

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»

**ВІСНИК**  
**НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**  
**«ХПІ»**

*Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології*

№ 37 (1209) 2016

Збірник наукових праць

Видання засноване у 1961 р.

Харків  
НТУ «ХПІ», 2016

**Вісник Національного технічного університету «ХПІ».** Збірник наукових праць. Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХПІ». – 2016. – № 37 (1209). – 80 с.

#### **Державне видання**

**Свідоцтво Держкомітету з інформаційної політики України**

**КВ № 5256 від 2 липня 2001 року**

Мова статей – українська, російська, англійська.

*Вісник Національного технічного університету «ХПІ» внесено до «Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук», затвердженого рішенням Атестаційної колегії МОН України щодо діяльності спеціалізованих вчених рад, від 15 грудня 2015 р. Наказ № 1328 (додаток 8) від 21.12.2015 р.*

#### **Координаційна рада:**

Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, д-р техн. наук, чл.-кор. НАН України (**голова**);

К. О. ГОРБУНОВ, канд. техн. наук, доц. (**секретар**);

А. П. МАРЧЕНКО, д-р техн. наук, проф.; Є. І. СОКОЛ, д-р техн. наук, чл.-кор. НАН України;

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. СПІФАНОВ, канд. техн. наук, проф.; Ю. І. ЗАЙЦЕВ, канд. техн. наук, проф.;

П. О. КАЧАНОВ, д-р техн. наук, проф.; В. Б. КЛЕПІКОВ, д-р техн. наук, проф.;

С. І. КОНДРАШОВ, д-р техн. наук, проф.; В. І. КРАВЧЕНКО, д-р техн. наук, проф.;

Г. В. ЛІСАЧУК, д-р техн. наук, проф.; О. К. МОРАЧКОВСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф.;

В. І. НІКОЛАЄНКО, канд. іст. наук, проф.; П. Г. ПЕРЕРВА, д-р екон. наук, проф.;

В. А. ПУЛЯЄВ, д-р техн. наук, проф.; М. І. РИЩЕНКО, д-р техн. наук, проф.;

В. Б. САМОРОДОВ, д-р техн. наук, проф.; Г. М. СУЧКОВ, д-р техн. наук, проф.;

М. А. ТКАЧУК, д-р техн. наук, проф.

#### **Редакційна колегія серії:**

**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.

**Члени редколегії:** І. П. Гамаюн, д-р техн. наук, проф.; В. Д. Дмитриєнко, д-р техн. наук, проф.;

О. В. 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. Ястребенський, д-р техн. наук, проф.

*Вісник Національного технічного університету «ХПІ», серія «Системний аналіз, управління та інформаційні технології», індексується в наукометричних базах **WorldCat** і **Google Scholar** і включений у довідник періодичних видань бази даних **Ulrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA)**.*

Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ «ХПІ».

Протокол № 9 від 25 листопада 2016 р.

УДК 697.1

**А. С. КУЦЕНКО, С. В. КОВАЛЕНКО, В. И. ТОВАЖНЯНСКИЙ**

## ОПТИМАЛЬНАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЯ

Проаналізовано різні підходи до математичного моделювання теплових процесів будівель, що опалюються. Запропоновано спрощені теплова, електрична та відповідна математична моделі, що дозволяють з достатнім для практики ступенем точності моделювати теплові процеси будівель. На підставі запропонованої математичної моделі обґрунтований закон управління тепловою потужністю, що дозволяє підтримувати постійну комфортну температуру внутрішнього повітря незалежно від зовнішніх погодних умов. Для реалізації запропонованого закону управління необхідна інформація про середні температури огорожі і внутрішнього наповнення будівлі формується динамічним спостерігачем стану. Наведено результати комп'ютерного моделювання, які підтверджують ефективність запропонованого алгоритму управління.

**Ключові слова:** тепловий стан, електрична модель, математична модель, закон управління тепловою потужністю, спостерігач стану.

Проанализированы различные подходы к математическому моделированию тепловых процессов отапливаемых зданий. Предложены упрощенные тепловая, электрическая и соответствующая математическая модели, позволяющие с достаточной для практики степенью точности моделировать тепловые процессы зданий. На основании предложенной математической модели обоснован закон управления тепловой мощностью, позволяющий поддерживать постоянную комфортную температуру внутреннего воздуха независимо от внешних погодных условий. Для реализации предложенного закона управления требуемая информация о средних температурах ограждения и внутреннего наполнения здания формируется динамическим наблюдателем состояния. Приведены результаты компьютерного моделирования, которые подтверждают эффективность предложенного алгоритма управления.

**Ключевые слова:** тепловое состояние, электрическая модель, математическая модель, закон управления тепловой мощностью, наблюдатель состояния.

Different approaches to mathematical modelling of the thermal processes of heated buildings were analysed. The simplified thermal, electric and corresponding mathematical models which allow modelling thermal processes of buildings with a sufficient degree of accuracy for practical use are offered. The offered mathematical model contains three criteria of similarity, which allows analysing and forecasting of the thermal processes of families of similar buildings in the relative dimensionless time. On the grounds of the offered mathematical model the control law of thermal capacity is substantiated, that allows maintaining a constant comfortable indoor air temperature regardless of external weather conditions. The initial information for the implementation of the offered control law is the temperatures of indoor and outdoor air. For implementation of the offered control law the required information about average temperatures of the enclosure and building internal filling is formed by dynamic observer of the state. The results of the computer modelling, which prove the efficiency of the offered control algorithm are given.

**Keywords:** thermal state, electric model, mathematical model, control law of thermal capacity, observer of the state.

**Введение.** При оценке эффективности процесса теплоснабжения используются два основных критерия – это качество теплоснабжения и энергоэффективность. Первый критерий характеризует стабильность поддержания заданной комфортной температуры внутри отапливаемых помещений. Второй – расход тепловой и других видов энергии на поддержание комфортной температуры. Эти критерии взаимосвязаны, поскольку неудовлетворительная стабилизация теплового состояния помещений здания, обусловленная неэффективной системой управления теплоснабжением, в условиях значительных изменений погодных условий приводит к необходимости «ручного» управления температурой внутреннего воздуха путем принудительной вентиляции или дотопа на основе использования дополнительных энергоресурсов. В обоих случаях имеют место необратимые энергетические потери, величина которых растет с ухудшением качества процесса стабилизации температурного режима здания [1].

Для эффективного управления тепловым состоянием отапливаемого здания необходимо иметь математическую модель тепловых процессов в основных элементах конструкции здания: внешнем ограждении, внутренних перегородках и полезном наполнении, отопительных приборах и т. д. Некоторые подходы к построению таких математических моделей изложены в работе [2].

Предлагаемые в [2] математические модели основаны на описании тепловых процессов дифференциальными уравнениями в частных производных. Несмотря на то, что такой подход позволяет сформировать математические модели максимально адекватные реальным тепловым процессам, их применение для решения задач синтеза систем управления теплоснабжением крайне затруднительно, поскольку методы современной теории управления в основном ориентированы на управление процессами в системах с сосредоточенными параметрами. В ряде работ [3–5] предлагается переход к конечномерному аналогу распределенного теплового процесса. В [3] показано, что даже одномерное представление динамических свойств ограждения здания позволяет с достаточной для практики степенью точности моделировать тепловые процессы в отапливаемых помещениях.

Целью настоящей работы является синтез оптимального закона управления тепловой мощностью отапливаемого здания по критерию минимума отклонения температуры воздуха от ее комфортного значения на основе упрощенных математических моделей тепловых процессов зданий.

**Тепловая и электрическая модели.** Рассматривается упрощенная тепловая модель отапливаемого помещения, структура которой приведена на рис. 1

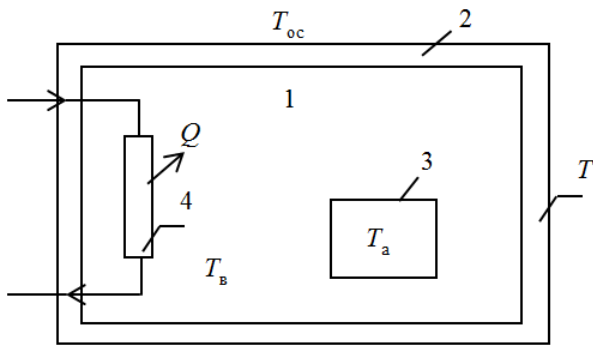


Рис. 1 – Тепловая модель процесса теплоснабжения. 1 – внутренний воздух, 2 – внешнее ограждение, 3 – внутреннее наполнение, 4 – источник теплоты (отопительный прибор)

Все элементы тепловой модели предполагаются однородными по теплофизическим параметрам и по термодинамическому состоянию.

На рис. 1  $T_b$ ,  $T$ ,  $T_a$ ,  $T_{oc}$  – температуры внутреннего воздуха, внешнего ограждения, внутреннего наполнения и окружающей среды соответственно,  $Q$  – тепловой поток отопительного прибора.

Предложенная на рис. 1 тепловая модель, несмотря на ее простоту (она не учитывает различий в теплофизических характеристиках отдельных фрагментов внешнего ограждения и внутреннего наполнения, а также распределенности температурных полей), тем не менее, отражает суть взаимодействия ее основных элементов между собой и окружающей средой.

Предложенной тепловой модели поставим в соответствие ее электрическую аналогию (рис. 2)

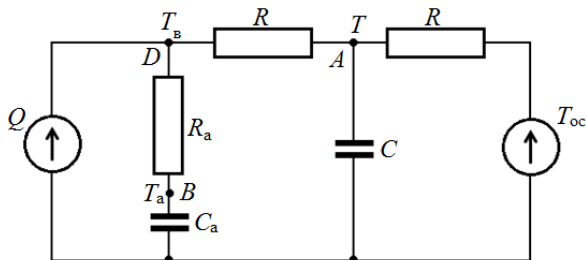


Рис. 2 – Электрический аналог упрощенной тепловой модели

На рис. 2  $2R$  и  $R_a$  – тепловые сопротивления внешнего ограждения и внутренних аккумуляторов;  $C$ ,  $C_a$ ,  $C_b$  – теплоемкости ограждения, внутренних аккумуляторов и внутреннего воздуха.

**Математическая модель.** Применяя 1-й закон Кирхгофа к узлам  $A$ ,  $B$  и  $D$ , получим следующую систему дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} C \frac{dT}{dt} = \frac{T_b - T}{R} - \frac{T - T_{oc}}{R}, \\ C_a \frac{dT_a}{dt} = \frac{T_b - T_a}{R_a}, \\ C_b \frac{dT_b}{dt} = Q - \frac{T_b - T}{R} - \frac{T_b - T_a}{R_a}. \end{cases} \quad (1)$$

После ряда преобразований, с учетом квазистатичности процесса изменения  $T_b$ , получим следующую упрощенную математическую модель теплового процесса здания

$$\begin{cases} \tau \frac{dT}{dt} = T_b - 2T + T_{oc}, \\ \tau_a \frac{dT_a}{dt} = T_b - T_a, \\ T_b = \frac{1}{1+\rho} (q + T + \rho T_a). \end{cases} \quad (2)$$

где  $\tau = RC$ ,  $\tau_a = R_a C_a$  – постоянные времени процессов во внешнем ограждении и внутреннем наполнении здания,  $\rho = R/R_a$ ,  $q = QR$  – температурный эквивалент подводимой тепловой мощности.

Для окончательного формирования математической модели в виде системы дифференциальных уравнений в форме Коши подставим алгебраическое выражение для  $T_b$  из (2) в первое и второе уравнения системы (2). В результате получим:

$$\begin{cases} \frac{dT}{d\psi} = -(1+2\rho)T + \rho T_a + (1+\rho)T_{oc} + q, \\ \frac{dT_a}{d\psi} = \xi T - \xi T_a + \xi q, \\ T_b = \frac{1}{1+\rho} (q + T + \rho T_a), \end{cases} \quad (3)$$

где  $\xi = \tau/\tau_a$  – отношение постоянных времени,

$\psi = \frac{t}{\tau(1+\rho)}$  – безразмерное время.

Полученная математическая модель линейна и стационарна. Она состоит из двух уравнений состояния относительно переменных  $T$  и  $T_a$ , а также уравнения выхода для  $T_b$ . Система (3) зависит от управляющего воздействия  $q$ , которое входит в уравнение выхода, и от возмущающего воздействия  $T_{oc}(t)$ .

Существенным является то, что (3) содержит всего два безразмерных параметра подобия  $\xi$ ,  $\rho$ , описывающих взаимоотношения конструктивных параметров здания, а ее решение рассматривается в безразмерном относительном времени  $\psi$ .

