помощи за счет повышения продуктивности лечения и минимизации затраченного времени.

- Сокращение сроков обследования и лечения пациентов за счет оперативности получения результатов анализов из лаборатории; возможности он-лайн доступа к анамнезу пациента, записанному в карточке больного, к реестру лекарственных средств.
- Создание единого информационного пространства в медицинском учреждении.
- Повышение эффективности принимаемых управленческих решений.

Существует множество успешных решений в области создания МИС, например, «Ариадна» [10], «ArchiMed+» [9], «Diagnos.ru» [11], «MGERM» [12] и др. Как показывает практика, МИС охватывают большой круг задач от постановки диагноза до управления в медицинском учреждении. Проведенный анализ позволяет выделить следующие основные классы МИС.

1 МИС базового уровня, основная цель которых – компьютерная поддержка работы врачей разных специальностей. К ним относятся:

- информационно-справочные системы (предназначены для поиска и выдачи медицинской информации по запросу пользователя);
- консультативно-диагностические системы (для диагностики патологических состояний, включая прогноз и выработку рекомендаций по способам лечения, при заболеваниях различного профиля);
- приборно-компьютерные системы (для информационной поддержки при принятии диагностических и тактических врачебных решений).

2 МИС уровня медицинского учреждения:

- Информационные системы консультативных центров и лечебно-профилактических учреждений (основаны на объединении всех информационных потоков в единую систему и обеспечивают автоматизацию различных видов деятельности учреждения, предназначены для обеспечения функционирования соответствующих подразделений и информационной поддержки врачей при консультировании, диагностике и принятии решений при неотложных состояниях).
- Банки информации медицинских служб (содержат сводные данные о качественном и количественном составе работников учреждения, прикрепленного населения, основные статистические сведения, характеристики районов обслуживания и другие необходимые сведения).
- Скрининговые системы (для организации профилактического осмотра населения, а также для выявления групп риска и больных, нуждающихся в помощи специалиста).
- Информационные системы НИИ и медицинских вузов (объединяют информатизацию технологического процесса обучения, научно-

исследовательской работы и управленческой деятельности НИИ и вузов).

3 МИС органов управления (предназначены для информационной поддержки государственного уровня системы здравоохранения):

- МИС территориального органа здравоохранения;
- МИС для решения медико-технологических задач, которые обеспечивают информационной поддержкой деятельность медицинских работников специализированных медицинских служб;
- компьютерные телекоммуникационные медицинские сети, обеспечивающие создание единого информационного пространства.

Независимо от типа МИС, ее функциональности и целей создания, одним из основных ее блоков является БД. МИС характеризуется большим числом разнородных неструктурированных источников данных, например, результаты анализов, диагностические исследования, истории болезни, условия жизни пациента и т.д. С другой стороны, информация, содержащаяся в БД, является основой для решения медицинских задач (постановка диагноза, прогноз состояния пациента, выбор лекарственных препаратов и т.д.). Поэтому задача формализации данных в МИС является актуальной.

Целью данного исследования является анализ потоков данных в медицинском учреждении, что позволит повысить эффективность работы лечебно-профилактического учреждения.

Анализ источников данных в МИС. Данные, необходимые для принятия решений в лечебно-профилактическом учреждении (ЛПУ), хранятся в БД. В зависимости от целей, задач, решаемых ЛПУ, источников данных, структура МИС может отличаться у различных ЛПУ. Поэтому в качестве примера медицинского учреждения можно рассмотреть типовую районную поликлинику. Главной задачей поликлиники является оказание амбулаторно-поликлинической помощи прикрепленному населению района, которая подразумевает под собой комплекс следующих задач:

- проведение консультативных приемов с врачами-специалистами;
- оказание специализированной медицинской помощи;
- проведение лечебно-диагностических мероприятий;
- планирование и проведение мероприятий, направленных на профилактику, снижение общей и детской заболеваемости, заболеваемости с временной утратой трудоспособности и инвалидизации населения;
- проведение диспансеризации населения;
- проведение скрининговых мероприятий для выявления отдельных групп риска заболеваний населения;
- организационно-методическое руководство, координация и контроль деятельности отделений поликлиники, участковых врачей, врачей-специалистов.

Источниками данных для поликлиники (см. рис. 1) являются пациенты и их анамнез; результаты анализов пациентов; информация, содержащаяся в карточках; различные медицинские процедуры, например, флюорография, электрокардиография, рентген; сеть интернет; медицинская литература; непосредственно участковые и семейные врачи, которые вносят в карточку новые данные о пациентах и их семьях, живущих в обслуживаемом районе в связи с различными ситуациями.

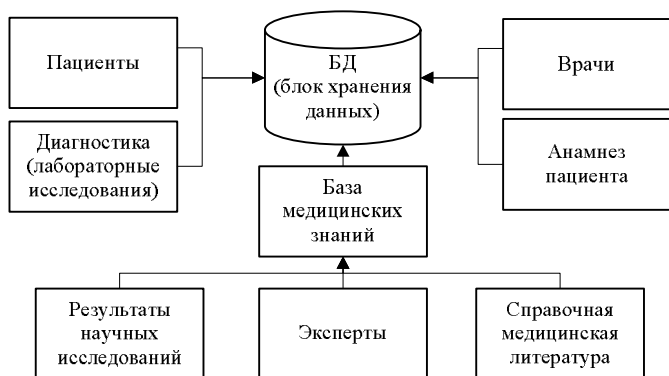


Рис. 1 – Структура источников данных

Источниками информации для базы медицинских знаний являются врачи-эксперты в той или иной области медицинских знаний, специальная справочная медицинская литература, а также результаты научных исследований, имеющих отношение к медицине. При наличии в поликлинике МИС, база знаний (БЗ) может быть подключена к общей информационной системе поликлиники, то есть она является автономным модулем. В противном случае, БЗ – неструктурированное хранилище данных в виде специализированной литературы, которой могут воспользоваться врачи для пополнения своих знаний. Разработка БЗ – отдельное направление исследований, не рассматриваемой в данной работе.

Анализируя перечень источников информации для МИС, а также задачи, стоящие перед районной поликлиникой, можно заключить, что основным источником данных для рассматриваемого медицинского учреждения является пациент с его характеристиками.

Процесс предоставления амбулаторно-поликлинической помощи пациенту можно представить в виде DFD-диаграммы – диаграммы потоков данных (рис 2). Пациент приходит на первичный осмотр, на котором измеряются основные биометрические показатели, результаты заносятся в карточку. Также больной заполняет анкету, с помощью которой можно выявить вредные привычки, перенесенные заболевания, условия жизни. Например, для выявления у пациентов заболеваний сердечно-сосудистой системы, необхо-

димо заполнить такие данные: пол, возраст, рост, наличие менопаузы (для женщин), наличие сахарного диабета, перенесенная хламидийная инфекция, неблагоприятная наследственность в плане сердечных заболеваний, этническая принадлежность, географический регион проживания, повышенное потребление соли, наличие ожирения, злоупотребление алкоголем, отсутствие или низкая физическая активность, наличие стрессов, курение, наличие синдрома ночного апноэ (храп и кратковременные остановки дыхания во время сна), социально-экономическое положение, потребление высококалорийных продуктов.

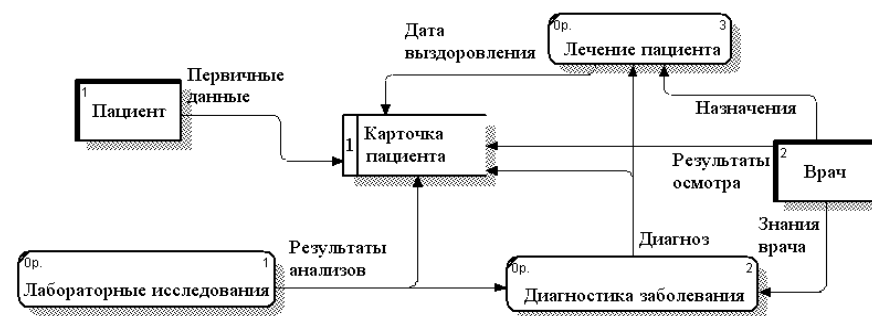


Рис. 2 – DFD-диаграмма процесса лечения пациента

Если пациент обратился за помощью в поликлинику из-за того, что он заболел, то больному проводится осмотр, лабораторные исследования, далее врач в карточку заносит результаты анализов, поставленный диагноз, назначенное лечение, даты обращения, проводимых медицинских процедур и выздоровления пациента.

Лабораторные исследования включают в себя два вида процедур: первая – различные анализы крови, мочи и т.д., вторая – проведение приборно-компьютерных исследований – УЗИ, ЭКГ, рентген, флюорография и пр. В результате таких исследований выясняются различные показатели состояния организма. Эти индикаторы здоровья пациента бывают в числовом виде, а могут иметь качественную природу.

Например, чтобы выявить инфаркт миокарда (ИМ) необходимы такие диагностические процедуры, как: проведение ЭКГ, проведение клинического и биохимического анализов крови. ЭКГ даст такие параметры: форма и размеры зубца R, наличие патологического зубца Q, высота подъема сегмента ST выше изолинии или депрессия сегмента ST, наличие отрицательного зубца T. В клиническом анализе крови основными будут такие показатели как количество лейкоцитов и скорость оседания эритроцитов. Биохимический анализ позволит судить о наличии ИМ по таким параметрам: повышенный уровень фибриногена, уровень тропонина I, лактатдегидрогеназы сыворотки, уровень креатинфосфокиназы, уровень аспаратаминотрансферазы.

После обработки результатов лабораторных исследований врач может сделать выводы об отклонениях в здоровье, применяя свои знания, опыт, соответствующую медицинскую литературу. Врач ставит диагноз и назначает лечение пациенту, которое заносится в карточку в виде перечня названий лекарственных препаратов и их схем применения, а также необходимых медицинских процедур.

Еще одной важной задачей районной поликлиники является задача планирования и проведения мероприятий, направленных на профилактику здоровья населения прикрепленного к обслуживаемому району. Для отнесения пациента к группе риска какого-то заболевания или к группе с нормальным уровнем здоровья, необходимо проводить периодическую диспансеризацию населения. Диспансеризация (см. рис. 3) дает возможность обнаружить заболевания на ранней стадии его развития, что служит предпосылкой успешного лечения. Если при диспансеризации выявляются какие-либо тревожные, выходящие за пределы нормы показатели, то обследование осуществляется с привлечением узких специалистов и дополнительных методов исследований. Например, для выявления заболеваний сердечно-сосудистой системы пациенту до сорока лет нужно делать ЭКГ раз в пять лет, после сорока лет – раз в год.

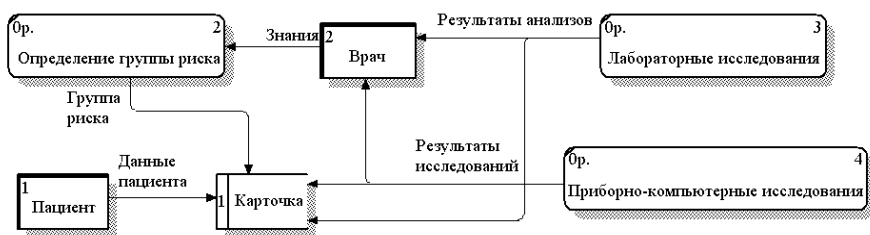


Рис. 3 – DFD-диаграмма процесса диспансеризации

Использование при массовых обследованиях в рамках диспансеризации всех существующих методов диагностики представляется малооправданным, поскольку наряду с малой экономической эффективностью это привело бы к перегрузке лечебно-профилактических учреждений и к негативной реакции населения на чрезмерно частые анализы, функциональные и другие исследования, поэтому министерством здравоохранения определен сравнительно узкий круг лабораторно-инструментальных исследований, позволяющий, тем не менее, выявить или заподозрить наличие наиболее распространенных заболеваний, имеющих медико-социальную значимость. Результаты проведения диспансеризации отражаются в медицинских карточках пациентов.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что медицинские данные имеют весьма различную природу и представляют собой неоднозначную

информацию о процессах, протекающих в организме пациента. Классификацию данных можно представить следующим образом (рис. 4).



Рис. 4 – Классификация медицинских данных

Все данные можно разделить на четыре основные группы: даты, текстовые данные, качественные данные и количественные данные.

Даты играют важную роль в хронологии анамнеза, дают возможность оценить динамику развития заболеваний, результаты лечения и пр.

Текстовые данные – это неструктурированные данные, представляющие собой описание жалоб, результаты осмотра. Этот вид данных сильно зависит от врача: считает ли он необходимым записать ту или иную информацию в карточку, обратил ли внимание на какие-либо жалобы пациента или вообще что-то забыл отметить.

Количественные данные могут быть непрерывными – получаются при измерении на непрерывной шкале, как, например, возраст пациента, масса и др., и дискретными – данные, не имеющие дробной части, например, количество лейкоцитов.

Большое количество информации о пациенте представлено в виде качественных данных. Они бывают дихотомическими – есть только два варианта ответа, например, пол или наличие или отсутствие какого-нибудь заболевания, и многовариантными, которые, в свою очередь, делятся на номинальные и порядковые. Номинальные – это данные, отражающие условные коды не измеряемых категорий, например, коды диагноза, тяжесть состояния (легкое повреждение, среднее, сильное). Порядковые или шкалированные данные – это такой вид качественных данных, значения которых представлены в виде шкалы или совокупности категорий, например, стадии какого-нибудь заболевания, стадии лечения, степени сердечной недостаточности.

Анализируя процедуры и процессы, протекающие в типовой районной поликлинике, можно заключить, что медицинская карта пациента – ключевой источник информации для обработки в МИС. В карте представлена хронология посещений пациентов и назначений, есть история развития

разных заболеваний (анамнез), есть общая информация о больном, результаты анализов. Из представленной информации можно извлечь такие важные сведения, как даты профосмотров, выявить факторы риска для заболеваний, оценить результаты лечения.

Правильно работающий блок хранения информации МИС в ЛПУ позволит улучшить процесс принятия медицинских решений. Например, МИС отслеживает пациентов, которым необходимо пройти какие-либо обследования по сроку давности, и оповещает врача об этом; с помощью МИС можно составить график посещения процедурных и диагностических кабинетов, избегая при этом большого наплыва пациентов; МИС сохраняет данные пациента за любое количество лет; МИС предоставляет выписной эпикриз в любом виде; МИС предоставляет возможность быстрого поиска информации, связанной с пациентом.

Выводы. Проведенные исследования показали, что работа с медицинскими данными, характеризующими пациента, имеет свои сложности. Данные, связанные с пациентом, характеризуются высокой степенью неопределенности, разнородностью информации, сложностью человеческого организма и протекающих в нем процессов, неполной информацией, большое количество факторов, характеризующих пациента и его жизненные устои и привычки, вдобавок эти факторы имеют различную природу. Для более эффективного использования информации о пациенте необходимо использовать МИС в работе любого ЛПУ. На сегодняшний день данные используются только в процессе определения конкретного заболевания. Поэтому задача разработки и внедрения МИС в ЛПУ остается актуальной.

Список литературы: 1. Бородулин В. Здравоохранение / В. Бородулин. Режим доступа: <http://medactiv.ru/vguide/z/guide-z-0057.shtml> 22.11.11] 2. Мельник К. Проблемы и основные подходы к решению задачи медицинской диагностики / К. В. Мельник, С. И. Ершова // Системы обработки информации : сб. науч. тр. / Харьк. ун-т воздушных сил – Харьков, 2011. – С. 244–248. 3. Рутченко Н. Украинская система здравоохранения. Перспективы / Н. Рутченко / Режим доступа: <http://h.ua/story/87779> 20.11.11] 4. Криштопа Б. Органы управления и руководство здравоохранением в период украинской государственности / Б. Криштопа // Агапіт - Журн. – 2000. – № 12. 5. Голяченко О. М. Социальная медицина, организация и экономика здравоохранения / О. М. Голяченко, А. М. Сердюк, О. О. Приходский // Джур.- К. : – 1997. – С. 328. 6. Волошин А. Происходят ли реформы в медицине? / А. Волошин // Ваше здоровье – Газ. – 1999. – № 93. – С. 1–2. 7. Министерство экологии и природных ресурсов Украины / Режим доступа: <http://www.who.int> 15.09.11] 8. Всемирная организация здравоохранения / Режим доступа: <http://www.who.int> 23.08.11] 9. ArchiMed+. Автоматизация медицинских учреждений Режим доступа: <http://www.mlsit.com.ua/products/archimed> 12.10.11] 10. Информационные технологии в медицине / Режим доступа: <http://www.medlinks.ru/article.php?sid=5477> 08.09.11] 11. Система диалоговой онлайн-диагностики / Режим доступа <http://www.diagnos.ru> 07.06.11] 12. Медицинская информационная система MGERM / Режим доступа <http://www.mgerm.ru> 05.08.11] 13. Медицинские информационные системы и технологии в медицине / Режим доступа <http://www.medotrade.ru> 24.09.11]

Надійшла до редколегії 20.11.2011

А. О. МАРКАРЯН, канд. техн. наук, доц. ДЮИ МВД Украины, Донецк

КРИТЕРИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ КРЕДИТНОГО ПОРТФЕЛЯ

Проведено системний аналіз процесу банківського кредитування, запропоновано модель та структуру системи управління кредитним портфелем. Для кожної з підсистем сформульовані задачі оптимізації, що формалізовані у вигляді критеріїв прийняття рішень.

Проведен системный анализ процесса банковского кредитования, предложена модель и структура системы управления кредитным портфелем. Для каждой из подсистем сформулированы задачи оптимизации, формализованные в виде критериев принятия решений.

The system analysis of process of bank crediting is carried out, the model and structure of a control system is offered by a credit portfolio. For each of subsystems the problems of optimization formalized in the form of criteria of decision-making are formulated.

Введение. Система банковского кредитования за период независимости Украины прошла сложный путь своего развития. Несмотря на кризисные явления в финансовом секторе, кредиты по-прежнему остаются одним из наиболее популярных источников обеспечения хозяйственной деятельности отечественных предприятий на короткий срок. Что касается долгосрочного финансирования инвестиционных проектов, для большинства украинских предприятий банковские кредиты все еще труднодоступны из-за высокой процентной ставки, невзирая на то, что политика НБУ в последние несколько лет направлена на постепенное снижение стоимости ресурсов на денежно-кредитном рынке. Создание условий для удешевления кредитов и увеличения объемов долгосрочного кредитования экономики является необходимым для становления инновационно-инвестиционной модели развития в нашем государстве [1].

С другой стороны, на выстраивание банковской системы Украины повлиял ряд факторов, присущих странам с переходной экономикой: низкий уровень доходов и склонности населения к сбережениям, неразвитый финансовый рынок, высокий уровень банковских затрат, реальный экономический сектор со значительной частью неэффективных и убыточных предприятий. Перечисленные факторы провоцируют высокий риск кредитных операций отечественных банков, который прямо влияет на уровень процентной ставки. Учитывая вышеизложенное, не вызывает сомнений актуальность построения сбалансированной модели кредитования, позволяющей определять оптимальные условия кредитов как для банков, так и для предприятий. В статье проведен системный анализ процесса кредитования и сформулированы критерии принятия решений при формировании кредитного портфеля.