В векторно-матричной форме система (3) запишется как

$$\begin{cases} \begin{pmatrix} \dot{T} \\ \dot{T}_a \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -(1+2\rho) & \rho \\ \xi & -\xi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} T \\ T_a \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 \\ \xi \end{pmatrix} q + \begin{pmatrix} (1+\rho) \\ 0 \end{pmatrix} T_{oc}, \\ T_b = \frac{1}{1+\rho} (1 \ \rho) \begin{pmatrix} T \\ T_a \end{pmatrix} + \frac{1}{1+\rho} q. \end{cases} \quad (4)$$

Для оценки собственных чисел отапливаемого помещения составим характеристическое уравнение системы (4)

$$\begin{vmatrix} -(1+2\rho)-\lambda & \rho \\ \xi & -\xi-\lambda \end{vmatrix} = 0.$$

Раскрывая определитель, получим

$$(\xi + \lambda)(1 + 2\rho + \lambda) - \xi\rho = 0$$

или окончательно

$$\lambda^2 + \lambda(1 + 2\rho + \xi) + (1 + \rho)\xi = 0. \quad (5)$$

Нетрудно убедиться, что корни уравнения (5) вещественны и отрицательны. Действительно, решение (4) имеет вид

$$\lambda = -\frac{1+2\rho+\xi}{2} \pm \sqrt{\frac{(1+2\rho+\xi)^2}{4} - (1+\rho)\xi}.$$

Для слагаемых подкоренного выражения имеет место следующее неравенство

$$\frac{(1+2\rho+\xi)^2}{4} > (1+\rho)\xi. \quad (6)$$

Для доказательства (6) выполним элементарные алгебраические действия

$$1 + 4\rho^2 + \xi^2 + 4\rho + 2\xi + 4\rho\xi > 4\xi + 4\rho\xi. \quad (7)$$

Из (7) следует

$$(1 - \xi)^2 + 4\rho^2 + 4\rho > 0. \quad (8)$$

Поскольку все слагаемые в (8) положительные числа, то неравенство (6) доказано. Таким образом, корни характеристического уравнения (4) вещественны.

Отрицательность корней очевидна из структуры решения (5) и положительности чисел  $\rho$  и  $\xi$ .

**Оптимальный закон управления.** Из уравнения выхода системы (3) очевиден закон управления тепловой мощностью, обеспечивающий поддержание постоянной (комфортной) температуры помещения  $T_b^*$

$$q = (1 + \rho)T_b^* - T - \rho T_a. \quad (9)$$

Как видно из (9), полученный закон управления основан на принципе обратной связи по вектору состояния  $(T, T_a)$  и позволяет поддерживать температуру внутреннего воздуха на комфортной отметке  $T_b = T_b^*$ .

Для исследования процессов изменения параметров теплового процесса при законе управления (9) подставим (9) в (3). В результате получим:

$$\begin{aligned} \frac{dT}{d\vartheta} &= -2T + T_b^* + T_{oc}, \\ \frac{dT_a}{d\vartheta} &= \xi(T_b^* - T_a), \end{aligned} \quad (10)$$

где  $\vartheta = t/\tau$  – безразмерное время.

Из (10) следует, что исходная система уравнений распалась на два независимых дифференциальных уравнения. Уравнение для  $T_a$  описывает экспоненциально сходящийся процесс  $T_a(t) \rightarrow T_b^*$  с постоянной экспоненты  $-\xi$ . Таким образом, в установившемся режиме закон управления (9) примет вид

$$q = T_b^* - T. \quad (11)$$

Рассмотрим первое из уравнений системы (10). Его решение содержит 2 составляющие: переходную  $T_1(\vartheta)$ , обусловленную начальным значением  $T(0)$ , и вынужденную  $T_2(\vartheta)$ , обусловленную  $T_b^*$  и  $T_{oc}(\vartheta)$ . Составляющая  $T_1(\vartheta)$ , как известно, является решением однородного уравнения

$$\frac{dT_1}{d\vartheta} = -2T_1,$$

решение которого имеет вид

$$T_1(\vartheta) = Ce^{-2\vartheta}.$$

Эта составляющая на достаточно длительном временном интервале стремиться к нулю. Т.е. при рассмотрении длительных временных интервалов, соответствующих отопительному сезону, этой составляющей можно пренебречь. Для оценки вынужденной составляющей  $T_2(\vartheta)$  будем предполагать, что  $T_{oc}(\vartheta)$  меняется по гармоническому закону

$$T_{oc}(\vartheta) = \Delta T \sin \omega\vartheta + \bar{T}_{oc}, \quad (12)$$

где  $\Delta T$  – амплитуда,  $\omega$  – круговая частота,  $\bar{T}_{oc}$  – среднее значение температурных колебаний.

Следует отметить, что круговая частота колебаний  $\omega$  зависит от соотношения между реальным временем  $t$  и безразмерным  $\vartheta$ , т.е. определяется динамическими характеристиками здания:

$$\omega = 2\pi \cdot l,$$

где  $l$  – количество суток в интервале соответствующем постоянной времени  $\tau$  внешнего ограждения.

Как известно из теории линейных дифференциальных уравнений вынужденная составляющая решения при гармоническом воздействии (12) имеет вид

$$T_2(\vartheta) = A \sin \omega\vartheta + B \cos \omega\vartheta + D, \quad (13)$$

где  $A$ ,  $B$  и  $D$  постоянные, которые находятся в результате подстановки (12) и (13) в (10) и приравнивания коэффициентов при  $\sin \omega \vartheta$  и  $\cos \omega \vartheta$ , а также постоянных слагаемых в правой и левой частях полученного выражения. В результате вынужденная составляющая  $T_2(\vartheta)$  примет вид

$$T_2(\vartheta) = \frac{T_b^* + \bar{T}_{oc}}{2} + \frac{2\Delta T}{\omega^2 + 4} \sin \omega \vartheta - \frac{\Delta T \omega}{\omega^2 + 4} \cos \omega \vartheta. \quad (14)$$

Полученный результат (14) можно преобразовать к виду

$$T_2(\vartheta) = \frac{\Delta T}{\sqrt{\omega^2 + 4}} \sin(\omega \vartheta - \phi) + \frac{T_b^* + \bar{T}_{oc}}{2}, \quad (15)$$

где  $\phi = \arctg \frac{\omega}{2}$  – отставание  $T(\vartheta)$  по фазе от  $\bar{T}_{oc}(\vartheta)$ .

Изменение тепловой мощности в соответствии с (15) и (11) запишется как

$$q(\vartheta) = \frac{T_b^* - \bar{T}_{oc}}{2} - \frac{\Delta T}{\sqrt{\omega^2 + 4}} \sin(\omega \vartheta - \phi). \quad (16)$$

Из (16) следует, что колебания подводимой тепловой мощности относительно ее среднего значения при оптимальной стабилизации температуры воздуха в помещении отстают по фазе на угол  $\phi$  от колебаний температуры окружающей среды и противоположны по знаку.

Реализация закона управления в форме (9) требует знания текущих значений переменных состояния  $T$  и  $T_a$ . В то же время фактически измеряемыми являются температуры внутреннего воздуха и окружающей среды. Для нахождения температур  $T$  и  $T_a$  можно воспользоваться наблюдателем вектора состояния Льюенбергера [6].

Для системы (4), имеющей структуру

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu + Dv, \\ y &= Cx + Fu, \end{aligned} \quad (17)$$

где  $x$ ,  $u$ ,  $v$ ,  $y$  – векторы состояния, управления, возмущения и выхода соответственно, а  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ ,  $E$  – матрицы соответствующих размерностей, система дифференциальных уравнений для оценки  $\hat{x}$  вектора состояния запишется как

$$\dot{\hat{x}} = A\hat{x} + Bu + Dv + L(y - C\hat{x} - Fu), \quad (18)$$

где  $L$  – матрица, формирующая динамические характеристики наблюдателя. Ее выбор позволяет обеспечить требуемую степень достоверности оценки вектора состояния  $\hat{x}$ . Структурная схема системы управления с наблюдателем состояния приведена на рис. 3.

Альтернативный подход к нахождению оценки вектора состояния  $\hat{T}$  и  $\hat{T}_a$  основан на решении

системы (2) в предположении известных величин  $T_b$  и  $T_{oc}$  на входе (2).

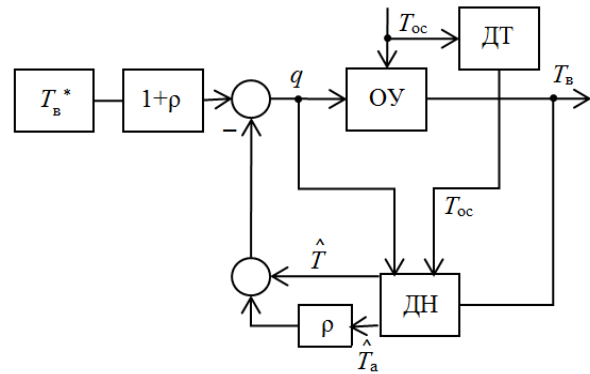


Рис. 3 – Структурная схема регулятора температуры с наблюдателем вектора состояния. ОУ – объект управления, ДН – динамический наблюдатель, ДТ – датчик температуры окружающей среды.

С учетом введенных обозначений такая система примет вид

$$\begin{aligned} \frac{d\hat{T}}{d\vartheta} &= -2\hat{T} + T_{oc} + T_b, \\ \frac{d\hat{T}_a}{d\vartheta} &= -\xi\hat{T}_a + \xi T_b, \end{aligned} \quad (19)$$

а соответствующий (9) закон управления запишется как

$$q = (1 + \rho)T_b^* - \hat{T} - \rho\hat{T}_a. \quad (20)$$

Нетрудно показать, что замкнутая система «объект–наблюдатель–регулятор» (3), (18), (19) асимптотически устойчива, а ее положение равновесия соответствует комфортной температуре  $T_b = T_b^*$ . Структурная схема предлагаемой системы стабилизации температуры помещения имеет тот же вид, что и система на рис. 3. Существенное различие состоит в том, что для реализации наблюдателя (18) не требуется дополнительной информации о текущем расходе тепловой мощности  $q$ , что упрощает структуру системы управления. Кроме того, в отличие от наблюдателя Льюенбергера, такой наблюдатель не содержит неопределенных коэффициентов усиления, выбор которых достаточно произволен и неформализован.

На рис. 4 приведены графики изменения теплового потока отопительного прибора в температурном эквиваленте и температуры внутреннего воздуха при гармоническом изменении температуры окружающей среды. Как видно из рис. 4 после завершения переходного процесса температура помещения поддерживается в соответствии с  $T_b^* = 20^\circ\text{C}$ . Также на рисунке виден фазовый сдвиг между экстремумами суточной температуры окружающей среды и экстремумами графика изменения мощности отопительного прибора.

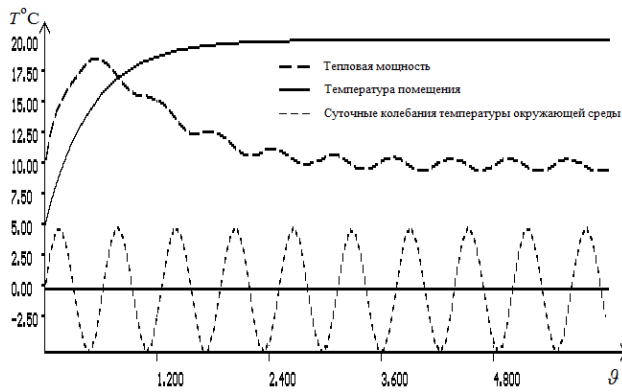


Рис. 4 – Графіки змінення теплової потужності, температури навколишнього середовища та температури приміщення

Учитывая тот факт, что в установившемся режиме  $T_a = T_b^*$ , то закон управления тепловой мощностью можно упростить:

$$q = T_b^* - \hat{T},$$

где оценка  $\hat{T}$  определяется путем интегрирования первого уравнения системы (19). Соответствующие графики изменения тепловой мощности и температуры внутреннего воздуха приведены на рис. 5.

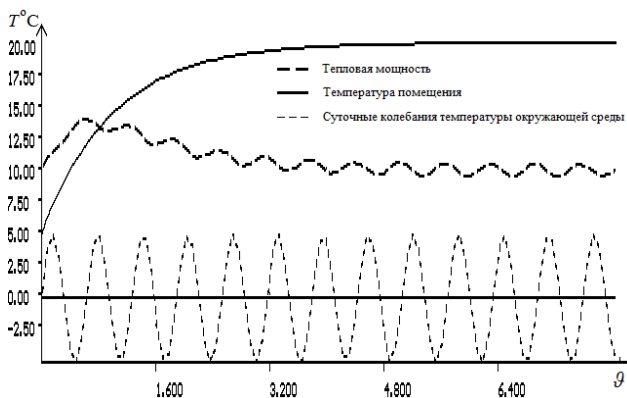


Рис. 5 – Графіки змінення теплової потужності, температури навколишнього середовища та температури приміщення при спрощеному алгоритмі управління

Как видно из рис. 4 и 5 упрощение алгоритма управления тепловой мощностью сказывается только на длительности переходного процесса при запуске системы. В установившемся режиме оба алгоритма управления дают одинаковые результаты.

Переходные процессы установления комфортной температуры в помещении при различных способах управления тепловой мощностью приведены на рис. 6 и рис. 7. Графики рис. 6 соответствуют традиционному «погодному» регулятору тепловой мощности, реализующему постоянный уровень теплового потока, определяемого статическими характеристиками здания, а также значениями внешней и комфортной температур.