Анализ существующих публикаций. Ст. 49 Закона Украины «Про банки і банківську діяльність» [2] обязывает банки при выдаче кредитов придерживаться основных принципов кредитования, в том числе проверять кредитоспособность заемщиков и наличие обеспечения кредитов. Ст. 47 этого же закона гласит, что размещение привлеченных средств банк осуществляет на собственных условиях и на свой риск. Как показал анализ действующего законодательства, в Украине нет единого нормативного акта, который бы четко определял алгоритм оценки кредитоспособности клиентов и методологию формирования кредитного портфеля. Структура кредитного портфеля каждого банка зависит от особенностей проводимой им кредитной политики. При существующем многообразии видов кредитов, зависящих от целенаправленности и срочности кредитования, способам выдачи и погашения, методам начисления процентов, обеспечения и валюты, важно не только правильно сформировать кредитный портфель, но также осуществлять эффективное управление им, чтобы обеспечить гарантированный доход и минимизировать кредитный риск. На практике выдача банковских кредитов зачастую осуществляется по субъективному признаку, что приводит к возрастанию объемов сомнительной и безнадежной кредитной задолженности. Согласно исследованиям, отраженным в «Щорічному Посланні Президента України до Верховної Ради України «Модернізація України – наш стратегічний вибір», украинским банкам присуще:

– значительный уровень убыточности (хотя динамика доходов положительна – убытки уменьшились с 38,4 млрд. грн. в 2009 г. до 13,02 млрд. грн. в 2010 г.);

– увеличение доли неработающих и просроченных активов (по состоянию на 01.01.2011 г. их объем составил 84,8 млрд. грн., увеличившись на протяжении 2009–2010 гг. с 2,2 % до 11,2 % кредитного портфеля; за 10 месяцев 2010 г. объем сомнительных и безнадежных кредитов возрос на 15,9 %, до 134,8 млрд. грн., что составляет 15,2 % от общей кредитной задолженности);

– значительная внешняя задолженность банков (за 9 месяцев 2010 г. ее объем уменьшился – с 30,8 млрд. дол. до 27,9 млрд. дол. США) [3].

Проблеме моделирования и управления кредитной деятельностью банка посвящено множество научных работ, как отечественных, так и зарубежных исследователей. Как правило, в основу представленных моделей положен факторный, регрессионный, корреляционный анализ, а также анализ временных рядов [1, 4, 5]. Работа [6] посвящена проблеме формирования инвестиционного портфеля, в ней проведен анализ и обобщение стохастической инвестиционной модели Марковица. Указанные методы успешно работают при прогнозировании на краткосрочный период в условиях стабильности, но они не дают рекомендаций к принятию решений в оперативном режиме, при долгосрочном планировании и не решают задачу оптимального управления кредитованием. Вопрос оптимизации кредитного

процесса рассмотрен автором в работе [7], данная статья отражает результаты углубленного исследования указанного направления.

Постановка задачи. Целью исследования является создание инструментария принятия решений при формировании кредитного портфеля, оценки рисков, а также оперативного управления кредитным портфелем.

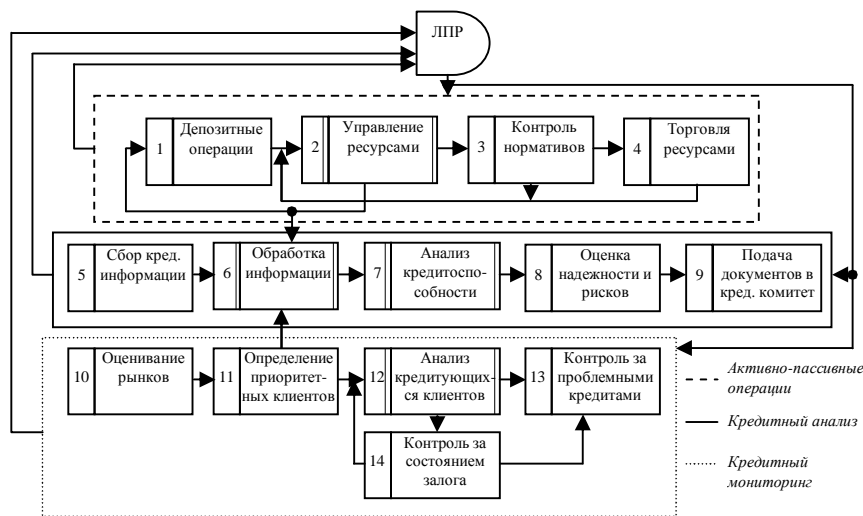
Изложение основного материала. Для определения критериев принятия решений при формировании кредитного портфеля проанализирована структура системы кредитования. В соответствии со ст. 44 Закона Украины «Про банки і банківську діяльність» [2], с целью управления рисками банки должны создавать постоянно действующие комитеты: 1) кредитный комитет, который ежемесячно оценивает качество активов банка и готовит предложения по формированию резервов на покрытие возможных убытков от их обесценивания; 2) комитет по вопросам управления активами и пассивами, который ежемесячно оценивает себестоимость пассивов и прибыльность активов и принимает решения относительно политики процентной маржи; проверяет соответствие срочности активов и пассивов и дает структурным подразделениям банка необходимые рекомендации; 3) тарифный комитет, который ежемесячно анализирует соотношение себестоимости услуг и рыночной конкурентоспособности действующих тарифов, отвечает за политику банка по вопросам операционных доходов.

Перечисленные комитеты представляют собой элементы управленческого аппарата и подчиняются руководителю банка, который принимает окончательное решение о кредитных операциях. Для определения критериев принятия решений при формировании кредитного портфеля рассмотрим структуру системы управления кредитованием. Для этого необходимо исследовать организационное обеспечение процесса кредитования: структуру, задачи и функции кредитных подразделений.

Поскольку утвержденных НБУ стандартов по организации кредитного процесса нет, количество кредитных подразделений и их функциональная нагрузка в разных банках, как правило, различна. Но в целом, можно выделить три основных блока, соответствующих направлениям кредитной деятельности банка: блок кредитного анализа, блок кредитного мониторинга и блок активов и пассивов. Задачи кредитного анализа заключаются в приеме кредитных заявок, анализе финансовой информации о клиентах, оценке надежности и кредитного риска. Кредитный мониторинг состоит в оценке рынков кредитных услуг, проведении проверок заемщиков, контроле залога и проблемных кредитов. Блок активов и пассивов осуществляет управление кредитными ресурсами и контролирует выполнение нормативов НБУ. Функции кредитных подразделений и схему их взаимодействия можно представить в виде функциональной структуры системы управления кредитованием (см. рисунок).

Проведенный анализ кредитного процесса позволил систему управления кредитованием декомпозировать на следующие подсистемы: 1) анализа

кредитоспособности; 2) формирования кредитных ресурсов; 3) кредитного мониторинга, 4) планирования; 5) оперативного управления. Для каждой из подсистем сформулированы критерии принятия решений, формализованные в виде функционалов целей.



Функциональная структура системы управления кредитованием

Подсистема анализа кредитоспособности. В связи с тем, что кредитные операции являются рисковыми, осуществляется анализ кредитоспособности клиента, основными составляющими которой являются оценки: надежности, определяемой по кредитной истории клиента; кредитоспособности, на основании финансовых показателей клиента; условий выдачи кредитов.

Оценка надежности. В зависимости от истории кредитования клиентов, осуществлено их распределение по трем группам надежности: надежных клиентов, средней надежности и ненадежных. Выделяется также группа некредитовавшихся клиентов. Надежность клиента определяется как вероятность возврата кредитов при заданных условиях кредитования. В связи с этим поставлена следующая задача: сформировать портфель заказов таким образом, чтобы обеспечить максимальную вероятность возврата кредитов:

$$I_1 = \prod_{j=1}^m P_j(S_{ij} \setminus A) = \prod_{j=1}^m \frac{P_j(S_{ij}) P_j(A \setminus S_{ij})}{\sum_{i=1}^{n_j} P_j(S_{ij}) P_j(A \setminus S_{ij})} \rightarrow \max, \quad (1)$$

$$0,75 \leq P_j(S_{ij} \setminus A) \leq 1,$$

где S_i – объем заказанного кредита; A – условие возврата кредита; $P(S_i \setminus A)$ – апостериорная вероятность заявки на кредит в объеме S_i при условии его возврата; $P(S_i)$ – априорная вероятность заявки на кредит в объеме S_i ; $P(A \setminus S_i)$ – вероятность возврата кредита объемом S_i ; m – количество потенциальных клиентов; n_j – количество кредитов, выданных j -му клиенту.

Решения являются входными данными для оценки кредитоспособности.

Оценка кредитоспособности. На основании финансовых показателей определяется рейтинг заемщиков и производится их ранжирование по пяти классам, в зависимости от степени риска. Для оценки возможности кредитования при заявленном объеме осуществляется прогноз движения денежных средств заемщика на заданный срок. Денежные потоки клиентов являются ограничением для задачи, поставленной на данном этапе: сформировать портфель заказов таким образом, чтобы доля инвестиций, вкладываемых в кредитование надежных клиентов, была максимальной:

$$I_2 = \sum_{i=1}^n S_i (P(X^*_1 | S_i) + P(X^*_2 | S_i)) \rightarrow \max, \quad \sum_{i=1}^n S_i \leq V, \quad (2)$$

где S_i – объем i -го заказанного кредита; V – объем ресурсов, инвестируемых в кредитование; $P(X^*_j | S_i)$ – вероятность принадлежности клиента классу X^*_j ($j=1,2$) при условии заявки на кредит в объеме S_i ; n – количество заказанных кредитов.

Решения данной задачи передаются для оценки условий кредитования.

Оценка условий кредитования. Для определенного объема заявок на кредит определяется возможность выдачи кредита и оценка условий кредитования: объема выдаваемого кредита, срока и процентной ставки. Данная задача состоит в следующем: сформировать кредитный портфель таким образом, чтобы среднестатистический срок погашения выплат по кредитам был минимальным:

$$I_3 = \sum_{i=1}^n S_i \sum_{t=1}^{T_i} \frac{(a_i(t) + (1 - a_{i-1}(t))) \cdot PS_i \cdot N_i}{e^{r_i h_i} \cdot h_i} t \rightarrow \min, \quad \sum_{i=1}^n S_i \leq V, \quad (3)$$

где S_i – объем i -го заказанного кредита; N_i – срок кредитования; PS_i – величина процентной ставки по i -му кредиту; h_i – количество выплат, связанных с погашением кредита и процентов; $a_i(t)$ – доля погашения ссудной задолженности из общего объема i -го кредита клиента в момент времени t , T_i – срок до погашения i -го кредита; r_i – ожидаемая доходность по кредиту.

В подсистеме формирования кредитных ресурсов осуществляется прогноз денежных потоков клиентов банка и иных собственных и привлеченных банковских средств, из которых формируются кредитные ресурсы. Значения кредитных средств, полученные на данном этапе, передаются в другие подсистемы и используются в качестве ограничений в критериях принятия решений.

Подсистемы планирования и оперативного управления.

Формирование кредитного портфеля предполагается на определенный плановый период, но на практике часто возникают непредвиденные ситуации. В связи с этим выделены подсистемы планирования и оперативного управления, осуществлена формализация критериев принятия решений для каждой из подсистем. В качестве управляющих переменных, доставляющих экстремум функционалам, выступают объемы, процентные ставки и сроки кредитования.

Задача планирования: в соответствии с объемом кредитных заявок определить объемы, сроки и процентные ставки кредитования таким образом, чтобы сформировать максимально доходный кредитный портфель:

$$I_4 = \sum_{i=1}^{n_3} \frac{S_i}{V} \left(1 + \frac{PS_i \cdot N_i}{365} \right)^{\frac{1}{h_i}} \xrightarrow{S_i, N_i, PS_i} \max, \quad (4)$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{n_3} P_i \cdot P_i^* \cdot r_i \geq r(1-\varepsilon); \\ 0 < V \leq y_{кр}; \\ S_i^*, PS_i^*, N_i^* > 0. \end{cases} \quad (5)$$

где I_4 – доход кредитного портфеля; S_i – объем i -го кредита, PS_i – процентная ставка по i -му кредиту; N_i – срок кредитования; V – объем свободных кредитных ресурсов; h_i – количество выплат, связанных с погашением кредита и процентов; P_i – надежность кредитующегося клиента при условиях кредитования, близких к заявочным; P_i^* – кредитоспособность клиента, вычисляемая на основании его финансовой отчетности; r_i – ожидаемая доходность кредиту; ε – степень риска, обусловленная банком, $y_{кр}$ – объем доступных кредитных ресурсов.

Задача оперативного управления: обеспечить своевременное погашение кредитов и процентов и удовлетворение дополнительных кредитных заявок. Целью являются получение максимального дохода от каждой кредитной операции при ограниченном кредитном риске:

$$I_5 = \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T S_{oi} (a_{it}(t) + (1 - a_{i,t-1}(t))) \cdot PS_{oi} \frac{N_{oi}}{h_i} \xrightarrow{S_{oi}, N_{oi}, PS_{oi}} \max, \quad (6)$$

где S_{oi} – объем кредита в оперативном режиме; N_{oi} – срок кредитования в оперативном режиме; PS_{oi} – величина процентной ставки по i -му кредиту в оперативном режиме; h_i – количество выплат, связанных с погашением кредита и процентов; $a_{it}(t)$ – доля погашения ссудной задолженности из общего объема i -го кредита клиента в момент времени t , T_i – срок до погашения i -го кредита; r_i – ожидаемая доходность по кредиту.

Система ограничений аналогична (5), только $0 < V_n \leq y_{кр} + \Delta y$, где Δy – дополнительные ресурсы, привлеченные для удовлетворения незапланированных кредитных заявок. Если решение относительно выдачи кредита противоречит заявке, клиенту предлагается изменить условия кредитования. При согласии клиента заявка с новыми предлагаемыми условиями поступает в качестве входной переменной.

Подсистема кредитного мониторинга. Оценка эффективности управления кредитным портфелем основана на результатах кредитного мониторинга, в процессе которого исследуется динамика денежных потоков, в том числе кредитных средств заемщиков; изменение финансовых показателей заемщиков; доходность портфеля; уровень риска. С целью эффективного управления кредитным риском поставлена следующая задача оптимального управления: обеспечить минимальное стандартное отклонение доходности кредитного портфеля от ожидаемой:

$$I_6 = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^T (r_t - r_p)^2}{T-1}} \xrightarrow{T, r_p} \min, \quad (7)$$

где r_t – доходность портфеля за период t ; r_p – ожидаемая доходность портфеля; T – периодичность выплат по кредитам.

Выводы. В работе проведен системный анализ кредитного процесса; исследовано его организационное обеспечение, (структура, задачи и функции кредитных подразделений), на основании чего синтезирована функциональная структура системы управления кредитованием. Осуществлена декомпозиция указанной системы на подсистемы, для которых сформулированы критерии принятия решений, формализованные в виде функционалов цели. Предложенный аппарат представляет собой научную новизну исследования, решение задач управления позволяет осуществлять эффективное планирование и оперативное управление кредитной политикой банка, что свидетельствует о практической значимости работы.

Список литературы: 1. Кірсєв О. І. Формування вартості кредитів у країнах з перехідною економікою та вплив на неї облікової ставки: Інформаційно-аналітичні матеріали / За редакцією О. І. Кірсєва і М. М. Шаповалової. – Київ: Центр наукових досліджень НБУ, 2004. – 86 с. 2. Про банки і банківську діяльність: Закон України від 07.12.2000 № 2121–III [Електронний ресурс] / Веб-сайт Верховної Ради України – 2012. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2121-14/page>. 3. Модернізація України – наш стратегічний вибір: Щорічне послання Президента України до Верховної Ради України. – К., 2011. – 416 с. 4. Васюренко О. В. Банковские операции. / О. В. Васюренко. – К.: Знание, 2000. – 348 с. 5. Ханк Дж. Э. Бизнес-прогнозирование / Дж. Э. Ханк, Д. У. Уичерн, А. Дж. Райтс. – М.: Вильямс, 2003. – 656 с. 6. Шарп У. Ф. Инвестиции / У. Ф. Шарп, Г. Дж. Александер, Дж. В. Бэйли. – М.: Инфра-М, 2001. – 1028 с. 7. Маркарян А. О. Задача оптимального управления кредитованием / О. А. Кривоубский, А. О. Маркарян // Вісник НТУ «ХП». – 2004. – № 36. – С. 242–246.

Надійшла до редколегії 11.05.2012

Д. Б. АРКАТОВ, аспирант НТУ «ХПИ»;
Ю. М. БОРУШКО, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СВЯЗИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ «НАВИГАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА УКРАИНЫ»

В данной статье приведено краткое описание железнодорожного транспорта Украины, являющегося предметной областью исследования. Были изложены основные проблемы железнодорожного транспорта, обоснована их актуальность, а также приведены существующие способы решения данных проблем. Сформулирована постановка задачи и перечислены вопросы, которые планируется решить в результате исследования. Приведено краткое описание информационных технологий, выбранных для дальнейшей алгоритмической и программной реализации

У даній статті наведено короткий опис залізничного транспорту України, що є предметною областю дослідження. Викладено основні проблеми залізничного транспорту, обґрунтована їхня актуальність, а також наведено існуючі способи рішення даних проблем. Сформульована постановка задачі й перераховано питання, які плануються вирішити в результаті дослідження. Наведено короткий опис інформаційних технологій, обраних для подальшої алгоритмічної та програмної реалізації.

In given article the short description of a railway transportation of Ukraine which is subject domain of research is resulted. The basic problems of a railway transportation have been stated, their urgency is proved, and also existing ways of the decision of the given problems are resulted. Statement of a problem is formulated and questions which is planned to solve as a result of research are listed. The short description of the information technology chosen for the further algorithmic and program realisation is resulted.

Введение. Железные дороги – базовая отрасль экономики Украины и основа ее транспортной системы: на их долю приходится 82,7 % грузооборота (без учета трубопроводного транспорта) и 42,5 % пассажирских перевозок. По объему перевозок грузов железные дороги Украины занимают четвертое место на Евразийском континенте (после Китая, России, Индии) и шестое в мире. Выгодное географическое положение страны усиливает роль железнодорожного транспорта и обуславливает один из наибольших в Европе потенциалов транзитности. Остальные магистрали Украины взаимодействуют с железными дорогами семи соседних стран через 56 пунктов пересечения границ и с 13 основными морскими портами Черного и Азовского морей, а также реки Дунай. Железнодорожная отрасль Украины ежегодно обеспечивает перевозку более 300 млн. тонн грузов и 500 млн. пассажиров. В сферу управления Государственной администрации железнодорожного транспорта Украины (Укрзалізниця) входят Донецкая, Львовская, Одесская, Южная, Юго–Западная и Приднепровская железные дороги, а также другие

объединения, предприятия, учреждения и организации отрасли. Все вместе они – единый производственно–технологический комплекс. Для обеспечения эффективной работы железнодорожного транспорта в настоящее время необходимы прорывные инновационные разработки, направленные на оптимизацию текущей и перспективной деятельности. Именно к таким разработкам относится интеграция современных спутниковых технологий, систем связи и передачи данных в повседневную работу железнодорожного транспорта. Применение этих технологий и оборудования особенно актуально и позволит обеспечить оптимальное управление транспортными потоками, переработкой грузов, контролировать местоположение транспортных средств и грузов, осуществлять непрерывное слежение и обеспечение условий безопасности.

Информация о местоположении подвижных объектов необходима для оптимального использования пропускной и провозной способности железных дорог и исключения опасных ситуаций (опасного попутного сближения, проезда светофоров с запрещенными сигналами, движения на запасной путь, превышения допустимой скорости в местах ее ограничения и т.д.). Автономное и автоматическое определение местоположения подвижных средств создает возможность реализации системы управления и обеспечения безопасности на новых принципах при минимальном количестве путевых технических средств.

Важно не только оснастить железнодорожные транспортные средства спутниковыми навигационными приемниками, но также обеспечить эффективное использование получаемых с их помощью навигационных данных в бортовых локомотивных и наземных программно-технических комплексах безопасности и управления перевозками и, таким образом, достичь реального технического и экономического эффекта.