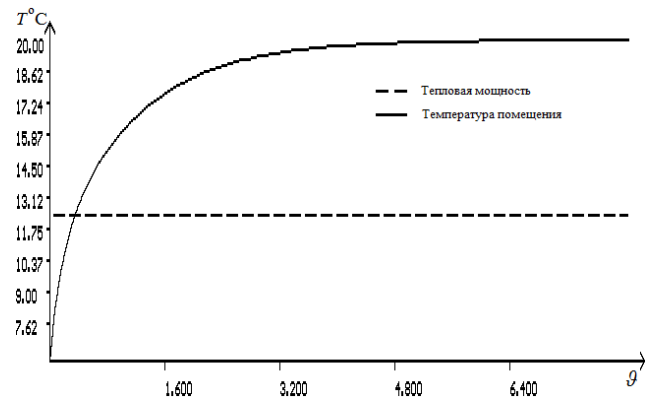


Рис. 6 – Переходной процесс при «погодном» регулировании тепловой мощности

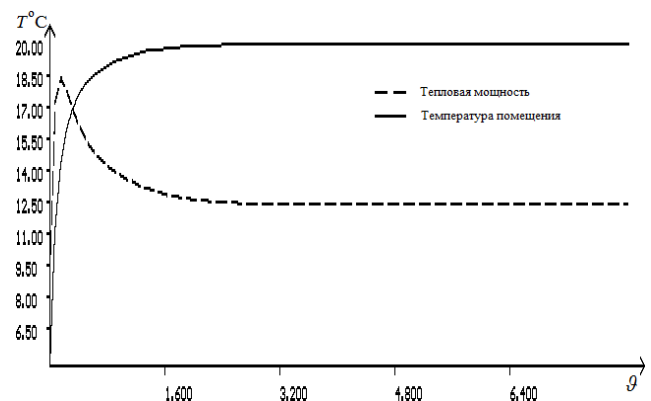


Рис. 7 – Переходной процесс при оптимальном законе регулирования тепловой мощности

Графики рис. 7 построены для предлагаемого закона регулирования (20). Нетрудно увидеть существенное сокращение длительности переходного процесса во втором случае. Платой за это является дополнительный расход теплоты в самом начале переходного процесса.

**Выводы.** Предложенный закон управления тепловой мощностью, основанный на измерениях температуры внутреннего и внешнего воздуха позволяет получить эффективное решение задачи стабилизации комфортной температуры отапливаемого помещения. Для практической реализации предложенного закона необходимой информацией является величина постоянной времени здания, которая может быть вычислена на основании данных о его геометрии и конструктивных материалах, а также на основании экспериментальных данных по кривым разогрева (охлаждения) внутреннего воздуха.

#### Список литературы

1. Вороновский Г. К. Усовершенствование практики оперативного управления крупными теплофикационными системами в новых экономических условиях / Г. К. Вороновский. – Х. : Харьков, 2002. – 240 с.
2. Табуницков А. Ю. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / Ю. А. Табуницков, М. М. Бродач. – М. : АВОК-ПРЕСС, 2002. – 194 с.
3. Куценко А. С. Системный подход к математическому моделированию тепловых процессов зданий / А. С. Куценко, С. В. Коваленко, В. И. Товажнянский // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – №4/4 (70) – С. 9–12.

4. *Atam E.* Control-Oriented Thermal Modeling of Multizone Buildings: Methods and Issues / *Ercan Atam, Lieve Helsen* // IEEE Control Systems, Volume 36, 2016. – P. 86–111.
5. *Lin Y.* Issues in identification of control-oriented thermal models of zones in multi-zone buildings / *Y. Lin, T. Middelkoop, P. Barooah* // in Proc. IEEE Conf. Decision and Control, Hawaii, Dec. 10–13, 2002. – P. 6932–6937.
6. *Кузовков Н. Т.* Модальное управление и наблюдающие устройства / *Н. Т. Кузовков*. – М.: «Машиностроение», 1976. – 184 с.
3. *Kutsenko A. S., Kovalenko S. V., Tovazhnyanskiy V. I.* Sistemnyy podkhod k matematicheskomu modelirovaniyu teplovykh protsessov zdaniy [Systematic approach to the mathematical modeling of the thermal processes of buildings] *Vostochno-Evropskiy zhurnal peredovykh tehnologiy* [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies]. 2014, no 4/4 (70), pp. 9–12.
4. *Atam E., Helsen L.* Control-Oriented Thermal Modeling of Multizone Buildings: Methods and Issues. *IEEE Control Systems*, 2016, vol. 36, pp. 86–111.
5. *Lin Y., Middelkoop T., Barooah P.* Issues in identification of control-oriented thermal models of zones in multi-zone buildings, *IEEE Conf. Decision and Control* (10–13 Dec., 2002, Hawaii). Hawaii, 2002, pp. 6932–6937.
6. *Kuzovkov N. T.* *Modal'noe upravlenie i nablyudayushchie ustroystva* [Modal control and watching devices]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1976. 184 p.

## References (transliterated)

1. *Voronovskiy G. K.* *Usovershenstvovanie praktiki operativnogo upravleniya krupnymi teplofikatsionnymi sistemami v novykh ekonomicheskikh usloviyakh* [Improvement of the operational management practices of the large district heating systems in the new economic conditions]. Kharkov, Kharkov Publ., 2002. 240 p.
2. *Tabunshchikov A. Yu., Brodach M. M.* *Matematicheskoe modelirovaniye i optimizatsiya teplovooy effektivnosti zdaniy*

Поступила (received) 07.11.2016

## Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

**Оптимальна стабілізація теплового стану будівлі / О. С. Куценко, С. В. Коваленко, В. І. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХПІ», 2016. – № 37 (1209). – С. 3–8. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2079-0023.

**Оптимальная стабилизация теплового состояния здания / А. С. Куценко, С. В. Коваленко, В. И. ТОВАЖНЯНСКИЙ** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 37 (1209). – С. 3–8. – Библиогр.: 6 назв. – ISSN 2079-0023.

**Optimal stabilization of the thermal state of the building / A. S. Kutsenko, S. V. Kovalenko, V. I. Tovagnyansky** // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2016. – No 37 (1209). – P. 3–8. – Bibliogr.: 6. – ISSN 2079-0023.

## Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Куценко Олександр Сергійович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри системного аналізу і управління Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м Харків; тел.: (057) 707-61-03; e-mail: kuzenko@kpi.kharkov.ua.

**Куценко Александр Сергеевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой системного анализа и управления Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», г. Харьков; тел.: (057) 707-61-03; e-mail: kuzenko@kpi.kharkov.ua.

**Kutsenko Alexander Serhiyovych** – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Head of the Department of Systems Analysis and Control National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"; tel.: (057) 707-61-03; e-mail: kuzenko@kpi.kharkov.ua.

**Коваленко Сергій Володимирович** – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри системного аналізу і управління; тел.: (057) 707-66-54; e-mail: kovalsvt@rambler.ru.

**Коваленко Сергей Владимирович** – кандидат технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры системного анализа и управления; тел.: (057) 707-66-54; e-mail: kovalsvt@rambler.ru.

**Kovalenko Sergey Vladimirovych** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor at the Department of Systems Analysis and Control; tel.: (057) 707-66-54; e-mail: kovalsvt@rambler.ru.

**Товажнянський Володимир Ігоревич** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант; тел.: (057) 707-61-03; e-mail: vtovazhnianskiyi@mail.ru.

**Товажнянский Владимир Игоревич** – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», аспирант; тел.: (057) 707-61-03; e-mail: vtovazhnianskiyi@mail.ru.

**Tovagnyansky Vladimir Igorevych** – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", graduate student; tel.: (057) 707-61-03; e-mail: vtovazhnianskiyi@mail.ru.



УДК 62-5: 629.036

V. P. SEVERIN, E. N. NIKULINA, V. S. BURIKOVSKIY

## DEVELOPMENT OF THE CONTROLLER FOR THE QUADCOPTER FINKEN IN SIMULATION ENVIRONMENT VREP

Задача керування квадрокоптером Finken, розробленого на кафедрі інтелектуальних систем університету Отто фон Геріке м. Магдебург, представлена. Описана та реалізована математична модель квадрокоптера у середовищі моделювання VRep. Розглянуті та проаналізовані принципи роботи ПІД регулятора. Описані та імплементовані моделі руху квадрокоптера. Створена модель ПІД регулятора для керування квадрокоптером у середовищі моделювання VRep. Забезпечено стійкий рух квадрокоптера під час польоту. Представлені перспективи використання розробленої моделі керування рухом квадрокоптера.

**Ключові слова:** квадрокоптер, регулятор, математична модель, керування рухом, стійкість, середа VRep.

Представлена задача управління квадрокоптером Finken, созданного на кафедре интеллектуальных систем университета Отто фон Герике г. Магдебург. Описана и реализована математическая модель квадрокоптера в среде моделирования VRep. Рассмотрены и проанализированы принципы работы ПИД регулятора. Описаны и имплементированы модели движения квадрокоптера. Разработана модель ПИД регулятора для управления квадрокоптером в среде моделирования VRep. Обеспечено устойчивое движение квадрокоптера в полете. Представлены перспективы использования разработанной модели управления движением квадрокоптера.

**Ключевые слова:** квадрокоптер, регулятор, математическая модель, управление движением, устойчивость, среда VRep.

The problem of control of quadcopter Finken, that was created at department of Intellectual systems at Otto von Guericke University Magdeburg, was presented. The simulation environment VRep as 3D robot simulator was reviewed. The general mathematical model of copter was presented and the model of quadcopter Finken was created in VRep simulation environment. The principles of working continue and discrete PID controllers were described and analyzed. The models of motion of quadcopter Finken were reviewed and implemented in simulation environment VRep. The model of recommended PD controller for quadcopter Finken was described and implemented. The test flights were done and the stable flying motion of quadcopter was received. The conclusions about possible use such a model was made.

**Keywords:** quadcopter, controller, mathematical model, control of motion, stability, environment VRep.

**Introduction.** A quadcopter is a multicopter that lifted and propelled by four rotors. It is operated by varying the spin RPM of its four rotors to controls lift and torque. The thrust from the rotors plays a key role in maneuvering and keeping the copter airborne, its small size and swift maneuverability enables the user to perform flying routines that include complex aerial maneuvers. But for conducting such maneuvers precise handling is fundamental to flying by following a user-defined complex trajectory-based path and also while performing any type of missions [1].

This paper presents a model of quadcopter Finken, which real model was created in OVGU University Magdeburg. The described model is a copy of real one, was created in a VRep simulation environment. In paper also described its controlling system, which is implemented as a proportional-integral-derivative (PID) controller.

**VRep simulation environment.** Environment VRep is a powerful 3D robot simulator, which features several versatile calculation modules like inverse kinematics, physics/dynamics, collision detections, minimum distance calculations, path planning and many more to pen. It supports a distributed control architecture, i.e. an unlimited number of threaded or non-threaded control scripts and several extension mechanisms which include plug-ins and custom client application [2]. In this paper the Lua script language is used in the control scripts to realize the desired functionality.

**Description of quadcopter.** The control parameters of quadcopter Finken are presented in Table 1 and in Figure 1. The quadcopter has to be able to react to the surrounding environment. Thus, it needs a sensing

mechanism. The quadcopter has proximity sonar sensors pointing in different directions (front, back, left, right). The sensors have the shape of a cone. The detection area has a range of 3 meters and an angle of 90°.

Table 1 – Control parameters of the quadcopter

Throttle	Propeller speed, usually height control
Pitch	Forward or backward inclination angle
Yaw	Sideways inclination angle, either left or right
Roll	Rotation of the quadcopter either clockwise or anti-clockwise

A sensor measures the distance to the nearest detected object. The detected object can be either a quadcopter, a wall or the floor. The exact direction of the detected object is not provided by the sensors. Only the approximate direction left, right, front or back is known depending on which sensor detects the object.

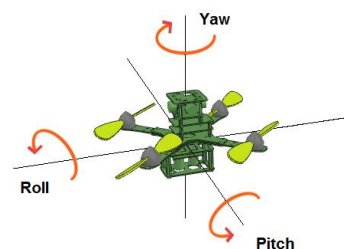


Figure 1 – Quadcopter angular parameters

**Mathematical model of quadcopter.** The angles and the structure of quadcopter Finken are presented in Figure 2 including the corresponding angular velocities, torques and forces, which are created by the four rotors (numbered from 1 to 4).