Эффективность перевозочного процесса железнодорожного транспорта в значительной степени зависит от уровня его управляемости и степени обеспечения безопасности. Для этого железные дороги мира оснащаются все более новыми и совершенными техническими средствами управления и обеспечения безопасности движения поездов. При этом важнейшей задачей является непрерывный контроль местоположения и параметров движения подвижных составов.

В наше время, когда железнодорожный транспорт Украины находится не в наилучшем состоянии, его проблемы являются особенно актуальными, и их решение имеет большое влияние на "железнодорожное" развитие нашей страны. Главными из них являются: проблемы автоматизации перевозочного процесса, повышения эффективности перевозок, безопасности движения поездов, информационная поддержка локомотивной бригады, система контроля параметров локомотива, а также экономия энергетических ресурсов во время движения. Кроме того, в условиях тяжелого экономического состояния нашей страны необходимо учитывать стоимость ресурсов,

потребляемых на различные перевозки. Проблема выбора правильной скорости и правильного режима вождения поезда является сложной и трудоемкой задачей, которая служит причиной необходимости разработки соответствующего программного обеспечения.

Безопасность железнодорожного движения. Безопасность движения на железнодорожном транспорте – это комплекс организационно-технических мер, направленных на снижение вероятности возникновения фактов угрозы жизни и здоровью пассажиров, сохранности перевезенных грузов, сохранности объектов инфраструктуры и подвижного состава железнодорожного транспорта, экологической безопасности окружающей среды.

Самым распространенным и самым опасным нарушением безопасности движения на станциях является проезд локомотивом запрещающего показания светофора. Анализ причин проездов показывает, что они вызваны следующими причинами [3]:

- невнимательность при наблюдении за сигналами светофоров машинистами, невыполнение регламента переговоров – 54%;
- неправильное восприятие показаний светофоров, когда разрешающее показание другого светофора принимается за свое – 9%;
- несогласованность действий машиниста, дежурного по станции и составителя поездов – 9%;
- нарушение дисциплины машинистов (сон, алкогольное опьянение) – 8%;
- превышение допустимой скорости движения – 6%;
- несоблюдение технико-распорядительного акта станции – 6%;
- позднее применение тормозов, нарушение порядка их пробы – 5%;
- прочие причины – 3%.

Как видно из приведенных данных, основным фактором нарушения безопасности движения, связанного с проездом запрещающих сигналов, является т.н. «человеческий фактор». Именно поэтому многие разработки современных информационных технологий направлены на снижение влияния человека на безопасность движения.

Контроль параметров локомотива. В последние годы все больше внимания уделяется развитию скоростного и высокоскоростного движения поездов. Увеличение скорости движения влечет за собой повышение требований к техническому состоянию подвижного состава и путевого хозяйства. Однако до сих пор на железных дорогах Украины, при движении поездов, бывают случаи разрушения деталей из-за неисправностей, своевременно не выявленных при ремонте и эксплуатации подвижного состава. Причем результатом этих разрушений могут быть и человеческие жертвы, и материальные затраты, и значительное снижение эффективности перевозок. В любых ремонтных работах немаловажную роль играет

«человеческий» фактор, и часто именно ошибка бригады диагностики может привести к аварии и срыву перевозочного процесса. В частности такие ошибки могут быть допущены и по причине отсутствия достаточного опыта «ремонтников», ведь в данной сфере кадровая проблема одна из наиболее значительных (как и во всей железной дороге в целом).

Информационная поддержка локомотивной бригады. В настоящее время актуальным является автоматизированное вождение соединенных поездов с локомотивами (группами локомотивов), распределенными по длине состава, что позволяет повысить пропускную способность грузонапряженных участков. Ручное же ведение соединенных поездов сопряжено со значительным риском возникновения опасных продольных усилий в составе, связанное с проблемами учета профиля и плана пути, рассинхронизацией управления процессами тяги и торможения на различных локомотивах.

Системы автоматизации перевозочного процесса разных стран. Известны следующие системы, обеспечивающие информационную поддержку локомотивной бригады: Locotrol (GE), СМЕТ-Р, «Консул-Т». Однако недостатком этих систем является передача команд управления по радиоканалу – существенная нагрузка на канал связи с низкой пропускной способностью (12 каналов тональной частоты) и ограниченной дальностью действия (до 50 км).

Одним из путей исключения недостатков перечисленных систем является использование спутниковых технологий для определения точного месторасположения поезда и его скорости, а также использование технологии GSM для постоянной связи с диспетчером и передачи соответствующих сообщений о проходе контрольных точек по каналу GPRS.

Главным достоинством применения современных информационных технологий передачи данных заключается в том, что такая система позволяет вести локомотив с соблюдением режимов, при котором происходит экономия электроэнергии или дизельного топлива. Кроме того, соблюдать оптимальные режимы может одинаково, как машинист 1 класса, так и машинист 3 класса. Как показали научные исследования, на одном электровозе можно экономить до 25 тыс. грн. в год, а на одном тепловозе – до 80 тыс. грн. в год (в зависимости от его вида) [2].

Однако до настоящего времени с использованием существующих технологий исчерпаны практически все возможности системы управления безопасностью к дальнейшему развитию и расширению функциональности. Кроме этого, значительным недостатком использования таких систем является значительное влияние субъективного (человеческого) фактора. Поэтому достижение цели, обеспечение гарантированной (нормативной) безопасности при минимальном объеме ресурсов, требует применения новых принципов, методов и средств перехода к новому целевому состоянию системы управления эффективностью и безопасностью перевозок.

Примерами автоматизированных систем, частично или полностью решающих перечисленные выше проблемы могут служить Европейская система управления движением поездов – The European Train Control System (ETCS), Американская система контроля движения поездов Positive Train Control (PTC) и система КЛУБ–У, применяемая в России. Однако в развитых европейских странах, США и России используется стандарт GSM, который был модифицирован с учетом потребностей для железной дороги – GSM–Railway (GSM–R).

В Украине стандарта связи GSM–R нет, поэтому для выполнения задач связи и передачи данных необходимо осуществить выбор информационных технологий, применение которых целесообразно в техническом и экономическом плане.

Постановка задачи исследования. В общей модели системы функционирования железнодорожного транспорта разрабатываемая автоматизированная система, обеспечивающая выполнение необходимых задач, должна представлять собой совокупность бортового интеллектуального комплекса со средствами автоматизации, которые осуществляют позиционирование, контроль параметров локомотивов, а также информационную поддержку локомотивных бригад и наземного интеллектуального комплекса, обеспечивающего автоматизацию работы подразделений, управляющих перевозочным процессом.

При этом должно осуществляться взаимодействие разрабатываемой автоматизированной системы с комплексами, находящимися в настоящее время в эксплуатации, которые обеспечивают управление средствами железнодорожной автоматики и автоблокировки.

Необходимым условием создания автоматизированной системы является разработка:

- Специализированных навигационных карт, основным элементом которых является реальная инфраструктура железной дороги (станции, светофоры, устройства проверки и регулировки узлов и блоков аппаратуры, мосты, переезды и т.д.). Следует отметить, что применение множества стандартных карт не является достаточным, так как на них отсутствуют специфические объекты железнодорожной инфраструктуры.
- Бортового интеллектуального комплекса для подвижных средств (БИК).
- Наземного интеллектуального комплекса (НИК) для диспетчерских служб.
- Системы связи и передачи данных на основе современных информационных технологий (ССПД).

Специализированные электронные навигационные карты участков движения необходимо формировать с помощью специально разработанного

программного обеспечения. На подвижных средствах необходимо установить оборудование, обеспечивающее прием спутниковых сигналов, получение навигационной информации для формирования специализированных карт с учетом железнодорожной инфраструктуры.

Бортовой интеллектуальный комплекс должен представлять собой автоматизированную систему навигации, которая обеспечивает возможность автоматического приема, отображения и передачи навигационной информации, формирования сообщений о проходе поездом (локомотивом) необходимых опорных точек, повышения безопасности движения. При дополнении штатного оборудования локомотивов современной системой спутниковой навигационной информации и применении алгоритмов автоматизации, появится возможность отображения в режиме реального времени общей поездной обстановки для заданных участков движения.

Наземный интеллектуальный комплекс должен представлять собой комплекс аппаратных (сервера, АРМы) и программных средств, объединенных в единую систему, основное назначение которой: повышение надежности и оперативности контроля и управления потоками подвижного состава путем автоматизации процессов приема и обработки навигационной информации, определение дислокации локомотива (поезда), формирование и передача сообщений о проходе необходимых опорных точек в АСУ перевозочного процесса, планирование, координирование расчета параметров движения поездов, выбор оптимальных маршрутов движения.

Вместе с тем, для обеспечения функционирования столь сложной АСУ, в состав которой входят бортовые иностранные программно-технические комплексы, необходимо разработать специальную систему связи передачи данных на базе современных цифровых информационных технологий.

В настоящее время на железной дороге, для связи с подвижными объектами используются аналоговые системы радиосвязи, которые не позволяют обеспечить решение вышеперечисленных задач. К тому же эти системы имеют ограниченную дальность действия (50-100 км от станции), и не могут обеспечить передачу массива данных.

Поэтому актуальной задачей является выбор и внедрение таких информационных технологий, которые решали бы традиционные задачи существующих систем связи и одновременно обеспечивали решение задач современных бортовых и наземных интеллектуальных комплексов.

Отдельное внимание необходимо уделить целостности и безопасности передаваемых данных между составными частями автоматизированной системы. Без обеспечения должной защиты, конфиденциальности и целостности информации при ее передаче между рабочими станциями и точками доступа нельзя быть уверенным в том, что информация не будет подвержена сетевым атакам различного рода, что повлечет за собой временные и материальные затраты. Для выполнения этих задач широкое

применение должны найти сети VPN, различные алгоритмы криптографии и так далее.

Выбор информационных технологий для разрабатываемой системы связи и передачи данных. Для создания автоматизированной системы связи и передачи данных для железнодорожного транспорта необходим, помимо использования спутниковой навигации, стандарт связи, удовлетворяющий необходимые требования для функционирования всей системы в целом. Требуемая система связи должна обеспечивать высокую безопасность и надежность, предоставлять проверенные на практике решения, к тому же она должна быть инновационной и высокопроизводительной. Причем затраты в течение всего срока службы системы должны быть сведены к минимуму.

Учитывая европейский опыт реализации подобных систем передачи данных, телекоммуникационные технологии необходимо развивать в направлении стандарта GSM-R (Global System for Mobile Communications – railway), эффективность которого в техническом и экономическом плане подтверждена не только испытаниями, но и реальным применением в различных железнодорожных системах развитых европейских стран (см. табл. 1, табл. 2).

Несмотря на то, что мобильный оператор Киевстар-GSM обладает на данный момент лучшим покрытием в Украине (по официальным данным более 95% территории Украины), необходимо отметить, что качество этого покрытия не является удовлетворительным для функционирования системы передачи данных разрабатываемой системы. Это объясняется тем, что в большинстве случаев лучше «покрыта» территория населенных пунктов и автомобильных дорог (так как наличие покрытия на этих территориях являлось приоритетным на начальных этапах развития мобильной связи в Украине). Поэтому необходимым условие стабильной эксплуатации разрабатываемой автоматизированной системы, в частности системы передачи данных, является улучшение покрытия над всей железнодорожной инфраструктурой.

Однако на современном этапе развития информационных цифровых технологий передачи данных в Украине можно сделать вывод, что для реализации поставленной задачи возможно и рекомендуется использование стандарта мобильной связи GSM. Несмотря на наличие на украинском рынке более современных и перспективных технологий передачи данных (3G-интернет, WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access)), альтернативы GSM нет, так как ни одна из новых технологий не способна удовлетворить требования по качеству покрытия (максимальный процент покрытия оператора 3G «Интертелеком составляет 70%) и надежности канала передачи данных. Помимо этого все новые технологии требуют высоких материальных затрат на расширение покрытия существующих сетей, что делает их использование невыгодным в экономическом плане.

Таблица 1 – Ситуация с внедрением системы ERTMS/ETCS 2-го уровня в странах ЕС

Страна	Протяженность сети ETCS, км	Период начала обслуживания, квартал/ год	Количество эксплуатируемых средств, оснащенных оборудованием ETCS	Наличие/ отсутствие перегонных (напольных) сигналов
Бельгия	65	IV/2007		Нет
Франция	300	III/2008	48 локомотивов	Нет
Германия	150	IV/2005	5	Есть
Нидерланды (линия Betuweroute)	160	II/2007	>50	Очень мало
Италия (Рим – Неаполь)	216	IV/2005	27	Нет
Италия (Турин – Новара)	75	I/2006	27	Нет
Испания (Мадрид – Лерида)	460	II/2006	16 электропоездов (32 головные единицы)	Есть
Испания (Лерида – Таррагона)	120	IV/2006	16/32	Есть
Швейцария (Маттштеттен – Ротрист)	55	III/2006	474 (518)	Очень мало
Швейцария (линия Лёчбергского тоннеля)	40	III/2007	474 (518)	Очень мало
Примечание. Максимальная скорость на высокоскоростных линиях составляет от 200 до 300 км/ч.				

Для безопасного и стабильного обмена информацией между бортовыми комплексами и телематическим сервером рекомендуется использовать специализированные программные средства, позволяющие организовать распределенную корпоративную сеть, представляющую собой объединение отдельных компьютеров в виртуальной сети, которая обеспечивает целостность и безопасность передаваемых данных. Она должна обладать свойствами выделенной частной сети и позволять передавать данные между двумя компьютерами через промежуточную сеть (internetwork), например Internet.

Таблица 2 – Значения показателей качества услуг при передаче данных в сетях GPRS

Интенсивность ошибок при установлении соединения	10^{-2}
Максимальная задержка при передаче 30-байтового сообщения	0.5 с (для 99 % соединений)
Интенсивность потери соединения	10^{-2} за час
Средняя продолжительность воздействия помехи при передаче	0,8 с (95 % вызовов) 1.0 с (99 % вызовов)
Средняя продолжительность отсутствия помехи при передаче	20 с (95 % вызовов) 0.7 с (99 % вызовов)
Задержки при регистрации в сети	30 с (95 % вызовов)
	35 с (99 % вызовов)
	40 с (100 % вызовов)

Выводы. В данной статье рассмотрены аспекты исследуемой предметной области, а также проблемы, существующие на данном этапе развития железнодорожного транспорта в Украине. Рассмотрены варианты решения данных проблем на примере зарубежных систем управления движением поездов. Осуществлена постановка задачи исследования с целью разработки и внедрения системы современных информационных технологий обработки и передачи данных, а также навигационных технологий в систему железнодорожного транспорта Украины. Приведено обоснование выбора информационных технологий для дальнейшей алгоритмической и программной реализации. Применение данных технологий является связующим звеном в разрабатываемой автоматизированной системе, работающей со специализированными электронными навигационными картами, с целью повышения безопасности дорожного движения, информированности локомотивной бригады, эффективности перевозочного процесса, а также автоматизации работы диспетчерских служб.

Список литературы: 1. Борушко Ю. М. «АСУ «Навигация и управление» на основе спутниковых технологий для железнодорожного транспорта» / Ю. М. Борушко, С. Б. Семенов, Н. Н. Титов // Спутниковые технологии и системы цифровой связи на службе железных дорог. – М. : ВНИИАС, 2007. – С. 33–37. 2. Борушко Ю. М. Применение спутниковых технологий на опытном полигоне южной железной дороги «Укрзалізниця» / Ю. М. Борушко, Н. Н. Титов, В. Н. Остапчук // «Евразия весты». – М. : ОАО РЖД, 2008. – С. 11–13. 3. Венцевич Л. Е. Локомотивные устройства обеспечения безопасности движения поездов и расшифровка информационных данных их работы. – М. : Маршрут, 2006. – 328 с. 4. Яценков В. С. Основы спутниковой навигации. Системы GPS NAVSTAR и ГЛОНАСС. – М. : Горячая линия –Телеком, 2005. – 272 с. 5. Берлин А. Н. Цифровые сотовые системы связи. – М. : Эко–Трендз, 2007. – 296 с.

Надійшла до редколегії 18.12.2011

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

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПОРТФЕЛЯ ИНВЕСТИЦИЙ В УСЛОВИЯХ ОПРЕДЕЛЕННОСТИ

У даній статті розглянута задача формування оптимальної структури інвестиційного портфелю в умовах визначеності на основі традиційного підходу. Даний підхід представлений моделями Марковіца і Шарпа. Розв'язок задачі зводиться до вирішення задачі умовної оптимізації, де один критерій, що визначає дохід інвестиційного портфелю максимізується, а другий критерій, що визначає значення ризику втрат при вкладенні коштів, мінімізується.

В данной статье рассмотрена задача формирования оптимальной структуры инвестиционного портфеля в условиях определенности на основе традиционного подхода. Данный подход представлен моделями Марковица и Шарпа. Решение задачи сводится к решению задачи условной оптимизации, где один критерий, определяющий доход инвестиционного портфеля максимизируется, а второй критерий, определяющий значение риска потерь при вложении денежных средств, минимизируется.

In this paper we consider the problem of forming the optimal structure of the investment portfolio in terms of certainty, based on the traditional approach. This approach is considered based on the model of Markowitz and Sharpe. The solution of the problem reduces to solving the problem of constrained optimization, where a criterion for determining the income of the investment portfolio is maximized, while the second criterion for determining the significance of the risk of loss when investing funds is minimized.

Введение. В настоящее время в круг обязанностей банка входит предоставление кредитов. Из наиболее жизненно важных услуг такого рода является выдача ссуд, которые используются частным бизнесом для осуществления инвестиций и потребительских целей. Большая часть ссуд неликвидна, т.е. они не могут быть быстро проданы тогда, когда банку срочно требуются наличные денежные средства. Другая проблема состоит в том, что ссуды из-за достаточно высокой вероятности их не возврата со стороны заемщика среди всех форм банковского кредита относятся к самым рискованным банковским активам. По всем перечисленным причинам банки стали направлять значительную часть своего портфеля активов во вложения в другой важный вид доходных активов – в ценные бумаги. Эти составляющие банковских портфелей активов выполняют ряд важнейших функций, обеспечивая банкам доходность, ликвидность и диверсификацию с целью снижения риска, а также выводя часть доходов банка из-под налогообложения. Такие вложения стабилизируют доходы банка, обеспечивая дополнительные поступления в то время, когда остальные их источники почти истощены.

При осуществлении портфельного инвестирования перед субъектами инвестирования предстают проблемы эффективного вложения финансовых ресурсов. Преимуществом портфельного инвестирования является возмож-

ность выбора портфеля для решения специфических инвестиционных заданий. Для этого используются различные виды портфелей ценных бумаг, в каждом из которых будет собственный баланс между риском, принятым для собственника портфеля, и ожидаемой отдачей (доходом) в определенный период времени. Соотношение этих действий и дает возможность определить тип портфеля ценных бумаг. Тип портфеля – это его инвестиционная характеристика, которая базируется на соотношении дохода и риска. Структура инвестиционного портфеля отражает определенное соединение интересов инвесторов, а также объединяет в той или иной форме риски по отдельным ценным бумагам.

Постановка задачи. Предметом исследования является определение доходности сформированного инвестиционного портфеля.

Предполагается, что у инвестора имеется в распоряжении некоторая сумма свободных инвестиционных ресурсов, которую он хотел бы разместить на финансовом рынке. При этом инвестор знает минимальный период времени, на который данная сумма инвестиционных ресурсов может быть размещена без возникновения в течение этого периода (инвестиционного горизонта) необходимости ее досрочного изъятия. Инвестору необходимо сформировать инвестиционный портфель, оптимальный по своей структуре.

Описание составных частей инвестиционного портфеля. Объектом исследования является портфель инвестиций коммерческого банка. Предполагается размещение средств на τ дней (срок инвестирования). Инвестор рассматривает n независимых инвестиционных проектов. Каждый проект может представлять собой как инвестирование средств в один определенный финансовый инструмент или использование комбинации финансовых средств [3].