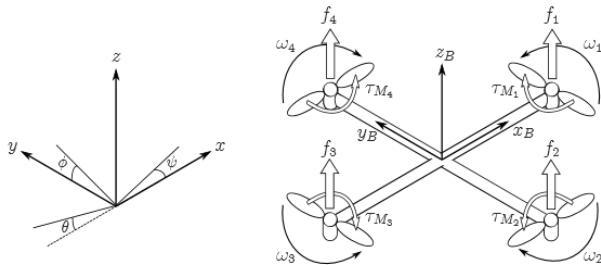


Figure 2 – The inertial and body frames of a quadcopter

The absolute linear position of the quadcopter is defined in the inertial frame axes  $x, y, z$  with  $\xi$ . The attitude, i.e. the angular position, is defined in the inertial frame with three Euler angles  $\eta$ . Pitch angle  $\theta$  determines the rotation of the quadcopter around the axis  $y$ . Roll angle  $\phi$  determines the rotation around the axis  $x$  and yaw angle  $\psi$  around the axis  $z$ . Vector  $q$  contains the linear and angular position vectors:

$$\xi = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}, \quad \eta = \begin{bmatrix} \phi \\ \theta \\ \psi \end{bmatrix}, \quad q = \begin{bmatrix} \xi \\ \eta \end{bmatrix}.$$

The origin of the body frame is in the center of mass of the quadcopter. In the body frame the linear velocities are determined  $V_B$  by and the angular velocities by  $v$ :

$$V_B = \begin{bmatrix} v_{x,B} \\ v_{y,B} \\ v_{z,B} \end{bmatrix}, \quad v = \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix}.$$

The rotation matrix from the body frame to the inertial frame is

$$V_B = \begin{bmatrix} C_\psi C_\theta & C_\psi S_\theta S_\phi - S_\psi C_\phi & C_\psi S_\theta C_\phi + S_\psi S_\phi \\ S_\psi C_\theta & S_\psi S_\theta S_\phi + C_\psi C_\phi & S_\psi S_\theta C_\phi - C_\psi S_\phi \\ -S_\theta & C_\theta S_\phi & C_\theta C_\phi \end{bmatrix},$$

in which  $S_x = \sin x$  and  $C_x = \cos x$ .

The rotation matrix  $R$  is orthogonal thus  $R^{-1} = R^T$  which is the rotation matrix from the inertial frame to the body frame.

The transformation matrix for angular velocities from the inertial frame to the body frame is  $W_\eta$ , and from the body frame to the inertial frame is  $W_\eta^{-1}$ :

$$\dot{\eta} = W_\eta^{-1} v, \quad \begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & S_\phi T_\theta & C_\phi T_\theta \\ 0 & C_\phi & -S_\phi \\ 0 & S_\phi / C_\theta & C_\phi / C_\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix},$$

$$v = W_\eta \dot{\eta}, \quad \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -S_\theta \\ 0 & C_\phi & C_\theta S_\phi \\ 0 & -S_\phi & C_\theta C_\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix},$$

in which  $T_x = \operatorname{tg} x$ . The matrix  $W_\eta$  is invertible, if  $\theta \neq (2k-1)\pi/2, k \in Z$ . The quadcopter is assumed to have symmetric structure with the four arms aligned with the body  $x$  and  $y$  – axes. Thus, the inertia matrix is diagonal matrix  $I$  in which  $I_{xx} = I_{yy}$

$$I = \begin{bmatrix} I_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & I_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & I_{zz} \end{bmatrix}.$$

The angular velocity of rotor  $i$ , denoted with  $\omega_i$ , creates force  $f_i$  in the direction of the rotor axis. The angular velocity and acceleration of the rotor also create torque  $\tau_{M_i}$  around the rotor axis:

$$f_i = k\omega_i^2, \quad \tau_{M_i} = b\omega_i^2 + I_M \dot{\omega}_i,$$

in which the lift constant is  $k$ , the drag constant is  $b$  and the inertia moment of the rotor is  $I_M$ . Usually the effect of  $\dot{\omega}_i$  is considered small and thus it is omitted.

The combined forces of rotors create thrust  $T$  in the direction of the body axis  $z$ . Torque  $\tau_B$  consists of the torques  $\tau_\phi, \tau_\theta$  and  $\tau_\psi$  in the direction of the corresponding body frame angles:

$$T = \sum_{i=1}^4 f_i = k \sum_{i=1}^4 \omega_i^2, \quad T^B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ T \end{bmatrix},$$

$$\tau_B = \begin{bmatrix} \tau_\phi \\ \tau_\theta \\ \tau_\psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} lk(-\omega_2^2 + \omega_4^2) \\ lk(-\omega_1^2 + \omega_3^2) \\ \sum_{i=1}^4 \tau_{M_i} \end{bmatrix},$$

in which  $l$  is the distance between the rotor and the center of mass of the quadcopter. The roll movement is acquired by decreasing the 2nd rotor velocity and increasing the 4th rotor velocity. The pitch movement is acquired by decreasing the 1st rotor velocity and increasing the 3th rotor velocity. Yaw movement is acquired by increasing the angular velocities of two opposite rotors and decreasing the velocities of the other two [3].

To evaluate the Finken model simple movement patterns have been implemented. The different movement patterns are: landing motion of the quadcopter, horizontal movement always keeping the same height, circular movement and swing motion. The experiments show that manual control does not yield the required results. Same for a parameter which shall be kept constant at an exact value, which is physically impossible. This is called

steady-state-error. Therefore, it has been decided to control the quadcopter by a PID controller, which is able to compensate such problems.

**PID Controller.** Using only simple mathematical models to control a quadcopter does not work over time. There is the steady-state-error and inclinations, which do not follow a step function but are only performed gradually. The solution to this is to use a PID-controller which tries to minimize the error between set point and actual position [4].

Continues PD controller is presented in Figure 3.

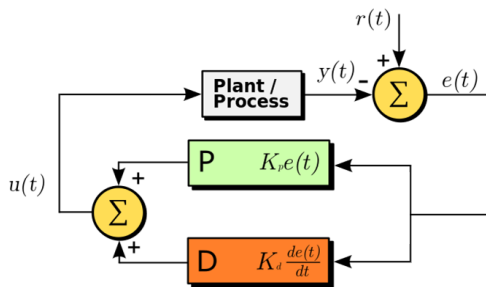


Figure 3 – Block diagram of a PD controller

In a control system, the parameter to be controlled is called the process variable  $y(t)$ . It is measured by a sensor and fed back to the control system. The desired value of the system is referred to as setpoint  $r(t)$ . The difference between setpoint and process variable  $e(t) = r(t) - y(t)$  is the error which is used to determine the actuator output to drive the system. A PID controller uses the error signal  $e(t)$  to compute the control signal  $u(t)$ . For this, derivative and integral of the error signal  $e(t)$  are needed. The control signal  $u(t)$  is computed as sum of following three coefficients [5]: the error signal multiplied by the proportional gain constant  $K_p$ ; the integral of the error multiplied by the integral gain constant  $K_i$ ; the derivative of the error multiplied by the derivative gain constant  $K_d$ . Model of PID controller is

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{d}{dt} e(t).$$

In discrete case the integral of the error is calculated as sum over all previous errors and the derivative error as the difference of successive errors divided by timestep  $\Delta t$

$$u(t_k) = K_p e(t_k) + K_i \sum_{j=0}^k e(t_j) \Delta t + K_d \frac{e(t_k) - e(t_{k-1})}{\Delta t}.$$

To describe the effects of each component, some terminology has to be introduced. Most times, a step function is used to measure the response of the process variable. The time it takes to get from 10% to 90% of the final value is referred to as rise time. Overshoot is the percentual amount the process variable exceeds the final value. The time to settle to a value within a certain percentage in most cases 5% of the final value is called

settling time. Steady-state error is the final deviation of the process variable from the set point.

Changing the different components has different effect to the output function. The proportional component has the effect of reducing the rise time, but it will also increase the overshoot and it will never eliminate the steady-state error. The integral component can eliminate the steady-state error, but will also slow down the response time. The derivative component can reduce overshooting and improves the response and settling time. Hence, changes in one component have an effect to the other components which makes it difficult to find the right parameters for an unknown system.

It is not necessary to always have all components, sometimes only one or two components are used, e.g. only P, PI, PD or I. The controller is then named accordingly. In general, PD controller works as follows: the quadcopter shall move towards a given target position. Thus, the distance from the quadcopter to the target is given by the Euclidean distance between them. This distance is fed to the controller as the error which shall be minimized. The output is the desired parameter value and is applied to the quadcopter. For throttle, this is an acceleration, and for pitch and roll respectively, it is the desired angle. For calculating pitch and roll, only the distance in axis x and axis y between the quadcopter and target is needed. The height control is done using absolute height values. Because with relative coordinates the quadcopter's position would be the origin and practically, it's not possible to calculate the height. As a solution, a dedicated height sensor has been implemented to provide the distance to the floor as a sensor value. Using a PD-controller, the quadcopter reaches its target after some time and stays there until the target is changed.

**Controlling the copter.** The controller of the Finken only uses the proportional (P) and derivative (D) components. The integral component would calculate a cumulative error which is not appropriate and the Finken tries to compensate it and starts oscillating.

To find suitable parameters could be used Ziegler-Nichols or Chien-Chrones-Reswick methods. However, the P and D values have to be much smaller than proposed by these methods to guarantee a stable motion. Therefore, the values for P and D have been obtained experimentally. The output parameters of the PID controller have to be limited to a certain value such that the Finken does not destabilize. Pitch and roll are limited to the interval  $[-10^\circ, +10^\circ]$ . On the one hand, this ensures a stable flight and on the other hand, a relatively quick movement can be achieved. Throttle is limited to  $[0, 100]$ , which represents the technical constraints for throttle.

Such a model allows Finken to stable flying. The Finken can fly in all directions, make landing and flying up only by himself. The archived results are very satisfying. For further research, can be created a swarm motion of multiple quadcopters. Such motion can be also implemented in real for using in a cartography, scouting or research of motion swarm animals.

**Conclusion.** In this paper was briefly considered the simulation environment VRep. The real quadcopter Finken was described and the mathematical model of

quadcopter was considered. Also, was considered a simplest PID controller and the controller, which fits to described problem. The model of quadcopter was implemented and the necessary PID controller was also implemented. The test flies were made and on the ground of thus flies the parameters of whole model and also PID controller were adjusted. The stable motion of the quadcopter was achieved.

#### Bibliography

1. Mohd K. Quadcopter Flight Dynamics / K. Mohd // International journal of scientific & technology research. – 2014. – Volume 3, Issue 8. – P. 15–18.
2. K-Team Corporation. VREP Introduction. – Available at : <http://www.k-team.com/mobile-robotics-products/v-rep>. – Accessed : 20.05.2016.
3. Luukkonen T. Modelling and Control of Quadcopter / T. Luukkonen – Espoo : Aalto University, 2011. – 26 p.
4. National Instruments. P.I.D. Explained. – Available at : [www.ni.com/white-paper/3782/en](http://www.ni.com/white-paper/3782/en). – Accessed : 10.05.2016.

5. Control tutorials for Matlab & Simulink. Introduction: PID Controller Design. – Available at : [www.ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?example=Introduction&section=ControlPID](http://www.ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?example=Introduction&section=ControlPID). – Accessed : 23.05.2016.

#### References

1. Mohd K. Quadcopter Flight Dynamics. *International journal of scientific & technology research*. 2014, vol. 3, issue 8, pp. 15–18.
2. K-Team Corporation. *VREP Introduction*. Available at : <http://www.k-team.com/mobile-robotics-products/v-rep>. (accessed 20.05.2016)
3. Luukkonen T. *Modelling and Control of Quadcopter*. Espoo, Aalto University, 2011, 26 p.
4. National Instruments. *P.I.D. Explained*. Available at : [www.ni.com/white-paper/3782/en](http://www.ni.com/white-paper/3782/en). (accessed 10.05.2016)
5. Control tutorials for Matlab & Simulink. *Introduction: PID Controller Design*. Available at : [www.ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?example=Introduction&section=ControlPID](http://www.ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?example=Introduction&section=ControlPID). (accessed 23.05.2016)

Received 10.10.2016

#### Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

**Розробка регулятора для керування квадрокоптером Finken у середовищі моделювання VRep / В. П. Северин, О. М. Нікуліна, В. С. Буряковський // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – X. : НТУ «ХПІ», 2016. – № 37 (1209). – С. 9–12. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-0023.**

**Разработка регулятора для управления квадрокоптером Finken в среде моделирования VRep / В. П. Северин, Е. Н. Никулина, В. С. Буряковский // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – X. : НТУ «ХПІ», 2016. – № 37 (1209). – С. 9–12. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-0023.**

**Development of the controller for the quadcopter Finken in simulation enviroment Vrep / V. P. Severin, E. N. Nikulina, V. S. Buriakovskiy // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2016. – No. 37 (1209). – P. 9–12. – Bibliogr.: 5. – ISSN 2079-0023.**

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Северин Валерій Петрович** – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри системного аналізу та управління; м. Харків, Україна, тел.: (066) 847-83-70; e-mail: severinv@mail.ru.

**Северин Валерій Петрович** – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», профессор кафедры системного анализа и управления; г. Харьков, Украина, тел.: (066) 847-83-70; e-mail: severinv@mail.ru.

**Severin Valeriy Petrovich** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor, Department of Systems Analysis and Control of National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; tel.: (066) 847-83-70; e-mail: severinv@mail.ru.

**Нікуліна Олена Миколаївна** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри радіоелектроніка; м. Харків, Україна, тел.: (050) 100-79-65; e-mail: elena78\_02@inbox.ua.

**Никулина Елена Николаевна** – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры радиоэлектроника; г. Харьков, Украина, тел.: (050) 100-79-65; e-mail: elena78\_02@inbox.ua.

**Nikulina Elena Nikolaevna** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Associate Professor, Department of Radioelectronica of National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; tel.: (050) 100-79-65; e-mail: elena78\_02@inbox.ua.