Каждый i -й проект ($i = \overline{1, n}$) обладает следующими характеристиками:

x_i – доля ценной бумаги, которая входит в инвестиционный портфель;

r_i – прогнозируемая доходность i -й ценной бумаги по истечении τ дней;

z_i – риск неблагоприятного изменения рыночных котировок, зависит от длины инвестиционного горизонта, в качестве его оценки используется среднеквадратическое отклонение;

c_{ij} – коэффициент корреляции между доходностью на i -ю ценную бумагу и доходностью на j -ю ценную бумагу.

Портфель инвестиций характеризуется следующими показателями:

– доходность:

$$Q = \sum_{i=1}^n r_i x_i \rightarrow \max_{\{x_i\}} \quad (1)$$

– риск неблагоприятного изменения рыночных котировок:

$$W = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_i x_j z_i z_j} \rightarrow \min_{\{x_i\}} \quad (2)$$

В сформированном инвестиционном портфеле должно выполняться условие, что сумма долей всех ценных бумаг, входящих в портфель составляет 100%

$$\sum_{i=1}^n x_i = 1. \quad (3)$$

Таким образом, сформирована задача многокритериальной оптимизации, решение которой позволяет найти оптимальный инвестиционный портфель по двум показателям: максимальная доходность и минимальный риск.

Решение задачи формирования инвестиционного портфеля традиционным подходом. В настоящей работе для эффективного формирования инвестиционного портфеля используются традиционные подходы, основанные на моделях Марковица и Шарпа.

При помощи разработанного Марковицем метода, можно выделить неперспективные и эффективные портфели, которые содержат информацию о его процентом составе из отдельных ценных бумаг, о доходе и риске.

Модель Шарпа позволяет значительно сократить объемы вычислений при определении оптимального портфеля, рассматривает взаимосвязь доходности каждой ценной бумаги с доходностью рынка в целом. В настоящее время это наиболее распространенные модели определения характеристик портфеля. Они успешно работают в условиях относительно стабильных фондовых рынков.

Рассмотрим формирование структуры инвестиционного портфеля на основе модели Марковица. В этом случае портфель ценных бумаг характеризуется двумя величинами.

Ожидаемой доходностью

$$Q_1 = \sum_{i=1}^n m_i x_i, \quad (4)$$

где x_i – доля общего вложения, приходящаяся на i -ю ценную бумагу;

m_i – ожидаемая доходность i -й ценной бумаги, %;

Q_1 – ожидаемая доходность портфеля, %.

Мерой риска – среднеквадратическим отклонением доходности от ожидаемого значения

$$Q_2 = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n k_{ij} \cdot x_i \cdot x_j}, \quad (5)$$

где Q_2 – мера риска портфеля;

k_{ij} – ковариация между доходностью i -й и j -й ценных бумаг;

x_i, x_j – доли общего вложения, приходящиеся на i -ю и j -ю ценные бумаги;

n – число ценных бумаг портфеля.

Ковариация доходностей ценных бумаг (σ_{ij}) равна корреляции между ними, умноженной на произведение их стандартных отклонений:

$$k_{ij} = \rho_{ij} \cdot \sigma_i \cdot \sigma_j \quad (i, j = \overline{1, n}), \quad (6)$$

где ρ_{ij} – коэффициент корреляции доходностей между i -й и j -й ценными бумагами;

σ_i, σ_j – стандартные отклонения доходностей i -й и j -й ценных бумаг.

Для $i = j$ ковариация равна дисперсии акции.

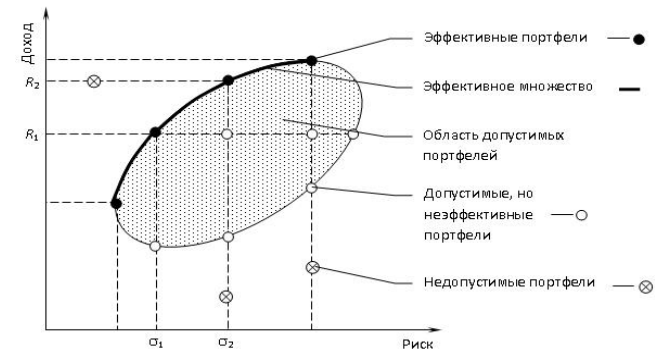
Таким образом, многокритериальная задача оптимизации структуры оптимального инвестиционного портфеля имеет вид:

$$\begin{cases} Q_1 = \sum_{i=1}^n m_i x_i \rightarrow \max_{\{x_i\}} \\ Q_2 = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n k_{ij} \cdot x_i \cdot x_j} \rightarrow \min_{\{x_i\}} \\ \sum_{i=1}^n x_i = 1 \\ x_i \geq 0, i = \overline{1, n} \end{cases} \quad (7)$$

Марковиц ограничивает решение модели тем, что из всего множества «допустимых» портфелей, т.е. удовлетворяющих ограничениям, необходимо выделить те, которые рискованнее, чем другие. При помощи разработанного Марковицем метода критических линий можно выделить неперспективные портфели. Тем самым остаются только эффективные портфели [4].

Объяснение того факта, что инвестор должен рассмотреть только подмножество возможных портфелей, содержится в следующей теореме об эффективном множестве: «Инвестор выберет свой оптимальный портфель из множества портфелей, каждый из которых обеспечивает максимальную ожидаемую доходность для некоторого уровня риска и минимальный риск для некоторого значения ожидаемой доходности». Набор портфелей, удовлетворяющих этим двум условиям, называется эффективным

множеством. Ниже на рисунке представлены недопустимые, допустимые и эффективные портфели, а также линия эффективного множества.



Допустимое и эффективное множества

Из-за недопустимости коротких позиций в модели Марковица на доли ценных бумаг в портфели накладывается условие неотрицательности. Поэтому особенностью этой модели является ограниченность доходности допустимых портфелей, т.к. доходность любого стандартного портфеля не превышает наибольшей доходности активов, из которых он построен.

Рассмотрим формирование структуры инвестиционного портфеля на основе модели Шарпа.

В модели представлена зависимость между ожидаемой доходностью актива и ожидаемой доходностью рынка. Она предполагается линейной. Уравнение модели имеет следующий вид:

$$S = \alpha_{ii} + \beta_{ii} \cdot r_i + \varepsilon_{ii}, \quad (8)$$

где S – доходность i -й ценной бумаги за данный период;

r_i – доходность на рыночный индекс I за этот же период;

α_{ii} – коэффициент смещения;

β_{ii} – коэффициент наклона;

ε_{ii} – случайная погрешность.

Уравнение, записанное без случайной погрешности, является уравнением линейной регрессии. Коэффициент наклона может быть определен по формуле:

$$\beta = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i l_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n l_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}, \quad (9)$$

где x_i – доходность рынка в i -й период времени;

l_i – доходность ценной бумаги в i -й период времени;

n – количество периодов.

По Шарпу коэффициент смещения или сдвига определяет составляющую доходности бумаги, которая не зависит от движения рынка и может быть определена:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{n} - \beta \cdot \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}. \quad (10)$$

где x_i – доходность рынка в i -й период времени;

l_i – доходность ценной бумаги в i -й период времени;

n – количество периодов.

В соответствие с одной из точек зрения, коэффициент смещения является своего рода мерой недооценки или переоценки рынком данной бумаги. Положительное значение свидетельствует о переоценке рынком данной бумаги, отрицательное – свидетельствует о недооценке рынком данной бумаги.

Случайная погрешность показывает, что индексная модель Шарпа не очень точно объясняет доходности ценной бумаги. Разность между действительным и ожидаемым значениями при известной доходности рыночного индекса приписывается случайной погрешности.

Численное исследование задачи формирования структуры инвестиционного портфеля. На предыдущих этапах была сформирована и описана многокритериальная задача оптимизации. Рассмотрим численное исследование задачи оптимизации позволяющей решить вопрос о формировании структуры оптимального портфеля инвестиций.

В качестве исходной информации в систему вносятся данные о доходности ценных бумаг за 2 года по каждому кварталу. Всего рассматривается 8 видов ценных бумаг. В таблице 1 представлена информация о стоимости ценных бумаг различных эмитентов за один инвестиционный сертификат.

Доходность ценной бумаги – это отношение годового дохода по ценной бумаге к ее рыночной цене; норма прибыли, получаемая владельцем ценной

бумаги. В таблице 2 представлена доходность бумаг по каждому виду эмитента.

Таблица 1 – Стоимость инвестиционных сертификатов

НОМЕР КВАРТАЛА	ПРЕДПРИЯТИЯ, КОТОРЫЕ ПРЕДЛАГАЮТ ЦЕННЫЕ БУМАГИ							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1 квартал	2.88	0.289	33.8	0.710	58.350	0.289	23.850	0.710
2 квартал	2.89	0.3	36.2	0.74	60.6	0.2	36.22	0.74
3 квартал	5.23	0.38	57.7	1.08	79.35	0.38	57.75	1.08
4 квартал	6.80	0.42	59.8	1.08	88.6	0.42	59.85	1.18
1 квартал	9.8	0.63	82.7	1.46	92.7	0.63	82.7	1.46
2 квартал	10.7	0.67	76.2	1.32	116.7	0.4	76.25	1.32
3 квартал	11.5	0.68	77	1.3	117.3	0.68	77	1.3
4 квартал	10.4	0.78	86.2	1.5	152	0.78	86.2	1.5
Продажа	10.4	0.99	77.5	1.26	184	0.99	77.5	1.26

Таблица 2 – Стоимость инвестиционных сертификатов

НОМЕР КВАРТАЛА	ПРЕДПРИЯТИЯ, КОТОРЫЕ ПРЕДЛАГАЮТ ЦЕННЫЕ БУМАГИ							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1 квартал	0%	4%	7%	4%	4%	-31%	2%	4%
2 квартал	81%	27%	59%	46%	31%	90%	59%	46%
3 квартал	30%	11%	4%	0%	12%	1%	4%	9%
4 квартал	44%	50	8%	35%	5%	0%	38	4%
1 квартал	10%	6%	-8%	-10%	26%	37%	-8%	10%
2 квартал	7%	1%	1%	-2%	1%	0%	1%	-2%
3 квартал	-9 %	15%	12%	15%	30%	5%	12%	15%
4 квартал	0%	27%	-10	-16%	21%	7%	-10%	16%
среднее	20%	18%	13%	9%	16%	24%	19%	9%

Рассматриваемый банк имеет в обороте 10000 тыс. грн, на основе проанализированных моделей определим структуру различных портфелей

инвестиций и проанализируем какой доход может получить банк, при вложении свободных средств в ценные бумаги. Также определим долю ценных бумаг, которые будут составлять оптимальный портфель инвестиций.

Проанализировав полученный результат можно сделать вывод, что метод Марковица дает большие значения дохода по сформированному портфелю, но и большее значение риска. В таком случае необходимо еще учитывать значение параметра ликвидности, что бы инвестор понимал, какую сумму денег он сможет получить, в случае если доходность акций уменьшится. В методе Шарпа получили меньшее значение риска, но и меньше значения дохода. Также на значение результата в портфеле, сформированном по модели Шарпа, влияет параметр – доходность рынка.

Выводы. Эффективное множество портфеля, сформированного традиционным подходом, содержит те портфели, которые одновременно обеспечивают и максимальную ожидаемую доходность при фиксированном уровне риска, и минимальный риск при заданном уровне ожидаемой доходности; предполагается, что инвестор выбирает оптимальный портфель из портфелей, составляющих эффективное множество.

На основе проведенного анализа методик формирования портфеля и численных результатов задачи были получены следующие результаты: индексная модель Шарпа применима в случае прогнозирования цен акций и анализа рынка и неприемлема для оптимизации структуры портфеля, так как ценные бумаги рассматриваются отдельно; лучшей методикой для формирования оптимальной структуры портфеля ценных бумаг является параметрическая модель Марковица.

Практическая значимость выполненной работы состоит в том, что проведен анализ подходов к формированию инвестиционного портфеля на основе модели Марковица и Шарпа. Установлено наиболее эффективный подход к формированию, позволяющий реализовать принцип непрерывности планирования, определить оптимальный план реализации инвестиционных проектов, расширить возможности финансирования проектов за счет собственных источников.

Список литературы: 1. Дубров А. М. Моделирование рискованных ситуаций в экономике и бизнесе : учебное пособие / А. М. Дубров, Б. А. Лагоша, Е. Ю. Хрусталева, Т. П. Барниновская. – М. : Финансы и статистика, 2001. – 224 с. 2. Полищук Л. И. Анализ многокритериальных экономико-математических моделей / Л. И. Полищук. – Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1989. – 352 с. 3. Колесников В. И. Ценные бумаги / И. В. Колесников. – М. : Финансы и статистика, 2000. – 352 с. 4. Рубцов Б. Б. Мировые фондовые рынки: современное состояние и закономерности развития / Б. Б. Рубцов. – М. : Финансовая академия при правительстве РФ, 2000. – 312 с. 5. Селеванова Т. С. Ценные бумаги: Теория, задачи с решениями, учебные ситуации, тесты / Т. С. Селеванова. – М. : Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2007. – 352 с. 6. Ковалев В. В. Введение в финансовый менеджмент / В. В. Ковалев. – М. : Финансы и статистика, 2001. – 768 с.

Надійшла до редколегії 28.10.2011

А. Г. КРАВЕЦ, д-р тех. наук, проф. ВолгГТУ, Волгоград, Россия;
С. В. ШЕВЧЕНКО, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»;
А. Д. КРАВЕЦ, студент ВолгГТУ, Волгоград, Россия

ГЕНЕРАТОР АГЕНТОВ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ СБОРА ДАННЫХ О ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Розглядається метод генерації агентів мультиагентної системи для здійснення агрегації даних з різних сайтів, присвячених перспективним технологіям. Генератор дозволяє налаштувати агентів збору мультиагентної системи на будь-який обраний сайт.

Рассматривается метод генерации агентов мультиагентной системы для осуществления агрегации данных с различных сайтов, посвященных перспективным технологиям. Генератор позволяет настраивать агентов сбора мультиагентной системы на любой выбранный сайт.

The article contains a review of method of agent generation allowing an aggregation of data from various websites devoted to modern technologies. Generator provides an option to adjust site agents for mining data from any website chosen.

Введение. Технический прогресс направлен в сторону разработки более мощных, быстрых, компактных и совершенных систем, машин и механизмов. Пределом такого развития можно считать искусственные системы, размером с молекулу. Такие системы, построенные из ковалентно связанных атомов, могут быть чрезвычайно устойчивыми и эффективными. Разработкой, созданием и управлением данных систем занимается молекулярная нанотехнология. Эта отрасль открывает широкие перспективы взаимодействия человека с окружающим миром.

Современные технологии оказывают все большее влияние на различные сферы науки и жизни общества. Благодаря нанотехнологиям, огромного прогресса удалось достигнуть ученым в областях химии, физики и медицины. Перспективные технологии активно применяются в промышленном производстве, энергетике, внедряются в транспортной отрасли сельском хозяйстве и, в том числе, при изготовлении продуктов первой необходимости.

Использование перспективных технологий является общепризнанным залогом процветания и высокой экологической безопасности производств современных государств.

Актуальность создания банка данных нанотехнологий определяется возрастающей ролью нанотехнологий в различных сферах науки и жизни общества, ростом числа разрабатываемых технологий и следующей из этого необходимостью организации автоматизированного сбора разрозненных знаний о технических процессах и технологиях, появляющихся на различных Интернет-ресурсах, и хранения собранных данных в унифицированном виде, доступном для конечного пользователя.

Рост числа публикаций, посвященных перспективным технологиям, рис. 1, вынуждает организации, заинтересованные в получении информации по данной тематике, привлекать значительные трудовые ресурсы на поиск информации в сети Интернет и заполнение баз данных необходимой информацией. Создаваемая система построения отчетов предполагает сокращение использования человеческих ресурсов за счет осуществления выборки информации из Интернета, ее классификации на основе различных критериев и автоматического заполнения баз данных.



Рис. 1 – Динамика изменения числа передовых разработок

Таким образом, целью проведенной работы являлось повышение эффективности сбора и анализа информации по перспективным технологиям.

Для сбора информации предлагается применять многоагентную технологию. Многоагентные системы – это сравнительно новое направление в искусственном интеллекте, появившееся на основе эволюции идеи экспертных систем.

Ключевой идеей любой многоагентной системы является делегирование агенту некоторой задачи и соответствующих полномочий для автономного её решения. Агент – активный объект, по своей сложности значительно превосходящий традиционный объект ООП и использующий эти объекты для достижения своих целей путем управления, изменяющего их состояния. Соответственно минимальный набор базовых характеристик произвольного агента включает такие свойства как [1]:

- активность, способность к организации и реализации действий;
- автономность (полуавтономность), относительная независимость от окружающей среды или наличие некоторой «свободы воли», связанное с хорошим ресурсным обеспечением его поведения;

- общительность, вытекающая из необходимости решать свои задачи совместно с другими агентами и обеспечиваемая развитыми протоколами коммуникации;
- целенаправленность, предполагающая наличие собственных источников мотивации, а в более широком плане, специальных интенциональных характеристик.

Идея о делегировании сложных задач программным системам (агентам) позволяет программно представлять и решать сложные, не формализуемые проблемы более естественным образом.

Выбор многоагентной технологии в качестве базовой при проектировании распределённых систем доступа позволяет легко сочетать в единой системе, как универсальные протоколы, так и любые другие частные средства работы с конкретными типами баз данных. Ещё на этапе проектирования в такую систему закладывается гибкость, горизонтальная и вертикальная расширяемость, существенно упрощается решение задач распределения нагрузки между серверами [2].

Применительно к нашей задаче, многоагентный модуль сбора данных о нанотехнологиях включает в себя следующих агентов, рис. 2:

- SiteAgent {1..N} – агент-сборщик, настроенный на определенный сайт о нанотехнологиях. Принимает полный список веб-страниц сайта и отбирает только те из них, которые соответствуют критерию (содержат описание нанотехнологии).
- FormalizationAgent {1..N} – агент, настроенный на определенный сайт, занимающийся приведением отобранных веб-страниц к унифицированному виду.
- GatheringAgent – обобщает полученные данные.
- InterfaceAgent – организует взаимодействие пользовательских данных.
- PickupAgent – задает общие методы и данные для всех сборщиков.

В ходе работы было принято решение о необходимости создания в системе платформы, позволяющей создавать агентов-сборщиков. Платформа позволит значительно расширить возможности системы за счет ввода в систему новых агентов, которые могут быть настроены на ранее не исследованные системой Интернет-ресурсы.

С целью создания такой платформы был проанализирован ряд существующих сред создания мультиагентных систем, в число которых вошли:

- программируемое окружение NetLogo;
- мультиагентный симулятор VisualBots;
- библиотека JADE;
- библиотека MASON.

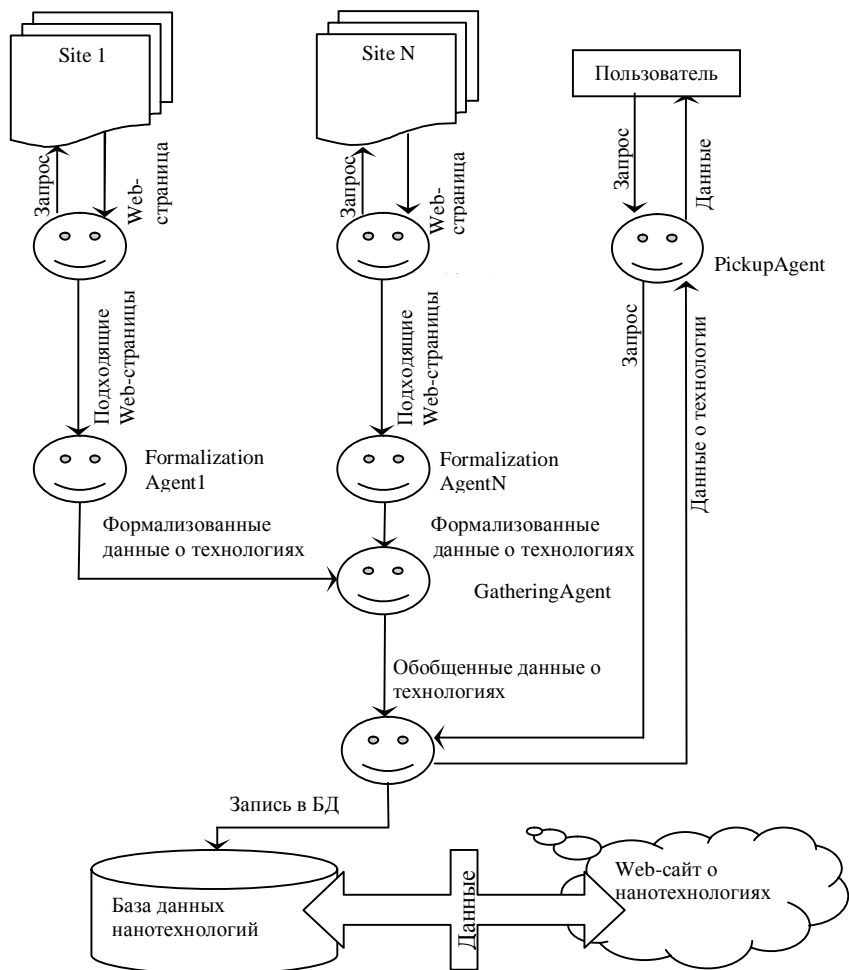


Рис. 2 – Взаимодействие агентов в системе

По результатам анализа у существующих сред был выявлен ряд недостатков, позволяющих поделить их на две группы:

- агенты, созданные в системе, не выполняют никакой реальной работы (MASON, VisualBots);
- агентов можно настроить для выполнения ряда реальных задач, но каждую группу агентов необходимо создавать в системе практически заново, привлекая значительные трудовые ресурсы.

В связи с этим перед платформой особенно остро встала задача обеспечения такого функционала, который бы позволил создавать агентов

для сбора информации с сайтов наиболее простым для пользователя образом, рис. 3. Возможности платформы должны позволить пользователю, не обладающему квалификацией программиста создавать и настраивать агентов-сборщиков, не изменяя их программный код, что достигается путем генерации схожих между собой агентов, осуществляющих сбор информации при помощи содержащихся в каждом агенте отдельно наборов ключей.

Предполагается, что эти наборы ключей, а также сайты подходящей тематики будут внесены в систему разработчиком конкретной мультиагентной системы, основанной на данной платформе. При этом разработчик может не обладать квалификацией программиста, но должен быть экспертом в тематике, которой посвящена создаваемая многоагентная система.

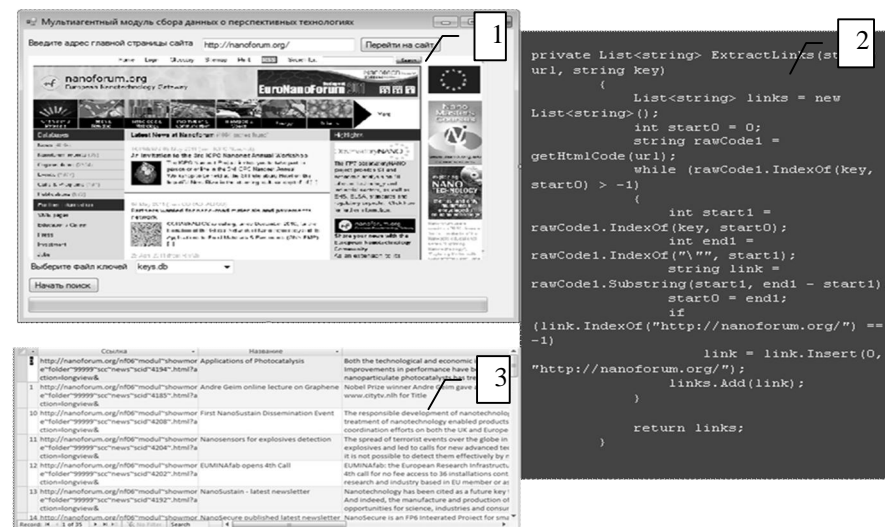


Рис. 3 – Пример работы платформы: 1 – Исходный сайт, 2 – сгенерированный код модуля агента, 3 – данные, загруженные с исходного сайта

С целью расширения функциональности программы и обеспечения эффективного поиска информации предполагается создать банк интеллектуальных методов поиска информации. Банк должен содержать готовые реализации наиболее популярных алгоритмов поиска и агрегации информации. На основании одного из этих алгоритмов, выбранного пользователем, генератор будет создавать агентов поиска для агрегации информации на сайтах.

Использование современных интеллектуальных методов поиска информации позволит сократить время работы каждого агента и увеличить точность поиска материала.

Среди перспектив развития данной платформы можно выделить создание ряда готовых мультиагентных систем на базе генераторов и предоставление доступа к ним, основанного на технологии облачных вычислений.

Выводы. По результатам работы были достигнуты все выдвинутые ранее критерии эффективности.

Новизна данной работы заключается в следующем:

- Система позволяет осуществлять сбор информации без участия пользователя. Кроме того в ней хранится информация о технологическом процессе.
- На основе предложенной модели разработана система, позволяющая ускорить процесс изучения нанотехнологий.
- Создана платформа, позволяющая без вмешательства в программный код создавать в системе дополнительных агентов сбора информации.

Агенты, генерируемые создаваемой платформой, могут быть настроены для сбора информации с сайта любой тематики, позволяя создать формализованные, актуальные банки данных, используя информацию с любого доступного сайта, внесенного в систему.

Список литературы: 1. *Кравец А. Г.* Мультиагентный модуль сбора вакансий с порталов региональных кадровых агентств в рамках интеллектуальной среды «Кадровый резерв» / *А. Г. Кравец, А. С. Антонец, Е. А. Заворотнов* // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2007. – № 2. – С. 38–42. 2. *Крыжановский А. И.* Применение кооперативного обучения и прогнозирования в мультиагентных системах / *А. И. Крыжановский, П. С. Пыхтин* // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2010. – № 6 (66). – Сер.: Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах, вып. 8. – С. 106–110.

Надійшла до редколегії 16.04.2012

УДК 004.8

А. Е. ГОЛОСКОКОВ, канд. техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»;
Е. С. ГАВРУСЬ, студентка НТУ «ХПИ»

ПОСТРОЕНИЕ ПРОЦЕДУРЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ НАГРЕВА ЗАГОТОВОК В ИНДУКЦИОННОЙ ПЕЧИ

В даній статті розглянута задача синтезу процедури інтелектуального управління процесом нагріву заготовок в індукційній печі. Описано основні проблеми, пов'язані з даною процедурою, показана актуальність даних проблем та сформульована постановка задачі процедури

інтелектуального управління процесом нагріву заготовок в індукційній печі. Описані методи рішення даної задачі та подальші напрямки досліджень.

В данной статье рассмотрена задача синтеза процедуры интеллектуального управления процессом нагрева заготовок в индукционной печи. Описаны основные проблемы, связанные с данной процедурой, показана актуальность данных проблем и сформулирована постановка задачи исследования процедуры интеллектуального управления процессом нагрева заготовок в индукционной печи. Описаны методы решения данной задачи и дальнейшие пути исследований.

In given article is considered the problem of synthesis of procedure of intellectual management by process of heating of blanks in the induction furnace. Describes the basic problems connected with given procedure, shown the actuality of the given problems and formulate statement of a research problem of procedure of intellectual management by process of heating of blanks in the induction furnace. Describes methods of the decision of the given problem and the further ways of researches.

Введение. Ускоренный темп роста различных областей промышленности и связанное с ним расширение областей применения процессов индукционного нагрева, значительное увеличение номенклатуры изготавливаемых изделий и необходимость быстрого освоения производства большого числа новых заготовок высокого качества, снижения стоимости их изготовления — все это требует коренного изменения системы технологической подготовки штамповочного производства за счёт использования ЭВМ для автоматизации и оптимизации процессов индукционного нагрева.

Синтез системы автоматического управления нагревательными устройствами зависит от их конструктивных особенностей, технологии нагрева металла и др. Однако, несмотря на различие в назначении и конструкциях нагревательных устройств, системы автоматического управления, в основном, однотипны и являются системами поузловой стабилизации отдельных параметров теплового режима.

Системы поузловой стабилизации отдельных параметров теплового режима, как правило, сконструированные без должного учёта теплотехнических и технологических основ работы нагревательных устройств и технологических регламентов процесса нагрева. Такими системами предусматривается:

- измерение температур в каждой зоне;
- измерение расхода материалов;
- измерение давления и напряжения;
- автоматическое регулирование температур во всех зонах печи.

Как правило, все печи оснащены узлами аварийной сигнализации и отсечкой воздуха при падении давления [1].

Нагревательные устройства, являются объектами с переменной производительностью, что обычно связано с неравномерной работой оборудования, а также различным сортаментом продукции. При автоматической стабилизации параметров теплового режима обслуживающий

персонал вынужден вручную устанавливать новые задачи регулировщикам при всякой смене производительности и различных параметров, причём каждый работник по-своему выбирает конечные задачи параметров, внося субъективный фактор в систему управления и, естественно, во многих случаях приводит к ухудшению качественных и технико-экономических показателей процесса нагрева.

Согласно типовым требованиям технологии, индукционная нагревательная установка (ИНУ) должна обеспечивать достижение заданной конечной температуры изделия, нагревать, с определённой допустимой неравномерностью по его объёму, под которой понимается предельно возможная величина абсолютного отклонения температурного поля от заданной в пределах фиксированной области изменения пространственных координат.

Для того чтобы обеспечить заданные температурные кондиции заготовок в ИНУ должно быть получено соответствующее результирующее температурное поле изделий, которые нагреваются, с учётом последующего периода охлаждения [2].

Таким образом, на основе приведенного выше анализа существующих систем управления процессом нагрева заготовок можно сделать вывод о том, что системы управления, применяемые в настоящее время, обладают определённым числом проблем. К ним можно отнести:

- ручная стабилизация параметров;
- присутствие субъективного мнения при установке параметров нагрева;
- ручная подача на загрузочный стол материалов для изготовления заготовок;
- неточный расчёт параметров нагрева и т.д.

Таким образом, анализ рассматриваемых проблем управления процессом нагрева определяет следующие задачи:

- автоматизация процесса нагрева;
- разработка процедуры интеллектуального управления процессом нагрева;
- оптимизация структуры установки индукционного нагрева.

В данной работе рассматривается решение задачи построения процедуры управления процессом нагрева заготовок в индукционной печи.

Описание объекта исследования. В данном исследовании рассматривается нагрев прямоугольных листовых заготовок, изготовленных из стали марки 09Г2С. В общем случае, процесс нагрева заготовок такого типа описывается уравнением теплопроводности следующего вида:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right), \quad (1)$$

где a – коэффициент температуропроводности стали марки 09Г2С.

Для того чтобы более полно описать процесс нагрева, добавим к уравнению (1) начальные и граничные условия.

С учетом того, что начальная температура заготовок равна 20°C, можно записать следующие начальные условия:

$$T(x, y, 0) = 20.$$

Также необходимо дополнить полученные уравнения граничными условиями 1 типа, так как необходимо указать распределение температуры по поверхности тела.

Записав все приведенные выше уравнения в систему, получаем математическую модель процесса нагрева прямоугольных листовых заготовок в индукционной печи:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right),$$

$$T(x, y, 0) = 20, \quad (2)$$

$$T(x, y, \tau) \Big|_{x,y=S} = f(x, y, \tau).$$

Полученная система уравнений является математической моделью процесса нагрева заготовок в индукционной печи. Данная модель относится к классу дифференциальных уравнений эллиптического типа [3]. Уравнения такого типа можно решать с помощью численных методов.

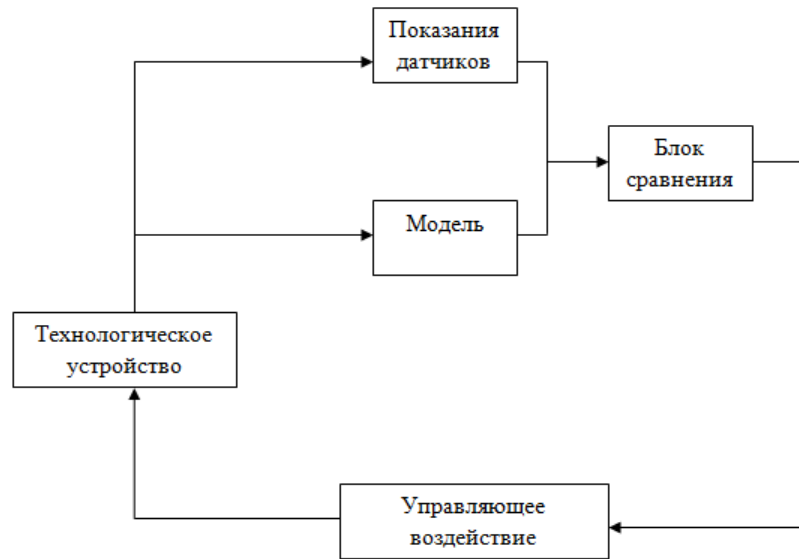
Постановка задачи. В настоящее время существуют различные подходы к решению задачи управления процессом нагрева заготовок в индукционной печи. К ним можно отнести:

- подход, основанный на применении классической теории управления;
- подход, основанный на применении современной теории управления (оптимальное управление);
- подход, основанный на применении нечеткой логики;
- подход, основанный на применении нейросетевых технологий.

В данном исследовании производится синтез процедуры управления процессом нагрева заготовок в индукционной печи на основании применения теории нечеткой логики.

Задача синтеза процедуры такого рода состоит в следующем: на основании имеющихся данных о предыдущих нагревах и знании эталонных значений параметров нагрева сформировать такое управляющее воздействие, при котором не было бы перегрева или недогрева заготовок.

Структурно такую процедуру можно представить следующим образом:



Далее приведено подробное описание приведенной схемы.

Изначально, в технологическом устройстве заданы определённые параметры нагрева. Используя эти параметры необходимо сформировать математическую модель процесса нагрева. В данном случае нею будет являться краевая задача, состоящая из уравнения теплопроводности, начальных и граничных условий (2). Далее необходимо решить данную задачу, получив при этом значение распределения температуры по поверхности заготовки в определённые моменты времени. Такими моментами времени будут выступать моменты замера температуры на контрольных точках.

Следующим шагом будет сравнение эталонных значений температуры, полученных при решении краевой задачи, с реальными значениями температуры на контрольных узлах. Задается значение погрешности ε . Для листовых заготовок, изготовленных из стали марки 09Г2С $\varepsilon = 50^\circ\text{C}$. Если выполняется равенство (3), то параметры нагрева остаются неизменными, в противном случае – необходимо параметры изменить.

$$|t_{эм} - t_{набл}| < \varepsilon, \quad (3)$$

где $t_{эм}$ – значение температуры, полученное при решении краевой задачи (эталонное значение);

$t_{набл}$ – наблюдаемое значение температуры.

Субъективизм при изменении параметров допускать нельзя, поэтому необходимо сформировать новое управляющее воздействие. Данное управляющее воздействие формируется следующим образом. Искусственно вводится нечёткость. Это позволяет интерпретировать параметры объекта управления как нечёткие множества и далее использовать их для построения процедуры управления, которая базируется на нечёткой логике.

Идея нечеткого управления состоит в создании машины нечеткого вывода. Нечеткие системы основаны на правилах продукционного типа, в которых в качестве посылки и заключения используются лингвистические переменные. Целевая установка процесса управления связывается с выходной переменной нечеткой системы управления, но результат нечеткого логического вывода является нечетким, а физическое исполнительное устройство не способно воспринять такую команду. Необходимы специальные математические методы, позволяющие переходить от нечетких значений величин к вполне определенным. В целом весь процесс нечеткого управления можно разбить на несколько шагов: фаззификация, разработка нечетких правил, логический вывод и дефаззификация.

Далее подробно опишем каждый из этих этапов.

На этапе процедуры фаззификации (перехода к нечеткости) точные значения входных переменных преобразуются в значения лингвистических переменных посредством применения некоторых положений теории нечетких множеств, а именно – при помощи определенных функций принадлежности.

В нечеткой логике значения любой величины представляются не числами, а словами естественного языка и называются термами. Так, значением лингвистической переменной «отклонение от эталонного значения температуры» являются термы большое, среднее, малое и т. д.

Для реализации лингвистической переменной необходимо определить точные физические значения ее термов. Также необходимо определить степень принадлежности данного физического значения температуры лингвистической переменной «отклонение от эталонного значения температуры» [4].

В основу создаваемой системы управления положены правила продукционного типа. В данном исследовании используются правила вида: «если...то...». Здесь выражение, стоящее после если, называют предпосылкой (условием), а выражение, стоящее после то, – заключением. База правил считается заданной, если задано множество продукционных правил, множество входных и выходных переменных.

$$P_i : \text{если } t_{i1} \text{ есть } a_{i1} \text{ и если } t_{i2} \text{ есть } a_{i2} \dots \text{и если } t_{ij} \text{ есть } a_{ij} \text{ то } \omega_i \text{ есть } U_{i1}(F_i)j$$

$$t_j \in T, a_j \in A, U_i \in U, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m},$$

где T – множество входных лингвистических переменных;

- A – терм-множество входной лингвистической переменной;
- U – терм-множество выходной лингвистической переменной;
- F – коэффициент определенности или уверенности, выражающий количественную оценку степени истинности или относительный вес нечеткой продукции;
- n – количество правил;
- m – количество переменных.

Количество правил будет зависеть от количества входных переменных, а количество подусловий в правиле – от количества контрольных точек замера температуры.

Процедура логического вывода в системах, основанных на продукционных моделях, в принципе не сложная. Как правило, она включает такие части:

- рабочую память (базу данных) – фактические данные, описывающие возможное и текущее состояние предметной области – хранящуюся в оперативной памяти;
- базу продукционных правил, содержащую все допустимые зависимости между фактами предметной области и хранящуюся в долговременной памяти;
- механизм логического вывода.

Первые два пункта, описывающие процедуру логического вывода, были приведены ранее. Далее рассмотрим реализацию механизма логического вывода. Существует несколько алгоритмов нечёткого вывода. К ним относят:

- алгоритм Мамдани;
- алгоритм Такаги–Сугено;
- алгоритм Цукамото;
- алгоритм Ларсена.

В данной работе рассматривается алгоритм нечеткого вывода Мамдани. Этот алгоритм можно представить следующей последовательностью шагов:

- находятся степени истинности предпосылок каждого из правил $a_{ij}(t_{ij0}), i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$, где t_{ij0} – четкое значение входной переменной;
- находятся уровни отсечения для предпосылок каждого из правил с использованием операции минимум:

$$a_{ij} = \min(a_{ij}(t_{ij0})), i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m},$$

- затем находятся четкие значения U_{ij} из уравнений:

$$a_{ij} = \omega_i(U_{ij}), i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m},$$

- далее с помощью процедуры дефазификации получают четкое значение выходной переменной.

Дефазификацией называется процедура преобразования нечеткого множества в четкое число. В теории нечетких множеств процедура дефазификации аналогична нахождению характеристик положения (математического ожидания, моды, медианы) случайных величин в теории вероятности. Простейшим способом выполнения процедуры дефазификации является выбор четкого числа, соответствующего максимуму функции принадлежности. Однако пригодность этого способа ограничивается лишь одноэкстремальными функциями принадлежности.