**Буряковський Владислав Сергійович** – студент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», кафедра радіоелектроніка; м. Харків, Україна, тел.: (093) 025-40-27; e-mail: vladislavbur@gmail.com.

**Буряковский Владислав Сергеевич** – студент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», кафедра радиоэлектроника; г. Харьков, Украина, тел.: (093) 025-40-27; e-mail: vladislavbur@gmail.com.

**Buriakovskiy Vladislav Serhiiovych** – student, National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute", Department of Radioelectronica Kharkiv, Ukraine; tel.: (093) 025-40-27; e-mail: vladislavbur@gmail.com.

Е. Л. ПИРОТТИ, В. И. ОЛЕЙНИК

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГОПОТОКА НА КОНЕЧНОМ ВРЕМЕННОМ ОТРЕЗКЕ

Розглянута можливість використання випадкового нестационарного процесу в якості математичної моделі, що дозволяє прогнозувати щодобове споживання електричної енергії на конкретному відрізку часу. Розглянуто споживання електроенергії протягом робочих днів лютого. Як один з аспектів цього питання розглядається задача підвищення точності прогнозу споживання електричної енергії. Для підтвердження правильності побудованої моделі, були знайдені довірчі інтервали. Побудована модель випадкового процесу є якісною апроксимацією емпіричних даних.

**Ключові слова:** енергопотік, часовий ряд, моделювання, тренд, випадковий процес, поліноміальна крива.

Рассмотрена возможность использования случайного нестационарного процесса в качестве математической модели, позволяющей прогнозировать ежесуточное потребление электрической энергии на конкретном промежутке времени. Рассмотрено потребление электроэнергии в течение рабочих дней февраля. Как один из аспектов этого вопроса рассматривается задача повышения точности прогноза потребления электрической энергии. Для подтверждения правильности построенной модели, были найдены доверительные интервалы. Построенная модель случайного процесса является качественной аппроксимацией эмпирических данных.

**Ключевые слова:** энергопоток, временной ряд, моделирование, тренд, случайный процесс, полиномиальная кривая.

The article describes the use of a random non-stationary process as a mathematical model to predict the consumption of electric energy, per diem at a particular period of time. In connection with the increase in industrial production and an increase in the number of electric vehicles of special interest acquires Profile forecasting daily consumption on weekdays. Considered the power consumption during the working days of February. As one aspect of this issue we consider the problem of increasing the accuracy of the forecast electricity consumption. To simulate the resulting trend is enough to take a polynomial curve of the sixth degree. Trend parameters determined by least squares. To validate the model constructed confidence intervals were found for her. The constructed model of a random process is a qualitative approximation of empirical data.

**Keywords:** energy flow, time series modeling, trend, stochastic process, polynomial curve.

**Введение.** В условиях энергорынка потребитель может заказывать любые объемы электрической энергии, но при этом он должен быть готовым к тому, что превышение определенных границ спровоцирует резкий рост затрат. Рост цен на энергоносители поставил задачу энергосбережения в ряд наиболее важных вопросов. Очевидно, что в рабочие и выходные дни недели нормальное потребление электроэнергии будет разным по форме суточного профиля [1]. Поэтому для любого календарного дня должны быть рассмотрены прогнозы, учитывающие тот случай, что в текущем году этот день окажется рабочим, а в каком-то другом – выходным. Кроме того, одни и те же дни в разные годы будут характеризоваться различным температурным профилем, что, естественно, отразится на потреблении электричества. В связи с увеличением промышленного производства и увеличением количества электрического транспорта особый интерес приобретает прогнозирование профиля суточного потребления в рабочие дни недели [2]. В качестве примера в работе рассмотрен месяц февраль.

**Постановка задачи.** Рассмотрено потребления электроэнергии в течение рабочих дней февраля 2005 года. Из полученных архивных данных в этот период не было пиковых отклонений в температурном режиме. Февраль содержал 20 рабочих дней. Как один из аспектов этого вопроса рассматривается задача повышения точности прогноза потребления электрической энергии.

Рассмотрим случайный процесс

$$x_{cp}(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i(t), \quad (1)$$

который является усреднением ансамбля реализаций

электропотребления  $x_i(t)$  ( $0 \leq t \leq 24$ ,  $i = \overline{1, 20}$ ) случайного процесса  $\{x_i(t)\}$ .

Для моделирования тренда полученной кривой оказалось достаточным взять полином шестой степени. Параметры тренда определены методом наименьших квадратов [3] (рис. 1):

$$x_{cp}(t) = 0,0002t^6 - 0,0219t^5 + 0,7915t^4 - 13,661t^3 + 113,15t^2 - 354,11t + 1132,7. \quad (2)$$

Наличие тренда в значениях уровней говорит о нестационарном состоянии процесса.

Для построения математической модели суточного потребления электроэнергии вернемся к тренду данного процесса. Учитывая дискретность процесса, общий вид корреляционной функции будет следующим:

$$K(n, m) = \sum_{\tau} \varphi(n + \tau) \overline{\varphi(m + \tau)}, \quad (3)$$

где  $\varphi(n + \tau) = u(n + \tau) + iv(n + \tau)$ .

В качестве модели используем действительную часть корреляционной функции (3):

$$\begin{aligned} \tilde{K}(n, m) &= \operatorname{Re} K(n, m) = \\ &= \sum_{\tau} [u(n + \tau)u(m + \tau) + v(n + \tau)v(m + \tau)]. \end{aligned} \quad (4)$$

Исходя из формулы (3), для случайного процесса (1) получим:

$$K(n, m) = |x_0|^2 r^{n+m} [\cos n\varphi \cos m\varphi + \sin n\varphi \sin m\varphi] =$$

$$= |x_0|^2 r^{n+m} \cos(n-m)\varphi. \quad (5)$$

Тогда для корреляционной разницы

$$W(n, m) = K(n, m) - K(n+1, m+1),$$

имеем следующее выражение:

$$W(n, m) = \varphi_1(n) \overline{\varphi(m)} + \varphi_2(n) \overline{\varphi_1(m)} = \sum_{\alpha, \beta=1}^2 \varphi_\alpha(n) I_{\alpha\beta} \overline{\varphi_\beta(m)}, \quad (6)$$

где  $I_{\alpha\beta} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix};$

$$\varphi_1(n) = r^n \sqrt{1-r^2} \cos n\varphi;$$

$$\varphi_2(n) = r^n \sqrt{1-r^2} \sin n\varphi.$$

Из выражения (3) следует, что выходной случайный процесс является диссипативным и имеет конечный ранг нестационарности равный 2.

В [4] показано, что центрированный тренд можно представить в виде

$$\overset{\circ}{x}_{\text{тр}}(t_j) = \overset{\circ}{x}_{0,\text{тр}} e^{i\lambda_j t_j}, \quad (7)$$

где  $\overset{\circ}{x}_{0,\text{тр}} = \overset{\circ}{x}_{\text{тр}}(0);$

$$\lambda_j = \begin{cases} i\beta_j^2/2, & \text{если } x_n(t)x_0(t) > 1, \\ \pi + i\beta_j^2/2, & \text{если } |x_n(t)x_0(t)| < 1; \end{cases}$$

каждое  $\lambda_j$  соответствует моменту времени  $t_j;$

$i$  – мнимая единица.

Решение показательного уравнения (6) дает значения для  $\beta_j (j = \overline{1, 24}).$

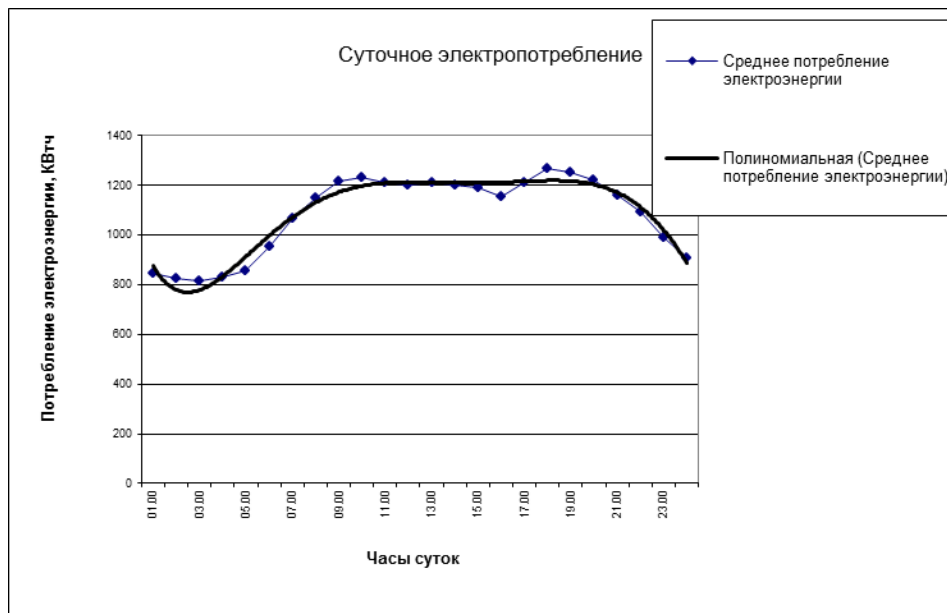


Рис. 1 – Среднее потребление электроэнергии и его тренд

Таким образом, для прогнозируемого нестационарного случайного процесса  $x_{\text{тр}}(t)$  имеем разложение [4]:

$$x_{\text{тр}}(t) = \sum_{\kappa=1}^{24} \Psi_{\kappa}(t) \xi_{\kappa}, \quad (8)$$

где  $\xi_{\kappa}$  – детерминированные функции  $\langle \xi_{\kappa}, \xi_j \rangle = \delta_{kj},$

функции  $\Psi_{\kappa}(t)$  удовлетворяют системе рекуррентных уравнений эквивалентной системы [4]:

$$\frac{d\Psi_{\kappa}}{dt} + \lambda_{\kappa} \Psi_{\kappa} = \sum_{\alpha=1}^r u_{\kappa,\alpha}(t) \sqrt{\omega_{\alpha}} M a_{\alpha} \overline{\xi_{\kappa}}, \quad (9)$$

$$\Psi_{\kappa}(t)|_{t=0} = \Psi_{\kappa}(0), \quad (10)$$

$$u_{\kappa+1,\alpha}(t) = u_{\kappa,\alpha}(t) - \sqrt{\omega_{\alpha}} M \xi_{\kappa} \overline{a_{\alpha}} \Psi_{\kappa}(t), \quad (11)$$

$$u_{1,\alpha}(t)|_{t=0} = 0, \quad (\alpha = \overline{1, 24}), \quad (12)$$

где  $a_{\alpha}$  – базис в модельном пространстве  $l^2;$

$$M a_{\alpha} \overline{a_{\beta}} = \delta_{\alpha\beta};$$

$\omega_{\alpha}$  – собственные значения оператора  $2\text{Im } \dot{A};$

базис  $\{a_{\alpha}\}_{\alpha=1}^{24}$  имеет вид:  $a_1 = \{1, 0, 0, \dots\},$

$a_2 = \{0, 1, 0, \dots\}, \dots, a_{24} = \{0, 0, \dots, 0, 1\}.$

Учитывая определение скалярного произведения, получаем выражения:

$$M a_1 \overline{\xi_{\kappa}} = \begin{cases} \cos t, & k = 1; \\ \sin t, & k = 2; \\ 0, & k = \overline{3, 24}. \end{cases} \quad (13)$$

$$Ma_2 \bar{\xi}_k = \begin{cases} -\sin t, & k = 1; \\ \cos t, & k = 2; \\ 0, & k = \overline{3, 24}. \end{cases} \quad (14)$$

$$Ma_3 \bar{\xi}_k = \begin{cases} \cos 2t, & k = 3; \\ \sin 2t, & k = 4; \\ 0, & k = \overline{1, 2, 5, 24}. \end{cases} \quad (15)$$

$$M_{\xi_1}^{\xi} \bar{a}_k = \begin{cases} \cos t, & k = 1; \\ -\sin t, & k = 2; \\ 0, & k = \overline{3, 24}. \end{cases} \quad (16)$$

$$M_{\xi_2}^{\xi} \bar{a}_k = \begin{cases} \sin t, & k = 1; \\ \cos t, & k = 2; \\ 0, & k = \overline{3, 24}. \end{cases} \quad (17)$$

$$M_{\xi_3}^{\xi} \bar{a}_k = \begin{cases} \cos 2t, & k = 3; \\ -\sin 2t, & k = 4; \\ 0, & k = \overline{1, 2, 5, 24}. \end{cases} \quad (18)$$

Пусть на входе действует гармонический синусоидальный процесс

$$u_{1,\alpha}(t) = X_\alpha \sin \alpha t,$$

который удовлетворяет начальным условиям системы (9)–(12). Постоянные  $X_\alpha$  равняются амплитуде.