Существуют следующие методы дефазификации:

- центра тяжести;
- медианы;
- наибольшего из максимумов;
- наименьшего из максимумов;
- центра максимумов.

Так как замер температуры производится в дискретные моменты времени, то в данном случае для проведения процедуры дефазификации будет использована следующая формула:

$$U_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij} \cdot U_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij}}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m},$$

где n – количество правил;

m – количество переменных.

Эта формула является дискретным вариантом метода центра тяжести.

Полученное значение здесь рассматривается как температура заготовки на выходе из печи [5].

После того, как управляющее воздействие создано и получены новые параметры нагрева, вся, описанная выше, последовательность шагов повторяется для нового нагрева.

Полученные результаты будут использованы для дальнейших исследований. Будет синтезирована процедура управления процессом нагрева заготовок в индукционной печи на основе применения нескольких подходов.

Список литературы: 1. Круашивили З. В. Автоматизированный нагрев стали / З. В. Круашивили. – М. : Металлургия, 1973. – 328 с. 2. Альтгаузен А. П. Электротермическое оборудование / А. П. Альтгаузен. – М. : Энергия, 1980. – 460 с. 3. Рапопорт Э. Я. Оптимизация процессов индукционного нагрева металлов / Э. Я. Рапопорт. – М. : Металлургия, 1993. – 223 с. 4. Деменков Н. П. Нечеткое управление в технических системах / Н. П. Деменков. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. – 200 с. 5. Кузьмин А. В. Интеллектуальные технологии управления. Искусственные нейронные сети и нечеткая логика / А. В. Кузьмин. – Телеком. Горячая линия, 2004. – 143с.

Поступила в редколлегию 20.03.2012

Д. В. ЮДИН, магистрант ВолгГТУ, Волгоград, Россия;
А. С. ГУРТЯКОВ, аспирант ВолгГТУ, Волгоград, Россия

НАЧАЛЬНЫЕ ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОРПОРАТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ

Висока кваліфікація персоналу є запорукою успішної діяльності будь-якої організації. Впровадження систем корпоративного навчання покликане забезпечити підвищення кваліфікації співробітників, а також отримання спеціальних навичок і умінь. У статті висвітлено початкові етапи розробки системи корпоративного навчання, сформульовано вимоги до системи, визначено набір виконуваних функцій і набір модулів, необхідний для їх виконання.

Высокая квалификация персонала является залогом успешной деятельности любой организации. Внедрение систем корпоративного обучения призвано обеспечить повышение квалификации сотрудников, а также получение специальных навыков и умений. В статье освещены начальные этапы разработки системы корпоративного обучения, сформулированы требования к системе, определен набор выполняемых функций и набор модулей, необходимый для их выполнения.

Highly qualified staff is the key to the success of any organization. The introduction of corporate education enable to improve worker's personal skills. The article describes the development of the system of corporate education. It describes the system of corporate education, the requirements to the functional structure of the system and architecture.

Введение. Постоянное совершенствование старых и внедрение новых технологий, изменения в законодательстве, охват новых сфер деятельности и многие другие причины вынуждают персонал любой организации постоянно адаптироваться к новым условиям работы. В определенных же сферах, таких как безопасность жизнедеятельности, подготовка высококвалифицированных специалистов играет особо важную роль. Все это неизбежно ведет к внедрению в организации систем корпоративного обучения [1].

Под корпоративным обучением понимают повышение квалификации, а также получение специальных навыков и умений сотрудниками компании. Это дополнительное образование может быть связано как с необходимостью предоставления современных качественных услуг, так и со стратегическими задачами компании. Полный цикл корпоративного обучения, как правило, включает в себя:

1. Анализ потребностей организации в обучении.
2. Разработку и согласование программы обучения.
3. Создание самой программы корпоративного обучения.
4. Подготовка системы образования для сотрудников компании.
5. Проведение обучения.
6. Оценка и возможное последующее сопровождение результатов программы корпоративного обучения.

На сегодняшний день не возникает сомнений, что система корпоративного обучения обязательно должна быть автоматизированной. Автоматизированные обучающие комплексы хорошо зарекомендовали себя в сфере образования, они позволяют в кратчайшие сроки охватить необходимые учебные программы, обеспечить индивидуальность и непрерывность обучения без отрыва от основного вида деятельности. Автоматизированные системы также предоставляют мощные инструменты контроля за процессом обучения и его результатами. Перед разработкой системы корпоративного обучения обязательно следует провести тщательный анализ преследуемых целей, сформировать требования к разработке на основе анализа имеющихся аналогов, а также определить функциональный состав и архитектуру.

Постановка задачи. Выбор цели разработки системы корпоративного обучения должен опираться на глубокий анализ деятельности компании и потребностей персонала в дополнительном обучении. Необходимо также определиться, когда мы хотим получить результат – в долгосрочной перспективе или в ближайшее время. Как правило, разработка автоматизированной системы корпоративного обучения преследует следующие цели:

1. Достижение устойчивого конкурентного преимущества компании.
2. Повышение качества обслуживания потребителей.
3. Повышение общей организационной производительности.
4. Повышение индивидуальной эффективности сотрудников.
5. Выявление и развитие перспективных сотрудников.
6. Управление знаниями, организация преемственности знаний.
7. Адаптация сотрудников к изменениям в условиях работы.
6. Формирование кадрового резерва.
9. Укрепление и развитие корпоративной культуры.

Поставив реалистичные цели, нужно определиться с методами и технологиями, на которые будет опираться наша система. Для этого рассмотрим ряд уже существующих аналогов.

Обзор аналогов и концепция разрабатываемой системы. На данный момент существует большое количество систем корпоративного образования, позволяющих проводить обучение в самых различных сферах [2]. Рассмотрим некоторые из них, определим общие черты и характерные особенности, а затем составим требования к разработке системы.

Система дистанционного бизнес-образования. Данная система предоставляет возможность бесплатного обучения по различным курсам (основы предпринимательства, экономика, менеджмент, основы гуманитарных знаний, информационные технологии и др.). Она использует модульный принцип организации, предоставляя возможность компании выбирать необходимые курсы и набор модулей из предложенного перечня. Обучение происходит дистанционно, т.е. без отрыва сотрудников от их

основной деятельности. За результаты обучения отвечает аттестационный модуль. Используемый метод проверки знаний – классическое тестирование.

Система дистанционного образования Элитриум. Данная система тоже включает большой набор учебных курсов (финансовый менеджмент, планирование, международная экономика и др.). Обучение и контроль знаний также происходят дистанционно, непосредственно на рабочих местах сотрудников. Все включенные учебные материалы оцифрованы и предоставляются в формате PDF и HTML. Содержание системы (набор модулей и курсов) формируется индивидуально для каждой компании, исходя из ее специфических нужд и потребностей в обучении персонала, на основе каталога курсов.

Система Competentum. В отличие от рассмотренных выше систем, эта представляет собой платформу непосредственно для создания учебных курсов. С ее помощью можно автоматизировать процедуры сбора и рассмотрения заявок на обучение, выдавать учебные задания и отслеживать результаты их выполнения, создавать учебные курсы, используя документы любых форматов, а также оценивать уровень знаний с помощью тестов. Система Competentum взаимодействует с порталом Microsoft SharePoint, использует все его возможности для организации эффективной среды обучения.

На основании обнаруженных достоинств и недостатков рассмотренных систем была составлена следующая таблица.

Сравнительный анализ систем корпоративного образования

Критерий	Система дистанционного бизнес-образования	Элитариум	Competentum
Организация обучения	дистанционное	дистанционное	дистанционное
Кроссплатформенность	нет	да	нет
Веб-ориентированность	нет	да	да
Наличие в системе готовых курсов	да	да	нет
Возможность адаптации системы под особенности компании	нет	нет	да
Помощь в подборе программы обучения	да	да	нет

Таким образом, можно сделать вывод, что существующие системы корпоративного обучения ориентированы на дистанционное обучение через сеть Интернет. И учебные занятия, и контроль за результатами происходят непосредственно на рабочем месте. Также можно выделить специализиро-

ванные системы, которые предоставляет возможность выбора только из представленных в системе курсов и платформы для разработки собственных учебных курсов, такие как Competentum.

На основании проведенного сравнения были составлены требования к разработке системы корпоративного обучения:

1. Дистанционное обучение и контроль знаний.
2. Высокая масштабируемость, в том числе возможность создания собственных учебных курсов.
3. Кроссплатформенность системы.
4. Веб-ориентированность.

Функциональный состав. Для выполнения поставленных целей автоматизированная система корпоративного обучения должна выполнять следующие функции:

1. Планирование и стандартизацию обучения.
2. Разработку и реализацию учебных программ.
3. Управление обучением (формирование бюджета, ведение отчетности, оценка эффективности результатов и т.д.).
4. Проведение аттестации (в тестирования).
5. Управление персоналом, проходящим обучение.
6. Управление профессиональными компетенциями.
7. Разработка тестовых заданий.
8. Работа с учебными материалами.
9. Проведение семинаров.
10. Авторизация и разграничение прав пользователей.
11. Общение и обмен опытом между сотрудниками.

Анализ технологий дистанционного образования. Для реализации этих функций наиболее приемлемы технологии и средства дистанционного образования (ДО).

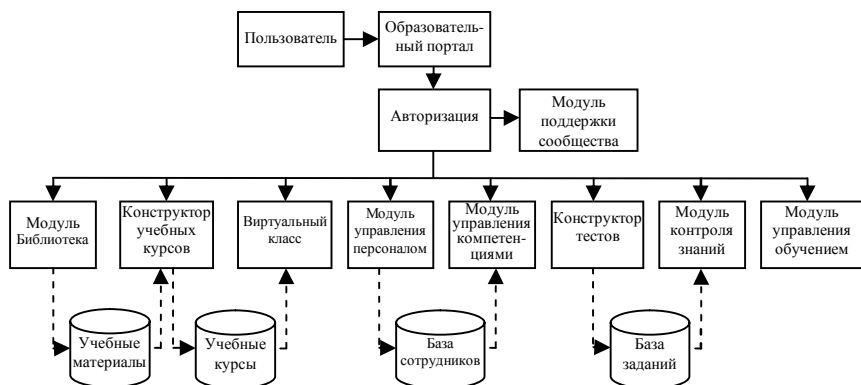
Непрерывное развитие современных сетевых технологий неизбежно оказывает влияние на методы и приемы дистанционного обучения. Актуальной задачей является повышение качества дистанционного образования и его доступности [2].

Появление новых форм сетевых технологий неизбежно оказывает влияние на методы и приемы дистанционного обучения. Сейчас в центре внимания специалистов сопоставление и осмысление в сравнении технологий Web 1.0 и 2.0 и, соответственно, E-Learning 1.0 и 2.0. E-Learning 1.0 ориентирован на широкую аудиторию унаследован ДО из самых древних времен. Содержание, приемы и методы обучения здесь определяются сверху вниз. При этом широковещательный тип доставки контента и управления им через систему управления обучением посредством персонального компьютера создавал иллюзию индивидуальности обучения. До появления Web 2.0 составители учебных курсов в целях гуманизации учебного процесса использовали игровые, симуляционные, тренинговые подходы. Технологии

Web 2.0 «в лице» wiki, блогов, социальных сетей и пр. в сравнении с Web 1.0, напротив, чрезмерно свободны и плохо поддаются формальному управлению и контролю. При этом очевидно, что E-Learning 1.0 не исчерпал своего апробированного образовательного потенциала.

Актуальной задачей является интеграция технологий E-Learning 1.0 и 2.0, применение идей педагогического и интерактивного дизайна для создания систем дистанционного образования.

Архитектура системы. Разрабатываемая система корпоративного обучения должна иметь модульную структуру (см. рисунок).



Каждый из ее элементов выполняет свои функции:

1. Образовательный портал – веб-интерфейс системы корпоративного обучения.
2. Модуль поддержки сообщества – интернет-форум, необходимый формирования для экспертных сообществ и сообществ по интересам.
3. Модуль управления обучением – элемент, отвечающий за планирование и управление корпоративным обучением.
4. Модуль библиотека – пополнение банка учебных материалов.
5. Конструктор учебных программ – набор инструментов для создания собственных учебных курсов.
6. Виртуальный класс – элемент, отвечающий непосредственно за обучение: работу по учебным курсам, проведение онлайн-семинаров и тренингов, выполнение заданий в реальном времени.
7. Модуль управления персоналом – по сути, ведение базы сотрудников, проходящих корпоративное обучение.
8. Модуль управления профессиональными компетенциями – элемент, отвечающий за решение задач, связанных с учетом

профессиональных компетенций сотрудников (подбор команды на проекты и т.п.).

9. Конструктор тестов – инструмент для создания тестовых заданий различных видов.
10. Модуль оценки – проведение тестирований, зачетов, экзаменов, оценка и аттестация персонала.

Представленного набора модулей достаточно для достижения поставленных целей и эффективной работы системы корпоративного обучения.

Выводы. На сегодняшний день профессиональные качества и высокая квалификация персонала являются залогом успешной деятельности любой организации. Предпосылками к разработке систем корпоративного обучения может стать рост компании (например, открытие новых филиалов, увеличение численности персонала), освоение новых рынков, смена профиля деятельности компании, а также нехватка квалифицированных работников по требуемому направлению на рынке труда [4]. В ходе работы были освещены начальные этапы разработки системы корпоративного обучения, сформулированы требования к системе, определен набор выполняемых функций и набор модулей, необходимый для их выполнения. Напоследок, стоит отметить, что для успешного внедрения автоматизированной системы корпоративного обучения необходимо учитывать как взгляды руководящего состава на обучение, так и мотивацию персонала, его заинтересованность в повышении своей квалификации, навыки владения информационными технологиями и другие факторы.

Список литературы. 1. Гершунский Б. С. Перспективные проблемы развития системы непрерывного образования / Б. С. Гершунский. М.: НИИ ВО РАН, 1987. – 146 с. 2. Воробьев К. В. Организация корпоративного обучения и проверки знаний / К. В. Воробьев, М. Ю. Елизарьева // Безопасность труда в промышленности. – 2007. – №1. – С. 37–38 3. Исаев А. В. Современные тенденции построения общеобразовательных программ / А. В. Исаев, А. Г. Кравец // Сборник научных трудов SWorld по материалам международной научно-практической конференции. – 2009. – Т. 16. № 4. – С. 65–71. 4. Кравец А. Г. Теория согласованного управления региональными ресурсами рынка труда и качеством подготовки специалистов: основные положения / А. Г. Кравец // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2007. – № 1. – С. 86–89. 5. Обухов А. С. Автоматизация управления уровнем профессиональных компетенций специалистов на предприятии. / А. С. Обухов, А. Г. Кравец // Программные продукты и системы. – 2008. – № 2. – С. 85–87.

Надійшла до редколегії 14.04.2012

Г. Ю. СИДОРЕНКО, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»;
А. С. МАЗМАНИШВИЛИ, д-р физ.-мат. наук, профессор,
 профессор СГУ, Сумы

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТЬЮДЕНТА В СЛУЧАЕ КОРРЕЛИРОВАННЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

В статті розглянуто типові задачі математичної статистики, що відносяться до корельованих послідовностей (часовим відлікам) з заданим фіксованим рівнем статистичного зв'язку між ними. Одержані аналітичні вирази, що описують розподіл Стюдента у випадку корельованих відліків. Представлені графіки функцій та розподілу Стюдента при наявності кореляції.

Рассмотрены типичные задачи математической статистики, отнесенные к коррелированным последовательностям (временным отсчетам) с заданным фиксированным уровнем статистической связи между ними. Получены аналитические выражения, описывающие распределение Стюдента для случая коррелированных отсчетов. Представлены графики функции и распределения Стюдента при наличии корреляции.

The typical problems of mathematical statistics, related to correlated sequences (to time counts) with a given fixed level of statistical correlation between them, are considered. The analytic expressions featuring distributions Student's ones in the case of correlated counts are obtained. The charts of functions and distributions Student's in the case of correlated counts are introduction.

Введение. Многие типичные задачи математической статистики рассматриваются, в частности, в предположении о независимости фигурирующих в них элементов последовательностей (отсчетов) x_1, \dots, x_n . К таким задачам, прежде всего, относятся распределение χ^2 , распределение Стюдента [1-3]. Между тем, вполне возможна ситуация, когда наблюдаемые данные или данные, предназначенные для статистической обработки, в той или иной степени зависимы, что часто встречается в различных экспериментах. Возможно также, что информация о коррелированности отсчетов отсутствует или неизвестна к моменту обработки результатов эксперимента. В этой связи возникает вопрос о степени влияния корреляции данных на распределения рассматриваемых в задачах математической статистики величин (прямые задачи).

Целью настоящей работы является, таким образом, изучение степени влияния коррелированности отсчетов на статистический закон распределения Стюдента, при этом в качестве источника отсчетов будет использована коррелированная последовательность.

Основная часть. Рассмотрение будет проведено при следующих предположениях:

- а) Используемые ниже наборы отсчетов $\{x_1, \dots, x_n\}$ – совокупность сечений объемом n , взятых с постоянным временным шагом τ из

реализации нормального Марковского процесса Орнштейна-Уленбека (ОУ-процесса) [4–6] $x(t)$ с интенсивностью σ и декрементом ν ;

- б) Нулевой отсчет y_0 случайной величины Y , используемый в распределении Стюдента, нормален, независим от совокупности $\{x_1, \dots, x_n\}$ и также имеет интенсивность σ .

Далее угловыми скобками $\langle . \rangle$ будем обозначать операцию нахождения математического ожидания относительно указываемых индексом случайных величин.

Теорема 1.

В принятых предположениях аддитивный функционал

$$J = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k^2 \quad (1)$$

имеет равновесную производящую функцию

$$Q_J(\lambda; q, n) \equiv \langle \exp(-\lambda J) \rangle_J \quad (2)$$

следующего вида

$$Q_J(\lambda; q, n) = \left(\frac{(1-q^2)R}{(a_+ - q^2)^2 a_+^{N-1} - (a_- - q^2)^2 a_-^{N-1}} \right)^{1/2}, \quad (3)$$

где

$$a_{\pm} = \frac{1}{2} \left(1 + q^2 + \frac{2\lambda\sigma^2}{n} (1 - q^2) \pm R \right), \quad R = \left[\left((1 + q^2) + \frac{\lambda\sigma^2}{n} \right)^2 - 4q^2 \right]^{1/2} \quad (3a)$$

и $q = \exp(-\nu\tau)$ – коэффициент корреляции соседних отсчетов ОУ-процесса.

Плотность распределения вероятностей $f_J(J)$ случайной величины J связана с производящей функцией $Q_J(\lambda; q, n)$ обратным преобразованием Лапласа.

Таким образом, учет корреляции в указанной стратегии представляет практический интерес.

Важной особенностью теории оценивания и принятия решений является учет статистической связи между оценками уже известных распределений. В теории вероятностей и математической статистике известен аналог данному функционалу – это χ^2 -распределение с числом степеней свободы равным $N - 1$. Представляет интерес сравнить плотности распределения вероятностей

рассматриваемого критерия качества (1) с χ^2 -распределением. В работе [7] показано, что плотность распределения данного функционала совпадает с плотностью χ^2 -распределения только в том случае, когда коэффициент корреляции $q=0$, то есть корреляция между соседними сечениями случайного процесса отсутствует. В реальности, однако, значения случайных процессов в точках с соседними отсчетами являются в той или иной степени коррелированными.