В этом случае система (9)–(12) с учетом выражений для математических ожиданий при  $k=1$  принимает вид:

$$u_{2,n}(t) = X_n \cdot \sin nt, \quad n = \overline{3, 24}, \quad (19)$$

$$u_{2,1}(t) = X_1 \cdot \sin t + \sqrt{\omega_1} \cos t \cdot \psi_1(t), \quad (20)$$

$$u_{2,2}(t) = X_2 \cdot \sin 2t - \sqrt{\omega_2} \sin t \cdot \psi_1(t), \quad (21)$$

$$\frac{d\psi_1}{dt} + \frac{\beta_1^2}{2} \psi_1 = X_1 \sin t \sqrt{\omega_1} \cos t + X_2 \sin 2t \sqrt{\omega_2} \sin t. \quad (22)$$

Решая линейное дифференциальное уравнение первого порядка (9) методом Бернулли, получаем с учетом начальных условий выражение для функции  $\psi_1(t)$ :

$$\begin{aligned} \psi_1(0) = & -\frac{X_1 \sqrt{\omega_1}}{\sqrt{\beta_1^4 + 16}} \cos \vartheta_1^{(2)} + \\ & + \frac{X_2 \sqrt{\omega_2}}{\beta_1^4 + 16} \sqrt{\beta_1^4 + 36} \cos \vartheta_1^{(3)} - \\ & - \frac{X_2 \sqrt{\omega_2}}{\beta_1^4 + 16} \sqrt{\beta_1^4 + 1} \cos \vartheta_1^{(1)}, \end{aligned} \quad (23)$$

$$\text{где } \vartheta_1^{(1)} = \arctg \frac{1}{\beta_1^2},$$

$$\vartheta_1^{(2)} = \arctg \frac{\beta_1^2}{4},$$

$$\vartheta_1^{(3)} = \arctg \frac{6}{\beta_1^2}.$$

Получаем выражение (23) для функции  $\psi_1(t)$  в следующем виде:

$$\begin{aligned} \psi_1(t) = & -\frac{X_1 \cdot \sqrt{\omega_1}}{\sqrt{\beta_1^4 + 16}} \cos(2t + \vartheta_1^{(2)}) + \\ & + \frac{X_2 \cdot \sqrt{\omega_2}}{\beta_1^4 + 16} \sqrt{\beta_1^4 + 36} \cos(3t - \vartheta_1^{(3)}) - \\ & - \frac{X_2 \cdot \sqrt{\omega_2}}{\beta_1^4 + 16} \sqrt{\beta_1^4 + 1} \cos(t - \vartheta_1^{(1)}) + C_1 e^{\frac{\beta_1^2}{2}t}. \end{aligned} \quad (24)$$

Учитывая начальные условия (10), (12), получаем

$$u_{2,1}(0) = \sqrt{\omega_1} \psi_1(0), \quad u_{2,n}(0) = 0, \quad (n = \overline{2, 24}),$$

$$C_1 = 0,$$

$$\begin{aligned} \psi_1(0) = & -\frac{X_1 \sqrt{\omega_1}}{\sqrt{\beta_1^4 + 16}} \cos \vartheta_1^{(2)} + \\ & + \frac{X_2 \sqrt{\omega_2}}{\beta_1^4 + 16} \sqrt{\beta_1^4 + 36} \cos \vartheta_1^{(3)} - \\ & - \frac{X_2 \sqrt{\omega_2}}{\beta_1^4 + 16} \sqrt{\beta_1^4 + 1} \cos \vartheta_1^{(1)}. \end{aligned}$$

Аналогично, решая соответствующие линейные дифференциальные уравнения, находят функции  $\psi_k(t)$  при значениях  $k = \overline{2, 24}$ . После элементарных преобразований формула (8) может бути представлена в виде:

$$x_{\text{np}}(t) = A_0 + \sum_{k=1}^{49} A_k \cos(kt - \theta_k). \quad (25)$$

В работе [5] предложен метод нахождения собственных значений  $\omega_\alpha$  ( $\alpha = \overline{1, 24}$ ).

Учитывая значения  $\beta_n$ ,  $\omega_n$  и  $X_n$  ( $n = \overline{1, 24}$ ), получаем значения коэффициентов для функции (25).

Подстановка в выражение (25) значений  $t = \overline{1, 24}$  дает возможность определить усредненное почасовое прогнозное значение потребляемой электрической энергии.

Для подтверждения правильности построенной модели для нее были найдены доверительные интервалы. Экспериментальные данные электропотребления на следующий год оказались



полностью внутри полученных доверительных интервалов.

Таким образом, построенная модель случайного процесса является качественной аппроксимацией эмпирических данных.

**Выводы.** На базе корреляционной теории построена математическая модель нестационарных стохастических процессов с дискретным спектром для решения задач их статистической обработки и прогнозирования.

На основе рассмотренных моделей предложена методика прогноза суточного потребления электрической энергии и проведена экспериментальная проверка построенной модели. Прогноз, полученный на основе проведенных расчетов, дал точность на 1,5% выше, чем у моделей, используемых ранее.

#### Список литературы

1. Сребренников Б. С. Повышение энергетической эффективности технологических процессов промышленных предприятий / Б. С. Сребренников, Е. Г. Петрова // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2013. – № 1. – С. 15-20.
2. Праховник А. В. Контроль эффективности энергопотребления – ключевые проблемы управления энергосбережением / А. В. Праховник, В. Ф. Находков, О. В. Борисенко // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2009. – № 8. – С. 41 – 54.
3. Магнус Я. Р., Катышев П. К., Пересецкий А. А. Эконометрика. Начальный курс: учеб. – М.: Дело, 2004. – 576 с.
4. Ахизер Е. Б. Спектральные разложения неоднородных случайных векторных полей. // Вестник Харьковского

университета, серия «Математика, прикладная математика и механика». – Харьков: ХГУ. 2000. – № 475. – С. 341–346.

5. Ахизер Е. Б., Пиротти Е. Л. Гармонические представления случайных процессов в динамических системах. // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. – № 6. – С. 157–161.

#### References (transliterated)

1. Serebrennikov B. S. *Povyshenie energeticheskoi effektivnosti tekhnologicheskikh protsessov promyshlennykh predpriatii*. [Improving the energy efficiency of industrial processes]. *Energoberezhenie. Energetika. Energoaudit.*, 2013, no. 1, pp. 15–20.
2. Prakhovnik A. V. *Control effektivnosti energopotrebleniia – kluchevye problemy upravleniia energoberezeniem*. [Control of energy efficiency – the key power management problems] *Energoberezhenie. Energetika. Energoaudit.*, 2009, no. 8, pp. 41–54.
3. Magnus J. R., Katishev P. K., Peresetsky A. A. *Ekonometrika. Nachalniy kurs*. [Econometrics. Initial course]. Ucheb. – M.: Delo, 2004, 576 p.
4. Akhiezer E. B. *Spectralnyi razlozheniia neodnorodnykh sluchainykh polei* [Spectral decomposition of non-uniform random vector fields]. *Vestn. Khar'kiv universitet. Ser.: Matematika, prikladnaia matematika i mekhanika* [Bulletin of the Kharkov university. Series: Mathematics, applied mathematics and mechanics]. Kharkov: KhGU, 2000, no. 475, pp. 341–346.
5. Akhiezer E. B., Pirotti E. L. *Garmonicheskie predstavleniia sluchainykh protsessov v dinamicheskikh sistemakh* [Harmonic representation of random processes in dynamic systems]. *Visnyk NTU "KhPI"* [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]. Kharkov, NTU "KhPI" Publ., 2003, no. 6, pp. 157–161.

Поступила (received) 05.02.2016

#### Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

**Модельювання енергопотоків на кінцевому часовому відрізку / Є. Л. Пиротті, В. І. Олійник // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – № 37 (1209). – С. 13–16. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-0023.**

**Моделирование энергопотока на конечном временном отрезке / Е. Л. Пиротти, В. И. Олейник // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків: НТУ «ХПІ», 2016. – № 37 (1209). – С. 13–16. – Библиогр.: 5 назв. – ISSN 2079-0023.**

**Simulation of energy flow in a finite time interval / E. L. Pirotti, V. I. Oliinyk // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov: NTU "KhPI", 2016. – No. 37 (1209). – P. 13–16. – Bibliogr.: 5. – ISSN 2079-0023.**

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Пиротті Євген Леонідович** – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри комп'ютерної математики та математичного моделювання; тел.: (067) 707-39-88; e-mail: pirel@ukr.net.

**Пиротти Евгений Леонидович** – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», профессор кафедры компьютерной математики и математического моделирования; тел.: (067) 707-39-88; e-mail: pirel@ukr.net.

**Pirotti Evgenii Leonidovich** – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Professor at the Department of Computer Mathematics and Mathematical Modeling, tel.: (067) 707-39-88; e-mail: pirel@ukr.net.

**Олійник Віталій Ігоревич** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», магістр; тел.: (098) 946-83-95; e-mail: vital.oliinyk@gmail.com.

**Олейник Виталий Игоревич** – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», магистр; тел.: (098) 946-83-95; e-mail: vital.oliinyk@gmail.com.

**Oliinyk Vitalii Igorovych** – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Master student; tel.: (098) 946-83-95; e-mail: vital.oliinyk@gmail.com.



UDK 004.827

**D. E. DVUKHGLAVOV, O. V. MUZYKA, S. O. HLAZKOV**

## **MODEL OF THE SITUATIONS RECOGNITION IN CONDITIONS DISSIMILAR AND INCOMPLETE DATA**

There have been proposed model of situations recognition in determined alphabet, based on combination of quantitative and qualitative characteristics, considered the data dissimilar, coming from information sources. In the model improved the quality of the formalized description of quantitative characteristics using histograms instead of fuzzy L-R intervals, which gives the possibility of organizing a self-learning recognition system situations based on the processing statistics of recognition. Recommendations for formation of characteristics sets to overcome the data incompleteness have been present. Proposed model may be use for formalization knowledge about situation recognition process. Subject areas for implementation taken results are diagnostic in medicine and energetic, situation assessment at the military control points, making prognosis in economic.

**Keywords:** situations recognition, alphabet of classes, quantitative characteristic, qualitative characteristic, fuzzy measure, incomplete data

Представляється модель розпізнавання ситуацій у детермінованому алфавіті на основі сукупності кількісних та якісних ознак, що враховує різноманітність даних, що поступають від джерел інформації. В моделі вдосконалюється якість формалізованого опису кількісних ознак за рахунок використання гістограм замість нечітких L-R інтервалів, що надає можливість організації самонавчання системи розпізнавання ситуацій на основі обробки статистики розпізнавання. Представлені рекомендації щодо формування наборів ознак для подолання неповноти даних.

**Ключові слова:** розпізнавання ситуацій, алфавіт класів, кількісна ознака, якісна ознака, нечітка міра, неповнота даних.

Представляется модель распознавания ситуаций в детерминированном алфавите на основе совокупности количественных и качественных признаков, учитывает разнородность данных, поступающих от источников информации. В модели усовершенствуется качество формализованного описания количественных признаков за счет использования гистограм вместо нечетких L-R интервалов, что позволяет организовать самообучение системы распознавания ситуаций на основе обработки статистики распознавания. Представлены рекомендации по формированию наборов признаков для преодоления неполноты данных.

**Ключевые слова:** распознавание ситуаций, алфавит классов, количественный признак, качественный признак, нечеткая мера, неполнота данных.

**Introduction.** At the present stage of management processes automation principles development more often automation system execute analytical information processing, which necessary for effective decisions making. In set of these task also must be include recognition situations task.

The theoretical basis of recognition situations present in [1]. Modern recognition situations methods base on fuzzy sets [2], functionality ordinal networks [3], Bayesian approach [4] and neural networks [5]. The difficulty of using some detection methods, in particular Bayesian approach and neural networks is that their application requires the collection of statistics over a long period. To obtain such a set is not always possible. A portion of the methods works only with the characteristics of situations, which are continuous variables. Therefore, more and more to recognize situations relies on methods that based on the formalization of expert knowledge. At the same time must retain the possibility of training the system to improve recognition quality. It can argued that the methods of pattern recognition, which fully satisfy modern requirements for this class of systems does not exist.

In our time actuality of decision this tasks we can see in medicine [6], in military affairs [3, 7], also in robotics, in automatic control, during economic analysis. Research in this scientific area, along with research in the field of pattern recognition, correspond introduction of intellectual data processing methods in control points activity, which is an additional evidence of this research area actuality.

**The purpose of the article** is development of method, which allows to represent data for identification of different nature and to ensure situations recognition in

conditions of incomplete data.

**Resolution of the situations recognition task.** The situations (or objects) recognition task is to make conclusion about the class of observed situation (objects) by analyzing their characteristics (parameters and relationships with other objects subject area).

The concept of "class" meets a set of observed situations (objects), characterized by the regularities of manifestation properties.

The features of the observed situation, presented in recognition system as set of characteristics  $\{X_1, \dots, X_L\}$ , where  $L$  – number of characteristics used to identify situations of a certain type. The list of features is common to all type situations, but these symptoms manifest themselves differently in different classes of situations.

The observed situations classes grouped in the alphabet. The alphabet is disjoint set of classes:

$$A_m = \{K_1^m, K_2^m, \dots, K_{M_m}^m\}, \quad (1)$$

where  $K_i^m$  – classes of alphabet  $A_m$ ;

$M_m$  – number of alphabet classes.

Typical tasks of this type is to determine the general condition based on initial examination of patients based survey in foster recognition department or type of airplane or ship according to the various technical means.