Рассмотрим теперь случайную величину – стандартизованное отношение Стьюдента

$$T = Y / \sqrt{J} = \frac{y_0}{\left(\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k^2\right)^{1/2}}. \quad (5)$$

Статистический анализ случайной величины T проведем в терминах её характеристической функции $\Psi_T(\xi)$, которую запишем в виде

$$\Psi_T(\xi) = \left\langle \exp\left(i\xi Y / \sqrt{J}\right) \right\rangle_{Y,J}, \quad (6)$$

здесь индексами указаны случайные величины, по которым необходимо произвести статистическое усреднение.

Из имеющихся двух случайных величин, пользуясь (4а), выполним усреднение по случайной величине Y :

$$\Psi_T(\xi) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{dy_0}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{y_0^2}{2}\right) \left\langle \exp\left(i\xi y_0 / \sqrt{J}\right) \right\rangle_J = \left\langle \exp\left(-\frac{\xi^2}{2J}\right) \right\rangle_J.$$

Отсюда для плотности распределения $f_T(t)$ случайной величины T

$$f_T(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} d\xi \exp(i\xi t) \Psi_T(\xi), \quad (7)$$

имеем после интегрирования по ξ

$$f_T(t) = \left\langle \sqrt{\frac{J}{2\pi}} \exp(-t^2 J / 2) \right\rangle_J,$$

или, раскрывая оператор усреднения,

$$f_T(t) = \int_0^{\infty} \frac{dJ}{\sqrt{2\pi}} g_J(J) \sqrt{J} \exp(-t^2 J / 2),$$

где $g_J(J)$ – плотность распределения вероятностей случайной величины J , отвечающая производящей функции $Q_J(\lambda; q, n)$ (3),

$$g_J(J) = \frac{1}{2\pi} \int_C d\lambda \exp(\lambda J) Q_J(\lambda; q, n),$$

при этом контур интегрирования C выбирается таким образом, чтобы оставить все особенности функции $Q_J(\lambda; q, n)$ слева. Подставляя это выражение в (7), находим после интегрирования по J

$$f_T(t) = \frac{1}{2\pi i} \int_C d\lambda Q_J(\lambda; q, n) (t^2 - 2\lambda)^{-3/2}. \quad (8)$$

Отсюда получим для интегральной функции распределения $F_T(t)$ случайной величины T

$$F_T(t) = \frac{1}{2\pi i} \int_C d\lambda Q_J(\lambda; q, n) \int_0^t d\tau (\tau^2 - 2\lambda)^{-3/2}.$$

Стандартное интегрирование приводит к выражению

$$F_T(t) = \frac{1}{2\pi i} \int_C d\lambda Q_J(\lambda; q, n) t / -2\lambda \sqrt{t^2 - 2\lambda}.$$

Используя теперь подстановки $\lambda = t^2 z / 2$ и $z = 1 + \vartheta^2$, получим

$$F_T(t) = -\frac{1}{4\pi i} \int_C d\lambda Q_J(t^2 z / 2; q, n) \frac{1}{z\sqrt{1-z}} = \frac{1}{2\pi i} \int_C d\vartheta Q_J\left(\frac{1+\vartheta^2}{2} t^2; q, n\right) \frac{1}{1+\vartheta^2}.$$

При $t \geq 0$ контур интегрирования может быть выбран вдоль вещественной оси, что дает окончательно

$$F_T(t) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} d\vartheta Q_J\left(\frac{1+\vartheta^2}{2} t^2; q, n\right) \frac{1}{1+\vartheta^2}. \quad (9)$$

Отсюда при $t \leq 0$ найдем интегрированную функцию распределения с учетом четности полученного выражения.

Основные результаты. Для проверки правильности полученных формул необходимо предоставить плотности распределения при отсутствии

корреляции, построенные с помощью формулы (8) и стандартным распределением Стьюдента. Данные плотности полностью совпадают, что свидетельствует о том, что полученные формулы найдены правильно.

Далее проанализируем влияние параметров на поведение плотности и функции распределения функционала (5). На рис. 1 представлены графики плотности и функции распределения функционала (5) при изменении параметра N .

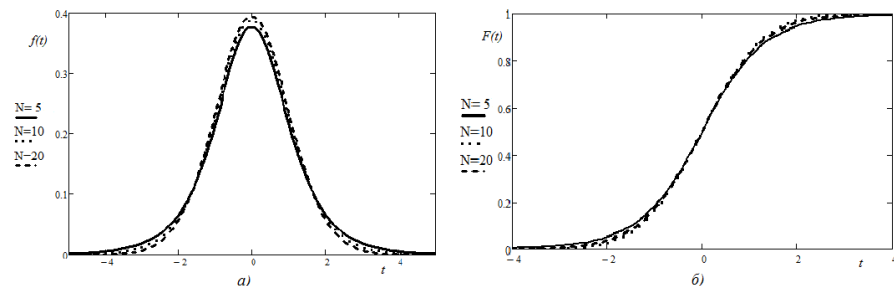


Рис. 1 – Графики плотности (а) и функции (б) распределения вероятностей для функционала (5) с параметрами: $N = 5, 10, 20$, $q = 0.5$, $\sigma = 1$

Анализируя рис. 1 можно сделать вывод о том, что они отвечают общим закономерностям, характерным для плотности и функции распределения Стьюдента при наличии корреляции.

На рис. 2-3 приведены плотности и функции распределения для функционала (5) соответственно.

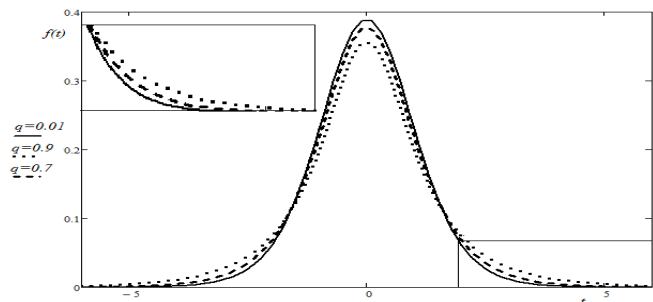


Рис. 2 – Графики плотности распределения вероятностей для функционала (5) с параметрами: $q = 0.01, 0.7, 0.9$, $N = 10$, $\sigma = 1$

С увеличением q график функции распределения имеет тенденцию локализоваться вокруг среднего значения функционала T . На рис. 2 – 3 эту закономерность можно пронаблюдать.

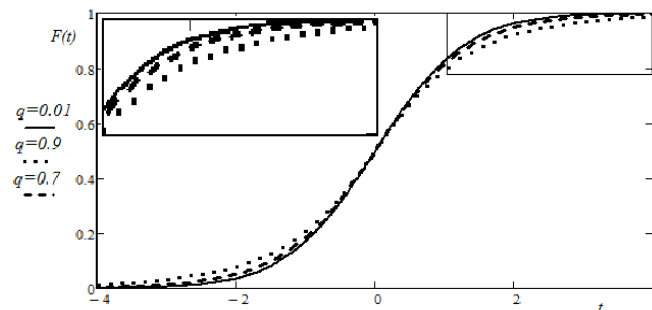


Рис. 3 – Графики функции распределения вероятностей для функционала (5) с параметрами: $q = 0.01, 0.7, 0.9$, $N = 10$, $\sigma = 1$

На основании полученных результатов (рис. 1-3) можно сделать вывод о том, что при увеличении корреляции функции плотности распределения закона Стьюдента становятся более пологими.

На практике представляет интерес поведение плотности и функции распределения функционала (5), именно, в периферийной области, т.к. на концах функции находятся пороговые значения, которые необходимы для контроля. Как можно наблюдать из рис. 2-3 в увеличенной области даже небольшие значения коэффициента корреляции q приводят к заметному изменению. Таким образом, учет корреляции в указанной стратегии представляет практический интерес.

Выводы. Полученные выше выражения справедливы для любых допустимых значений коррелятора q , в том числе и нулевых.

Найденные выражения для распределений стандартизованного отношения Стьюдента допускают предельный переход $n \rightarrow \infty$ для отсчетов случайного процесса на заданном интервале. Возможно также обобщение результатов на случаи комплекснозначных или многомерных случайных переменных.

Список литературы: 1. Гнеденко Б. В. Курс теории вероятностей / Б. В. Гнеденко. – М. : Наука. – 1961. – 406 с. 2. Ивченко Г. И. Математическая статистика / Г. И. Ивченко, Ю. И. Медведев. – М. : Высшая школа. – 1984. – 248 с. 3. Пугачев В. С. Теория вероятностей и математическая статистика / В. С. Пугачев. – М. : Наука. – 1979. – 496 с. 4. Рытов С. М. Введение в статистическую радиофизику / С. М. Рытов. – М. : Наука. – 1979. – 404 с. 5. Тихонов В. И. Марковские процессы / В. И. Тихонов, М. А. Миронов. – М. : Сов. Радио. – 1977. – 488 с. 6. Мазманишвили А. С. Континуальное интегрирование как метод решения физических задач / А. С. Мазманишвили – К. : Наукова думка. – 1987. – 224 с. 7. Сидоренко А. Ю. Влияние параметров шероховатости на качество поверхностного слоя / А. Ю. Сидоренко. – Вісник НТУ «ХП». – 2004. – № 36. – С. 85–91.

Надійшла до редколегії 05.02.2012

В. П. СЕВЕРИН, д-р техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»;
К. Б. ГОДЛЕВСКАЯ, аспирантка НТУ «ХПИ»

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПАРОВОЙ ТУРБИНОЙ АЭС

Побудована нелінійна математична модель слідуючого приводу парової турбіни енергоблоку АЕС. Розроблені моделі систем автоматичного керування частотою обертання ротора парової турбіни в просторі станів з різними регуляторами. Представлені результати багатокритеріального параметричного синтезу нелінійних систем стабілізації частоти.

Построена нелинейная математическая модель следящего привода паровой турбины энергоблока АЭС. Разработаны модели систем автоматического управления частотой вращения ротора паровой турбины в пространстве состояний с различными регуляторами. Представлены результаты многокритериального параметрического синтеза нелинейных систем стабилизации частоты.

The nonlinear mathematical model for watching drive of steam turbine of atomic power plant is built. The nonlinear models of automatic control systems for rotation frequency of turbine rotor are developed in state space with the different regulators. Results of multicriterion parametric synthesis for the nonlinear stabilizing systems of frequency are presented.

Введение. Многокритериальный параметрический синтез систем автоматического управления (САУ) паровыми турбинами является одним из основных инженерных заданий при модернизации энергоблоков АЭС. Эта задача решена для линейных моделей систем автоматического управления турбиной К-1000-60/1500 [1, 2]. Повышение точности расчета оптимальных САУ возможно при использовании нелинейных моделей систем, которые полнее учитывают особенности протекания реальных процессов управления. Влияние различных нелинейностей проявляется как в самой паровой турбине, так и в управляющем следящем приводе турбины.

Целью статьи является представление нелинейных моделей систем стабилизации частоты вращения паровой турбины К-1000-60/1500 в пространстве состояний с использованием стандартных и нечеткого регуляторов, а также результатов многокритериального параметрического синтеза систем стабилизации частоты векторными методами оптимизации.

Нелинейная модель следящего привода турбины. Исполнительным звеном САУ частотой вращения паровых турбин является электрогидравлический следящий привод. Принципиальная схема следящего привода на рис. 1 включает электрогидравлический преобразователь (ЭГП), отсечной золотник (ОЗ), сервомотор (СМ), датчики положения (ДП), электронную часть (ЭЧ), p_n и p_c – давление насоса и слива жидкости.

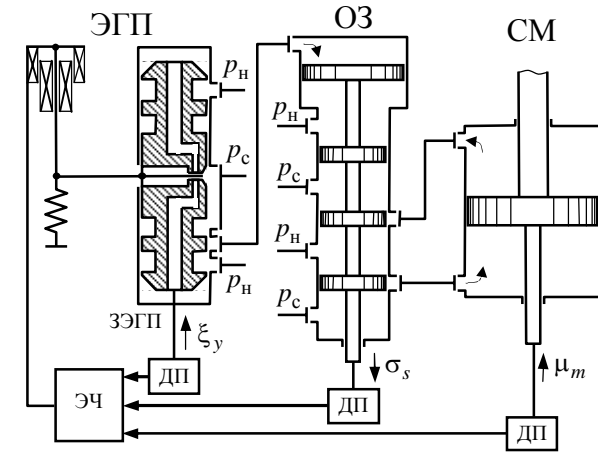


Рис. 1 – Принципиальная схема следящего привода

Построены линейные модели схем привода с различным числом датчиков и выполнена оптимизация параметров линейных моделей [1]. Наилучшие показатели качества получены для модели привода с тремя датчиками – золотника ЭГП (ЗЭГП), ОЗ и СМ. По этой модели разработана нелинейная модель привода в виде системы дифференциальных уравнений (СДУ):

$$dX_D/dt = f_D(X_D, u), \quad \mu_m = C_D X_D, \quad (1)$$

где X_D – вектор относительных переменных состояния привода, f_D – векторная функция, u – управляющее воздействие регулятора частоты, μ_m – переменная положения сервомотора. Эта модель учитывает упоры относительных переменных положения – ЗЭГП ξ_y , ОЗ σ_s и СМ μ_m (см. рис. 1):

$$-1 \leq \xi_y \leq 1, \quad -1 \leq \sigma_s \leq 1, \quad -1 \leq \mu_m \leq 0.$$

Порядок СДУ (1) $n = 14$. Номинальному режиму работы турбины соответствуют нулевые значения всех относительных переменных состояния привода.

Нелинейная модель турбины. Принципиальная схема паровой турбины К-1000-60/1500 представлена на рис. 2 и включает клапан регулирования турбины (КРТ), цилиндр высокого давления (ЦВД), объем перед ЦВД, объем в сепараторе-перегревателе (СП), клапан сепаратора-перегревателя (КСП), объем за КСП, цилиндр среднего давления (ЦСД), цилиндр низкого давления (ЦНД), объем перед ЦНД, конденсатор (К). Пар под давлением p_0 поступает

в КРТ. Следящий привод через систему рычагов воздействует на КРТ, изменяя подачу пара в ЦВД.

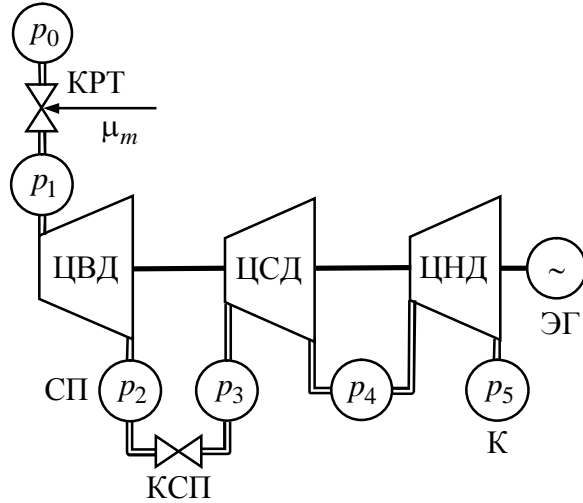


Рис. 2 – Принципиальная схема паровой турбины К-1000-60/1500

Пар аккумулируется в четырех основных объемах под давлением p_1, p_2, p_3, p_4 . Энергия пара превращается в механическую энергию вращения ротора турбины и электрического генератора (ЭГ) с круговой частотой ω .

Перейдем к относительным переменным: давления $\pi_k = p_k/p_0, k = \overline{1, 5}$, частоты вращения ротора $\varphi = (\omega - \omega_0)/\omega_0$ и мощности $v = (N - N_0)/N_0$, где ω_0 и N_0 – круговая частота и мощность в номинальном режиме. Нелинейная модель парового тракта и движения ротора турбины получена преобразованием уравнений материального баланса и динамики ротора в виде СДУ

$$\begin{cases} d\pi_1/dt = K_{11}(1 + \mu_m) - K_{12}\sqrt{\pi_1^2 - \pi_2^2}, \\ d\pi_2/dt = K_{21}\sqrt{\pi_1^2 - \pi_2^2} - K_{22}\sqrt{\pi_2^2 - K_\beta(\pi_3 - \Pi\pi_2)^2}, \\ d\pi_3/dt = K_{31}\sqrt{\pi_2^2 - K_\beta(\pi_3 - \Pi\pi_2)^2} - K_{32}\sqrt{\pi_3^2 - \pi_4^2}, \\ d\pi_4/dt = K_{41}\sqrt{\pi_3^2 - \pi_4^2} - K_{42}\sqrt{\pi_4^2 - \pi_5^2}, \\ d\varphi/dt = b_a(v - v_s)/(1 + \varphi), \end{cases} \quad (2)$$

где использована переменная относительной мощности турбины

$$v = k_1\sqrt{\pi_1^2 - \pi_2^2} + k_2\sqrt{\pi_3^2 - \pi_4^2} + k_3\sqrt{\pi_4^2 - \pi_5^2} - v_4(1 + \varphi)^2 - v_5(1 + \varphi)^3 - 1$$

и возмущающее воздействие мощности электрического генератора v_s .

Вычисленные по конструктивным и технологическим данным турбины значения параметров модели приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Параметры модели турбины

Параметр	Значение	Параметр	Значение	Параметр	Значение
K_{11}	3,2569	K_{42}	2,4881	v_4	0,0047
K_{12}	3,3257	K_β	4,8516	v_5	0,0119
K_{21}	0,0777	Π	0,5460	π_{10}	0,9100
K_{22}	1,2841	b_a	0,0694	π_{20}	0,1842
K_{31}	5,2077	k_1	0,3704	π_{30}	0,1805
K_{32}	1,6345	k_2	1,3275	π_{40}	0,0552
K_{41}	0,7986	k_3	8,3090	φ_0	0

Модель (2) представим в векторном виде:

$$dX_t/dt = f_t(X_t, \mu_m, v_s), \quad \varphi = C_t X_t, \quad (3)$$

где $X_t = (\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4, \varphi)^T$ – вектор состояния, f_t – векторная функция, соответствующая правым частям СДУ (2), $C_t = (0,0,0,0,1)$. Вектор начальных условий $X_{t0} = (\pi_{10}, \pi_{20}, \pi_{30}, \pi_{40}, \varphi_0)^T$ отвечает номинальному режиму работы турбины. Значения проекций этого вектора приведены в табл. 1. По моделям (1) и (3) получена нелинейная модель турбины как объекта управления:

$$dX_T/dt = f_T(X_T, u, v_s), \quad \varphi = C_T X_T, \quad (4)$$

$$X_T = \begin{pmatrix} X_D \\ X_I \end{pmatrix}, \quad X_{T0} = \begin{pmatrix} 0 \\ X_{I0} \end{pmatrix}, \quad f_T(X_T, u, v_s) = \begin{pmatrix} f_D(X_D, u) \\ f_I(X_I, \mu_m, v_s) \end{pmatrix}, \quad C_T = (0 \quad C_I).$$

Порядок этой модели $n = 19$. Входной сигнал – управляющее воздействие u , выходная переменная – относительное отклонение частоты φ .

Нелинейные модели систем управления турбиной. Система автоматического управления частотой (САУЧ) паровой турбины предназначена для стабилизации частоты вращения ротора турбины. Самым тяжелым испытанием САУЧ является сброс нагрузки турбины. На основании нелинейной модели (4) турбины К-1000-60/1500 построим нелинейные модели САУЧ для частичного сброса нагрузки с различными законами управления.

Структурная схема САУЧ на рис. 3 включает сумматор, регулятор частоты (РЧ), модель паровой турбины (ПТ) и отрицательную обратную связь.

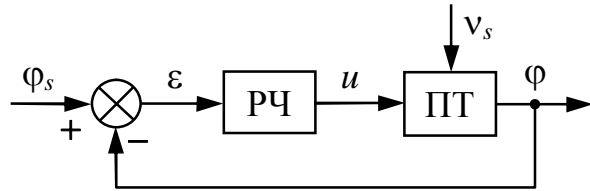


Рис. 3 – Структурная схема САУЧ

Сигнал ошибки $\varepsilon = \varphi_s - \varphi$ полученный по уставке частоты φ_s , подается на вход РЧ, формирующего управляющее воздействие u . Это воздействие и возмущающий сигнал v_s поступают в модель ПТ и изменяют вектор ее состояния X_T . Координата частоты φ отрицательной обратной связью подается на сумматор. Поскольку в номинальном режиме $\varphi_s = 0$, то $\varepsilon = -\varphi$. Входным возмущающим воздействием САУЧ является сигнал изменения мощности v_s , выходной переменной – частота φ .

На основании модели ПТ (4) построены нелинейные математические модели ее САУЧ с различными регуляторами вида:

$$dX/dt = f(x, X, v_s), \quad y(x, t) = 100CX,$$

где X – вектор состояния системы, f – векторная функция, x – вектор переменных параметров регулятора, $y = 100\varphi$ – отклонение частоты от ее номинального значения в процентах, C – вектор наблюдения.

Для пропорционального П регулятора с переменным коэффициентом K_p и управляющим воздействием $u = K_p \varepsilon$

$$X = X_T, \quad x = K_p, \quad f(x, X, v_s) = f_T(X_T, -K_p \varphi, v_s), \quad C = C_T.$$

Порядок такой модели $n = 19$.

Для пропорционально-интегрального ПИ регулятора с переменными коэффициентами K_p и λ_I получим:

$$X = \begin{pmatrix} X_T \\ u_I \end{pmatrix}, \quad x = \begin{pmatrix} K_p \\ \lambda_I \end{pmatrix}, \quad f(x, X, v_s) = \begin{pmatrix} f_T(X_T, -K_p \varphi + u_I, v_s) \\ -\lambda_I \varphi \end{pmatrix}, \quad C = (C_T \quad 0),$$

где u_I – переменная состояния интегральной части регулятора, $n = 20$.

Для пропорционально-дифференциального ПД регулятора с переменными коэффициентами K_p , λ_D и постоянным параметром $K_D = 10$ имеем:

$$X = \begin{pmatrix} X_T \\ v_D \end{pmatrix}, \quad x = \begin{pmatrix} K_p \\ \lambda_D \end{pmatrix}, \quad f(x, X, v_s) = \begin{pmatrix} f_T(X_T, u, v_s) \\ -\lambda_D(v_D - K_D \varphi) \end{pmatrix}, \quad C = (C_T \quad 0),$$

где $u = (K_p + K_D)\varphi + v_D$, v_D – переменная состояния дифференциальной части регулятора, $n = 20$.

Для модели с ПИД регулятором

$$X = \begin{pmatrix} X_T \\ u_I \\ v_D \end{pmatrix}, \quad x = \begin{pmatrix} K_p \\ \lambda_I \\ \lambda_D \end{pmatrix}, \quad f(x, X, v_s) = \begin{pmatrix} f_T(X_T, u, v_s) \\ -\lambda_I \varphi \\ -\lambda_D(v_D - K_D \varphi) \end{pmatrix}, \quad C = (C_T \quad 0 \quad 0),$$

где $u = -(K_p + K_D)\varphi + u_I + v_D$, $n = 21$.

Для нечеткого ПИ регулятора с вектором $x = (K_p, \lambda_I, K_u, \xi_p, \eta_p)^T$ имеем:

$$X = \begin{pmatrix} X_T \\ u_I \end{pmatrix}, \quad f(x, X, v_s) = \begin{pmatrix} f_T(X_T, u, v_s) \\ -\lambda_I \varphi \end{pmatrix}, \quad C = (C_T \quad 0),$$

где $u = -f_f(x, -K_p \varphi) K_u + u_I$, f_f – нелинейная функция системы нечеткого вывода [2]. Порядок модели $n = 20$.

Задача синтеза систем управления. Для оптимизации параметров САУЧ сформируем вектор $x \in R^p$ из p переменных параметров РЧ. Наложим на значения переменных параметров ограничения

$$a_i \leq x_i \leq b_i, \quad a_i = 0, \quad b_i = 100, \quad i = \overline{1, p} \quad (5)$$

и сформируем штрафную функцию

$$P(x) = \sum_{i=1}^p [\max\{0, a_i - x_i\} + \max\{0, x_i - b_i\}]. \quad (6)$$

В задаче многокритериального параметрического синтеза также учитываются условия качества процесса изменения частоты:

$$\sigma(x) \leq \sigma_m, \quad \zeta(x) \leq \zeta_m, \quad \min t_c(x), \quad (7)$$

где $\sigma(x)$ и σ_m – максимальное отклонение частоты и его предельно допустимое значение, $\zeta(x)$ и ζ_m – максимальный размах колебаний частоты и его предельно допустимое значение, $t_c(x)$ – время установления процесса.

Задачу синтеза САУЧ поставим в виде задачи условной оптимизации (5), (7), которую будем решать методами векторной оптимизации [1-3]. На основании перечисленных условий сформируем области в пространстве переменных параметров R^p путем пересечения и вычитания множеств:

$$G_1 = \{x \mid a_i \leq x_i \leq b_i, i = \overline{1, p}\}, G_2 = \{x \mid \sigma(x) \leq \sigma_m\}, G_3 = \{x \mid \zeta(x) \leq \zeta_m\}; \quad (8)$$

$$D_1 = G_1, \quad D_2 = D_1 \cap G_2, \quad D_3 = D_2 \cap G_3; \quad (9)$$

$$H_0 = R^p \setminus D_1, \quad H_1 = D_1 \setminus D_2, \quad H_2 = D_2 \setminus D_3, \quad H_3 = D_3. \quad (10)$$

По выражениям (6)-(10) сформируем векторную целевую функцию

$$F(x) = \begin{cases} (0; P(x)), & x \in H_0; \\ (1; \sigma(x) - \sigma_m), & x \in H_1; \\ (2; \zeta(x) - \zeta_m), & x \in H_2; \\ (3; \tau(x)), & x \in H_3; \end{cases} \quad (11)$$

где $\tau(x) = t_c(x)/T_f$ – относительное значение времени установления процесса, T_f – время наблюдения. Функцию (11) будем оптимизировать векторным методом Нелдера-Мида и модифицированным генетическим алгоритмом [3].

Синтез параметров регуляторов. Выполнена оптимизация параметров регуляторов частоты. Для задачи синтеза САУЧ заданы значения параметров: $\sigma_m = 2$, $\zeta_m = 0,5$, параметр зоны установившегося значения переменной y $\delta_y = 0,1$, время наблюдения $T_f = 8$ с, число шагов интегрирования $L = 800$. Для интегрирования СДУ применялся системный метод первой степени [3]. В табл. 2 и 3 для П (P), ПД (PD), ПИ (PI), ПИД (PID) и нечеткого ПИ (FPI) РЧ приведены оптимальные значения параметров и показателей качества переходных процессов. Значения остальных оптимальных параметров нечеткого регулятора: $K_u^* = 11,513$, $\xi_p^* = 0,494$, $\eta_p^* = 0,428$.

На рис. 4 представлены процессы изменения частоты, выраженной в процентах от номинального значения частоты, в оптимальных системах. Эти результаты позволяют сделать вывод, что ПИД регулятор и нечеткий ПИ регулятор с оптимальными значениями параметров обеспечивают наиболее быстрые переходные процессы с наименьшим отклонением частоты и нулевой статической ошибкой. По сравнению с результатами синтеза

линейных систем управления турбиной [1, 2] в нелинейных системах показатель размаха колебаний ζ^* снизился, а время процесса t_c^* увеличилось.

Таблица 2 – Оптимальные значения параметров и показателей качества

РЧ	K_p^*	λ_l^*, c^{-1}	λ_D^*, c^{-1}	σ^*	ζ^*	t_c^*, c
P	100,000	–	–	1,577	0,254	3,950
PD	100,000	–	1,170	1,532	0,172	3,658
PI	100,000	14,984	–	1,567	0,442	4,257
PID	100,000	13,349	1,124	1,525	0,275	3,828
FPI	9,614	20,027	–	1,294	0,378	3,452

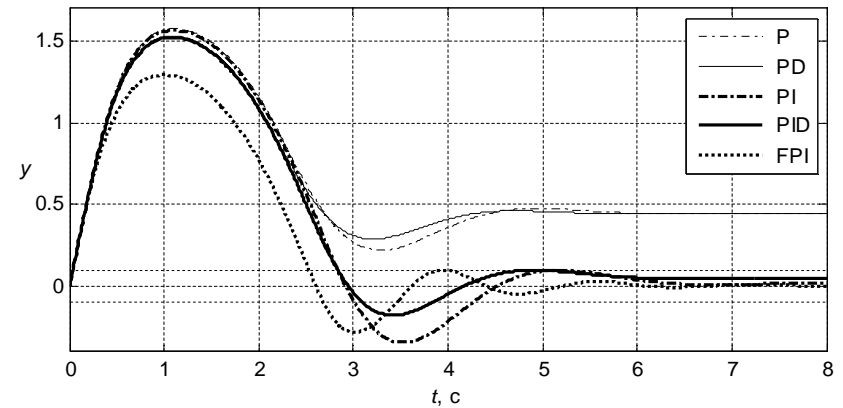


Рис. 4 – Изменение частоты при различных регуляторах

На рис. 5 представлен процесс оптимизации векторной функции (11) от параметров ПИД регулятора, полученный векторным методом Нелдера-Мида с начальным шагом $h = 1$ при $x_2 = K_p$, $x_1 = \lambda_l$, $x_3 = \lambda_D$. Отображены лучшие точки поиска, начальная точка $x^{(0)} = (1; 1)$ отмечена кругом, конечная – ромбом. На рис. 6 представлен процесс оптимизации параметров ПИД регулятора для второй проекции $F_2(x)$ векторной функции (11), полученный методом Нелдера-Мида при $K_p = 100$, $x_1 = \lambda_l$, $x_2 = \lambda_D$ из начальной точки $x^{(0)} = (10; 1)$. При этом первая проекция функции (11) $F_1(x) = 3$, что соответствует выполнению всех ограничений задачи оптимизации. Это означает, что на рис. 6 представлен график относительного времени $\tau(x)$, который позволяет проанализировать зависимость совместного влияния параметров λ_l и λ_D на $\tau(x)$ в окрестности оптимальной точки.

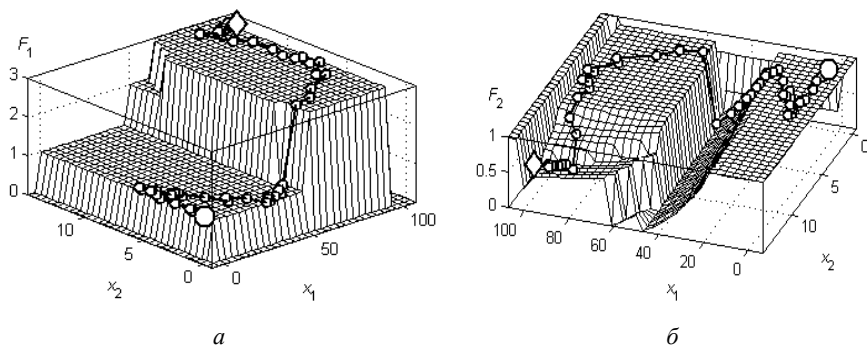


Рис. 5 – Оптимизация параметров ПИД регулятора при $\lambda_D = \lambda_D^*$: а – $F_1(x)$; б – $F_2(x)$

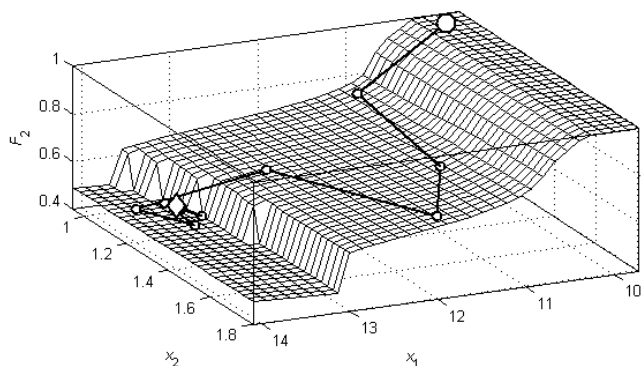


Рис. 6 – Оптимизация параметров ПИД регулятора при $K_p = 100$

На рис. 7 представлены процессы изменения переменных состояния оптимальной САУЧ с ПИД регулятором, полученные при входном возмущающем воздействии $v_s = -0,4$. Переменная ЗЭГП ξ_y после небольших колебаний устанавливается в нулевое значение. Переменная ОЗ $\sigma_s(t)$ уменьшается, затем увеличивается и также устанавливается в нулевое значение. Переменная сервомотора $\mu_m(t)$, быстро уменьшаясь, достигает нижнего граничного значения, а затем увеличивается и после колебаний переходит к установившемуся значению $-0,4$. Переменные давления пара в емкостях турбины π_1, π_2, π_3 и π_4 положительны. Переменная мощности турбины $v(t)$ после быстро затухающих колебаний стремится к значению $-0,4$. Переменная частоты $y(t)$ после затухающих колебаний возвращается в

нулевое значение. Сигнал ПИД регулятора $u(t)$ уменьшается, а затем после колебаний устанавливается на значении $-0,4$.

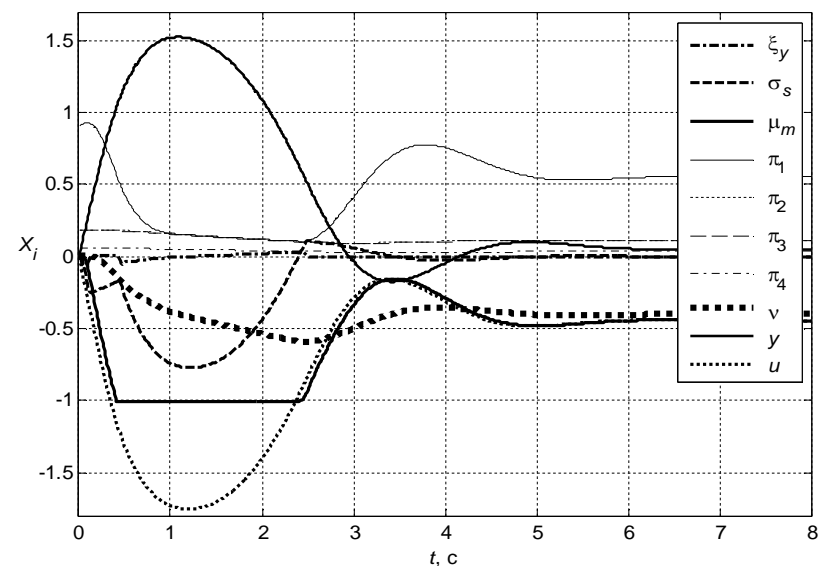


Рис. 7 – Процессы в оптимальной системе с ПИД регулятором

Выводы. Построена нелинейная модель следящего привода турбины, учитывающая упоры подвижных элементов. Разработаны нелинейные модели для систем стабилизации частоты вращения ротора паровой турбины в пространстве состояний с различными стандартными и нечетким регуляторами частоты. Результаты параметрического синтеза систем стабилизации частоты показали, что самыми эффективными являются ПИД регулятор и нечеткий ПИ регулятор, которые обеспечивают наиболее быстрые переходные процессы с наименьшим отклонением частоты.

Список литературы: 1. Федянина К. Б. Оптимизация следящего привода и систем управления паровой турбиной с использованием генетических алгоритмов / К. Б. Федянина, Е. А. Кучер, В. П. Северин // Техническая электродинамика. Тематический выпуск «Силовая электроника и энергоэффективность». – 2009. – Ч. 5. – С. 86–91. 2. Северин В. П. Синтез систем автоматического управления энергоблока АЭС с нечеткими регуляторами генетическими алгоритмами / В. П. Северин, Х. С. М. Джафари, В. Ф. Чернай // Техническая электродинамика. Тематический выпуск «Силовая электроника и энергоэффективность». – 2010. – Ч. 1. – С. 147–152. 3. Северин В. П. Векторная оптимизация систем автоматического управления генетическими алгоритмами / В. П. Северин // Техническая электродинамика. Тематический выпуск «Силовая электроника и энергоэффективность». – 2009. – Ч. 5. – С. 80–85.

Надійшла до редколегії 15.05.2012

ЗМІСТ

<i>Куценко А. С., Коваленко С. В.</i> Количественная мера устойчивости на основе интегрального квадратичного функционала.....	3
<i>Куценко А. С., Любчик М. Л.</i> Вычислительный алгоритм интервального оценивания финальных вероятностей состояний неопределенных цепей Маркова	10
<i>Дорофеев Ю. И., Никульченко А. А.</i> Анализ распределенных сетей поставок как объектов автоматического управления	15
<i>Ткачук М. В., Векшин О. В., Косенко В. В.</i> Деякі проблеми розробки адаптивного програмного забезпечення мобільних інформаційних систем та підхід до їх вирішення.....	22
<i>Кобозева А. А., Альфалуджи С.</i> Стеганографический алгоритм, обеспечивающий большую пропускную способность канала скрытой связи	30
<i>Бобок И. И.</i> Стеганоаналитический алгоритм для основного сообщения, хранимого в форматах с потерями	41
<i>Павлов А. А., Чеховский А. В.</i> Модифицированный алгоритм построения многомерной полиномиальной регрессии по избыточному описанию.....	50
<i>Шеховцов В. А., Годлевский М. Д., Брагинский И. Л.</i> Вербальное описание технологии улучшения качества процесса разработки программного обеспечения	54
<i>Мельник К. В., Голоскоков А. Е.</i> Анализ данных для медицинской информационной системы в лечебно-профилактическом учреждении	60
<i>Маркарян А. О.</i> Критерии принятия решений при формировании кредитного портфеля.....	68
<i>Аркатов Д. Б., Борушко Ю. М.</i> Разработка системы связи и передачи данных автоматизированной системы «Навигация и управление для железнодорожного транспорта Украины».....	75
<i>Голоскоков А. Е., Безега С. И.</i> Формирование структуры портфеля инвестиций в условиях определенности	84
<i>Кравец А. Г., Шевченко С. В., Кравец А. Д.</i> Генератор агентов мульти-агентной системы сбора данных о перспективных технологиях.....	92
<i>Голоскоков А. Е., Гаврус Е. С.</i> Построение процедуры интеллектуального управления процессом нагрева заготовок в индукционной печи... ..	97
<i>Юдин Д. В., Гуртяков А. С.</i> Начальные этапы разработки автоматизированной системы корпоративного обучения.....	105
<i>Сидоренко Г. Ю., Мазманишвили А. С.</i> Распределение Стьюдента в случае коррелированных последовательностей.....	111
<i>Северин В. П., Годлевская К. Б.</i> Многокритериальный параметрический синтез нелинейных систем автоматического управления паровой турбиной АЭС	117

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ «ХПІ»**

Збірник наукових праць

Тематичний випуск
«Системний аналіз, управління
та інформаційні технології»

Випуск 29

Наукові редактори М. Д. Годлевський, О.С.Куценко
Технічний редактор М. І. Безменов

Відповідальний за випуск І. Б. Обухова

Обл.-вид. № 89–12.

Підп. до друку 22.06.2012 р. Формат 60×84 1/16. Папір офсетний.
Друк офсетний. Гарнітура Таймс. Умов. друк. арк. 8,0. Облік.-вид. арк. 8,75.
Наклад 300 прим. Перший завод 1–100. Зам. № 23. Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХПІ».

Свідоцтво державну реєстрацію ДК № 3657 від 24.12.2009 р.
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

ФОП Стеценко І. І., 61019, Харків, пр. Ілліча, 103а, кв. 21,
тел. 758-17-35