**The formalization of disparate source data.** Based on the analysis of characteristics used in the detection, we can conclude that their composition is diverse in terms of mathematical properties values.

In many cases, the set of possible values of the characteristic is a subset of the real numbers:

$$X_k \in [X_{k_{\min}}, X_{k_{\max}}], \quad (2)$$

where  $X_k$  –  $k$ -th characteristic used to identify classes of objects in the  $m$ -th alphabet;

$X_{k_{\min}}, X_{k_{\max}}$  – minimum and maximum possible values of attributes for objects that are recognized.

Such characteristics called *quantitative*. For example, for the recognition of aircraft objects types such characteristics are speed and altitude, in medical diagnostic – are temperature and human height.

Characteristics that take value from a specified list and do not have the structure in any order, called *quality*:

$$X_k \in \{z_1^k, z_2^k, \dots, z_{Z_k}^k\}, \quad (3)$$

where  $z_p^k$  –  $p$ -th possible value of  $k$ -th characteristics used to identify classes of objects in the  $m$ -th alphabet;

$Z_k$  – total number of possible values of this characteristic.

The assignment to a class of situations involves determining measures of proximity of the object observed for each of the classes  $val(K_i^m)$  and the decision to situations class selected in accordance with the rules.

For this type of characteristics in solving the problem of recognition of air objects include the size of the group aircraft or the nature of the maneuver; in medicine – the overall functional state or the nature of employment.

The basis for constructing rules of measures of proximity of objects observed classes alphabet is to define the set of alternative groups characteristics, patterns of manifestation which will be analyzed. Formally, this can be determined by the following expression:

$$K_i^m = \bigcup_{q=1}^{Q_i} G_q = \bigcup_{q=1}^{Q_i} \bigcap_{k \in R_{iq}} X_k, \quad (4)$$

where  $G_q$  – alternative group characteristics  $q$ , which allow to make recognition;

$Q_i$  – number of alternative groups characteristics used to identify  $i$ -th class situation;

$R_{iq}$  – set of indexes of  $q$ -th alternative characteristics group, used to identify the  $i$ -th class situations.

For each characteristic, which used for recognition  $i$ -th class situations as part of  $q$ -th group, experts determined the pattern of values characteristics appearance for a particular situations as fuzzy set  $N_k^{miq}$ , which can be presented as

$$N_k^{miq} = \{(X_k, \mu^{miq}(X_k))\}, \quad (5)$$

where  $\mu^{miq}(X_k)$  – degree of belonging to  $i$ -th class situations according to values of characteristic  $X_k^m$  as part of  $q$ -th alternative group of characteristic.

One approach to knowledge representation pattern of display values in the form of quantitative characters is the use of histograms. This presentation simple to understand

experts allows a satisfactory degree of reliability to pass basic laws of the subject area and is easy in processing.

To construct a histogram certain features expert must set the width of the interval  $R^k$  or their number  $K^k$ .

In the last case the width of the interval is calculated according to expression:

$$R^k = \frac{X_{k_{\max}} - X_{k_{\min}}}{K^k}. \quad (6)$$

For each interval of histogram expert must determine the value of belonging situation to a certain class. Membership function values for of quantitative characters takes shape:

$$\mu^{miq}(X_k) = \begin{cases} \mu_1^{miqk} | X_k \in [X_{k_{\min}}, X_{k_{\min}} + R_{iim}^k]; \\ \mu_2^{miqk} | X_k \in [X_{k_{\min}} + R_{iim}^k, X_{k_{\min}} + 2 * R_{iim}^k]; \\ \dots \\ \mu_{K_{iim}^k}^{miqk} | X_k \in [X_{k_{\max}} - R_{iim}^k, X_{k_{\max}}], \end{cases} \quad (7)$$

where  $\mu_s^{miqk}$  – the function belonging situation to the  $i$ -th class of alphabet  $m$ , if the value of characteristic  $X_k$  consisting of  $q$ -th group is the interval  $s$ .

Graphic illustration representing regularities of quantitative characters values shown in fig. 1.

In [3] presents another well-known version of the presentation patterns of display characteristics is the use of fussy L-R intervals – trapezoidal functions with key points (A, 0), (B, 1), (C, 1), (D, 0), where A and D correspond to boundaries of the possible values of the trait, B, and C – the range border of most possible values.

It exist possibility this model representation of quantitative characteristics in the model based on the histograms. This requires the respective intervals of the histogram to assign the degree of conformity the same intervals of the trapezoid used in model of L-R intervals. However, the use of the proposed model for formalization of quantitative traits allows to consider more complex patterns of onset, and, therefore, to provide more accurate situation recognition.

To formalize of the appearance regularities of quality attributes in the objects of a certain class expert must determine the extent possible assignment object to a class for all possible values of certain properties. Membership function values on quality characteristics shall look as present below (expression (9)):

$$\mu^{miq}(X_k) = \begin{cases} \mu_1^{miqk} | X_k^m = z_1^k; \\ \mu_2^{miqk} | X_k^m = z_2^k; \\ \dots \\ \mu_{Z_k}^{miqk} | X_k^m = z_{Z_k}^k. \end{cases} \quad (9)$$

Graphic illustration representing regularities of quality characteristics values presented in fig. 2.

Common list of alphabet classes list of characters on which the identification and description of regularities of characters in object form a formalized description of the authentication process.

A description of the appearance regularities of characteristics in classes of a given alphabet is a formalization of the initial stage of recognition. For further situations recognition it is necessary to establish rules for attributing to a particular class of situations,

depending on the specific values of characteristics. In [3] a description of these rules is proposed to be based on AND-OR graph. In fact, this graph corresponds to a Boolean expression. But any logical expression, if it is not a logical contradiction, can be represented in disjunctive normal form. This approach proposes to use, i.e. features will be divided into groups and the class situation will be identified at identification of compliance by all indications the group.

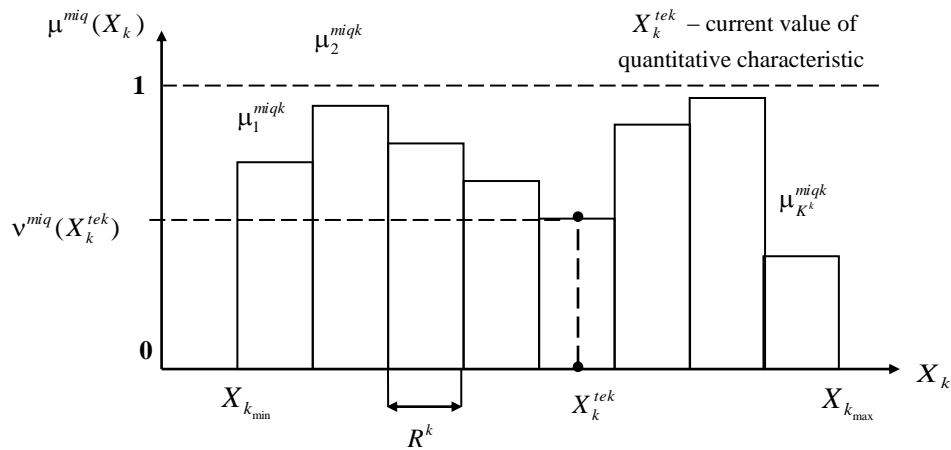


Fig. 1 – Graphic illustration of the formalization of the laws of manifestation quantitative characteristics values using histograms

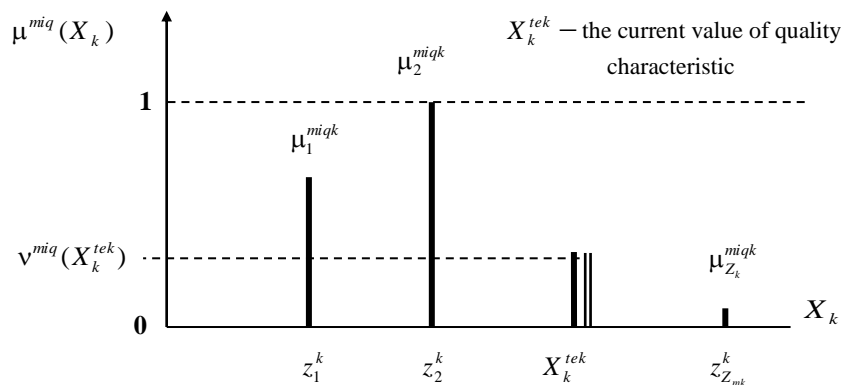


Fig. 2 – Graphic illustration formalize patterns of display values of quality features

**The recognition procedure.** The class definition of the object observed made in the following order:

getting a set  $\{X_1^{tek}, \dots, X_L^{tek}\}$  – set of characteristics values of particular observed situation;

determining extent of truth  $v^{miq}(X_k^{tek})$ , which show accordance the current value of characteristic  $X_k$  to experts describe patterns of their appearance in situations in the  $i$ -th class of  $m$ -th alphabet, when characteristic looking as part of  $q$ -th alternative group of characteristic;

determining measures  $\omega^{mi}(G_q)$ , describing the proximity of the situation at to the  $i$ -th class of  $m$ -th alphabet on the results determine the extent of truth of alternative signs  $G_q$ ;

determining generalized measures of proximity situation  $\omega(X_k^m)$  to classes of  $m$ -th alphabet;

determining class  $K^{m*}$  of situation according to the set rules of decision making about the class object.

The value of the signs  $X_k^{tek}$  information have been taken from sources in the form of estimates, which are for quantitative traits – point estimation of their values, for signs of quality – possible values of a given set.

Evaluation of truth quantitative trait determined according to expression:

$$v^{miq}(X_k^{tek}) = \mu_s^{miqk} | X_k^{tek} \in \left[ X_{k_{min}}^m + (s-1) * R_{ium}^k, X_{k_{min}}^m + s * R_{ium}^k \right]. \quad (10)$$

Evaluation of truth qualitative characteristics will be determined in accordance with rule:

$$v^{miq}(X_k^{tek}) = \mu_s^{miqk} \mid X_k^{tek} = z_s^k. \quad (11)$$

For further recognition, the following equality, just as the theory of fuzzy sets:

$$v(X_1 \cap X_2) = \min \{v(X_1), v(X_2)\}; \quad (12)$$

$$v(X_1 \cup X_2) = \max \{v(X_1), v(X_2)\}. \quad (13)$$

Defining measures proximity object to the  $i$ -th grade  $m$ -th alphabet degrees of truth for signs of alternative  $G_q$  carried out according to the rules of crossing the fuzzy sets (expression (12)). The result is:

$$\omega^{mi}(G_q) = \min_{k \in R_q} \{v^{miq}(X_k^{tek})\}. \quad (14)$$

Defining measures proximity object classes alphabet is made by applying the rules of association of fuzzy sets (expression (13)). The merger assessments proximity of the object to a class, the value is:

$$\omega(K_i^m) = \max_q \{\omega^{mi}(G_q)\}. \quad (15)$$

The basic rule is used to make decisions about the class object of observation is the following:

$$K^{m*} = \arg \max_i \{\omega(K_i^m)\}. \quad (16)$$

Under this rule class of situation is one measure which is close to the maximum.

To ensure the required probability recognition results using a rule the following form:

$$K^{m*} = \arg \max_i \{\omega(K_i^m)\} \mid \omega(K_i^m) \geq \delta. \quad (17)$$

According to this rule in determining the class of situation are considered, a measure of intimacy which exaggerates set to  $\delta$ . The value threshold  $\delta$  lies in the range [0, 1].

While the decision to object class may be a situation where a measure close to one object slightly exaggerates the extent of that proximity of the object to another class. If necessary, prohibition decisions on class facility in such conditions can be used the following rule:

$$\exists i \forall j \left[ \left( (\omega(K_i^m) - \omega(K_j^m) > \Delta) \wedge (i \neq j) \right) \rightarrow \left( K^{m*} = K_i^m \right) \right]. \quad (18)$$

The value  $\Delta$  called typical margin. Its importance also are in the range [0, 1]. Also must note, when  $\Delta = 0$ , will be taken rule, represented by expression (17).

In practice can be applied all at once strategy.

In case of dissatisfaction with the requirements of the rules of decision-making about the class object carried refusal of recognition.

**Conclusions.** Results of the research question of formalizing recognition process suggest as follows:

dissimilar of data sources appears in traits nature – they can be evaluated either quantitative or qualitative; the development of the recognition system must be treated mentioned traits in both groups;

incomplete data can be overcome through the analysis of the situation or object from some positions, which increases the amount of formalized description, but increases the likelihood of obtaining results;

use histograms to represent quantitative traits is a good alternative to the use of L-R intervals, providing the possibility of self-recognition system as the accumulation of relevant statistics.

Presents the results and findings are the basic for development, testing and introduction into practice of corresponding personal recognition situation subsystem software. Important for the implementation of the model is to develop and implement self-learning model algorithm. In turn, this task makes it relevant to the question of comparative analysis of work procedures for the recognition of situations on the basis of the proposed model with the procedures of recognition based on Bayesian approach and based on neural networks.

#### References

1. Горелик А. Л. Методы распознавания / А. Л. Горелик, В. А. Скрипкин. – М. : Высшая школа, 1984. – 207 с.
2. Вятченин Д. А. Нечеткие методы автоматической классификации / Д. А. Вятченин. – Минск : УП «Технопринт», 2004 – 219 с.
3. Грачев В. М. Методика распознавания классов воздушных объектов в АСУ ПВО с использованием однородной функциональной сети / В. М. Грачев, А. Н. Попрыгин // Сб. научн. тр. ХВУ. – Х. : ХВУ. – 1995. – Вып. 8. – С. 49–54.
4. Вагис А. Эффективность байесовских процедур распознавания / А. Вагис., А. Гупал // ITHEA International Scientific Society – 2008. – Available at : [http://www.foibg.com/ibs\\_isc/ibs-15/ibs-15-p11.pdf](http://www.foibg.com/ibs_isc/ibs-15/ibs-15-p11.pdf). – Accessed : 20th of October 2016.
5. Барский А. Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений / А. Б. Барский. – М. : Финансы и статистика, 2004. – 176 с.
6. Голоскоков А. С. Процедура діагностування стану серцево-судинної системи пацієнту на основі нечіткої логіки / А. С. Голоскоков, К. В. Мельник // Вісник НТУ «ХП». Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Х. : НТУ «ХП». – 2008. – № 49. – С. 101–104.
7. Павленко М. А. Метод формализации знаний о процессе распознавания ситуаций нарушения правил движения воздушными судами / М. А. Павленко // Системи управління, навігації і зв'язку. – К. : ДП «ЦНДІ НГУ», 2012. – Вип. 2 (22). – С. 86–92.

#### References (transliterated)

1. Gorelik A. L., Skripkin V. A. *Metody raspoznavaniya* [The Recognition Methods]. Moscow, Vysshaja Shkola Publ, 1984, 207 p.
2. Vjatchenin D. A. *Nechetkie metody avtomaticheskoy klassifikacii* [Indistinct Methods of Automatic Classification]. Minsk, UP «Technoprint», 2004, 219 p.
3. Grachev V. M., Poprygin A. N. *Metodika raspoznavaniya klassov vozdushnykh ob'ektov v ASU PVO s ispol'zovaniem odnorodnoy funkcional'noj seti* [Technique of air objects classes recognition in AirDefense ACS with use of uniform functional network]. *Sb. nauchn. tr. KhVU* [Collection of scientific papers of Kharkov Military University]. Kharkov, KhMU, 1995, no. 8, pp. 49–54.
4. Vagis A., Gupal A. *Jeffektivnost' bajesovskih procedur raspoznavaniya* [Efficiency of Bayesian procedures of recognition]. ITHEA International Scientific Society, 2008. Available at: [http://www.foibg.com/ibs\\_isc/ibs-15/ibs-15-p11.pdf](http://www.foibg.com/ibs_isc/ibs-15/ibs-15-p11.pdf) (accessed 20.10.2016).

5. Barskij A. B. *Nejronnyeseti: raspoznavanie, upravlenie, prinjatereshenij* [Neural networks: recognition, management, decision-making]. Moscow, Finansyand Statistika Publ., 2004, 176 p.
6. Goloskokov A. Ye., Mel'nik K. V. *Procedura diagnostuvannya stanu serdcevo-sudynnoi systemy paciyentu na osnovi nechitkoyi logiky* [The procedure of diagnosing the state of patient cardiovascular system based on fuzzy logic]. *Visnyk NTU "KhPI"* [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]. *Tematychnyy vypusk: Informatyka i modelyuvannya* [Special issue: Informatics and modeling]. Kharkov, NTU "KhPI" Publ., 2008, no. 49, pp. 101–104.
7. Pavlenko M. A. *Metod formalizacii znanij o processe raspoznavanija situacij narushenija pravil dvizhenija vozдушnymi sudami* [Method of knowledge formalization of process of recognition of the movement rules violation by aircrafts situations]. *Systemy upravlinnya, navigaciyi i zvyazku* [Control systems, navigation and communication]. Kyiv, GE «CSRI N&C», 2012, no. 2 (22), pp. 86–92.

Received 14.10.2016

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Модель розпізнавання ситуацій в умовах різномірності та неповноти даних / Д. Е. Двухглавов, О. В. Музыка, С. О. Глазков** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – X. : НТУ «ХПІ», 2016. – № 37 (1209). – С. 17–21. – Бібліогр. : 7 назв. – ISSN 2079-0023.

**Модель распознавания ситуаций в условиях разнородности и неполноты данных / Д. Э. Двухглавов, А. В. Музыка, С. А. Глазков** // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Системный анализ, управление и информационные технологии. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2016. – № 37 (1209). – С. 17–21. – Библиогр. : 7 наим. – ISSN 2079-0023.

**Model of the situations recognition in conditions dissimilar and incomplete data /D. E. Dvukhglavov, O. V. Muzyka, S. O. Hlazkov** // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov : NTU "KhPI", 2016. – No. 37 (1209). – P. 17–21. – Bibliogr. : 7. – ISSN 2079-0023.

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Двухглавов Дмитро Едуардович** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Програмна інженерія та інформаційні технології управління»; тел.: (095) 120-30-66; e-mail: ddimae72@gmail.com.

**Двухглавов Дмитрий Эдуардович** – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры «Программная инженерия и информационные технологии управления»; тел.: (095) 120-30-66; e-mail: ddimae72@gmail.com.

**Dvukhglavov Dmytro Eduardovych** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor at the Department «Software engineering and management information technology»; tel.: (067) 839-12-41; e-mail: ddimae72@gmail.com.

**Музыка Александр Володимирович** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», студент; тел.: (067) 839-12-41; e-mail: adept1994@gmail.com.

**Музыка Александр Владимирович** – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», студент; тел.: (067) 839-12-41; e-mail: adept1994@gmail.com.

**Muzyka Oleksandr Volodymyrovych** – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", student; tel.: (067) 839-12-41; e-mail: adept1994@gmail.com.

**Глазков Станіслав Олександрович** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», студент; тел.: (093) 251-99-52; e-mail: ststasker@gmail.com.

**Глазков Станислав Александрович** – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», студент; тел.: (093) 251-99-52; e-mail: ststasker@gmail.com.

**Hlazkov Stanislav Oleksandrovych** – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", student; tel.: (093) 251-99-52; e-mail: ststasker@gmail.com.

УДК 004.942

**В. А. ГУЖВА, А. Г. СОКОЛОВА, В. О. КОСТАЛАН**

## **СКОРИНГ ЦЕННЫХ БУМАГ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА «STOCK EXCHANGE DSS»**

Запропонована методика портфельної оптимізації, яка є альтернативною по відношенню до класичної. Методика заснована на моделі скорингу цінних паперів, представленій у вигляді формули згортки нормованих оцінок доходності, ризику та ліквідності цінних паперів. Результатом розрахунку за цією моделлю для кожного виду цінних паперів є коефіцієнт інвестиційної привабливості, пропорційно значенню якого визначаються частки цінних паперів у портфелі.

**Ключові слова:** цінні папери, скоринг, прибутковість, ліквідність, ризик, коефіцієнт інвестиційної привабливості.

Предложена методика портфельной оптимизации, которая является альтернативной по отношению к классической. Методика основана на модели скоринга ценных бумаг, представленной в виде формулы свертки нормированных оценок доходности, риска и ликвидности ценных бумаг. Результатом расчёта по этой модели для каждого вида ценных бумаг является коэффициент инвестиционной привлекательности, пропорционально значению которого определяются доли ценных бумаг в портфеле.

**Ключевые слова:** ценные бумаги, скоринг, доходность, ликвидность, риск, коэффициент инвестиционной привлекательности.

Making investment decisions is accompanied by a thorough preliminary analysis. However, when the number of the stock of assets (stocks, bonds and other securities) is measured in hundreds, analysis of investments is not possible and operative support investments difficult. A special need for such an analysis are experiencing investors (banks, investment and insurance funds. The literature shows a multitude of mathematical models of formation of a portfolio of securities and management. In these models, is considered to maximize portfolio returns for a given risk and minimize risk for a given yield, it cannot meet the needs of investors. Therefore, the technique of portfolio optimization was proposed, which is an alternative to classical. The method is based on scoring models of the securities represented in the following formula convolution of the normalized estimates of yield, risk and liquidity of the securities. The result of the calculation for this model for each type of securities is the factor of investment attractiveness, in proportion to the value, which will determine the share of securities in the portfolio.

**Keywords:** securities, scoring, profitability, liquidity, risk factor of investment attractiveness.

**Введение.** Инвестиционный портфель (портфель ценных бумаг) представляет собой набор ценных бумаг в активе инвестора, а управление им включает планирование, анализ и регулирование его состава, а также обеспечение его функционирования и поддержания [1]. Принятие инвестиционных решений сопровождается тщательным предварительным анализом, однако, когда число фондовых активов (акций и других ценных бумаг) измеряется сотнями, анализ вручную невозможен и оперативное сопровождение вложений затруднено. Особую потребность в таком анализе испытывают институциональные инвесторы (банки, пенсионные, инвестиционные и страховые фонды), осуществляющие систематическое и крупномасштабное инвестирование в фондовые активы [2].

**Цель статьи** состоит в демонстрации методики скоринга ценных бумаг в программном продукте «Stock Exchange DSS» на реальных данных украинского рынка ценных бумаг.

**Методика скоринга ценных бумаг.** Система скоринга ценных бумаг является примером программного продукта, автоматизирующего подобный анализ. Она помогает решить вопрос о включении ценных бумаг в инвестиционный портфель или исключении их оттуда.

Существует понятие скоринга ценных бумаг, означающее оценку ценных бумаг, которая позволяет осуществить их ранжирование по критерию инвестиционной привлекательности в пределах сектора или отрасли экономики и выработать брокерскую рекомендацию об их покупке, удержании либо продаже.

Методика скоринга ценных бумаг основана на использовании теории нечётких множеств и включает следующие этапы [3, 4].

Этап 1. Выбор показателей, по которым будут оцениваться фондовые инструменты, и установление системы предпочтений этих показателей. При отборе показателей необходимо соблюдать следующее условие – отсутствие их линейной зависимости друг от друга. При несоблюдении этого условия построение рейтинга по правилу аддитивной свертки даст некорректный результат.

Этап 2. Нечёткая классификация значений выбранных параметров. Рейтинг показателя, характеризующего ценную бумагу, может быть оценен как низкий, между низким и средним, средний, между средним и высоким, высокий. Для каждого из этих уровней устанавливаются числовые значения (интервалы).

Этап 3. Ранжирование показателей. Ранг показателя относительно своего текущего уровня характеризует относительность текущего значения фактора к нечёткой системе уровней рейтинга.

Если значение показателя попадает в интервал, соответствующий некоторому уровню рейтинга, «Низкий», «Средний» или «Высокий» (обозначим  $A_j$ ), то значение ранга для соответствующего уровня рейтинга равно 1, а для остальных  $A_j$  равно 0.

Если же фактическое значение показателя попадает в интервал, соответствующий уровню рейтинга « $A_j - A_{j+1}$ » (например, между средним и высоким), то значения рангов ( $x_{0,j}$ ) вычисляются по нижеследующим формулам.

Для подмножества  $A_{j+1}$ :

$$x_{0,j+1} = (y - y_2)(x_2 - x_1)/(y_2 - y_1) + x_2. \quad (1)$$

Для подмножества  $A_j$ :

$$x_{0,j} = 1 - x_{0,j+1}x_{0,j}, \quad (2)$$

где  $y$  – фактическое значение показателя;

$y_1$  – минимально допустимое значение показателя;

$y_2$  – максимально допустимое значение показателя;

$x_1$  – минимальное значение стандартного интервала;

$x_2$  – максимальное значение стандартного интервала.

Значения рангов лежат в интервале  $[0;1]$ , то есть  $x_1 = 0$ ,  $x_2 = 1$ .

Формулу (1) можно записать в виде:

$$x_{0,j+1} = (y - y_1)/(y_2 - y_1). \quad (3)$$

Этап 4. Вычисление комплексного индекса для каждой ценной бумаги с учётом величин рангов и степеней значимости анализируемых показателей.

Комплексный показатель  $A_N$  (численное значение рейтинга) для каждой ценной бумаги определяется по формуле двойной свёртки:

$$A_N = \sum_{i=1}^N \rho_i \sum_{j=1}^M \alpha_j x_{0,j,i}, \quad (4)$$

где  $i$  – индекс показателя;

$N$  – количество анализируемых показателей;

$\rho_i$  – степени значимости показателей, определённые на этапе 1;

$j$  – индекс значения рейтинга;

$M$  – количество возможных значений рейтинга;

$\alpha_j = 0,3j - 0,1$  – коэффициент значения рейтинга;

$x_0$  – значения рангов, определённые на этапе 3.

В результирующую таблицу сводятся значения  $A_N$  для каждой ценной бумаги, определяется уровень качества ценной бумаги (низкий, средний, высокий).

Этап 5. Выработка брокерской рекомендации в соответствии со значением комплексного индекса оценки ценной бумаги и уровнем её качества. При высоком уровне качества выгодна покупка ценной бумаги, при низком – выгодна её продажа, средний уровень качества предполагает удержание ценной бумаги.

**Принципы работы с системой.** Проект «Stock Exchange DSS» (биржевая система поддержки принятия решений) предоставляет пользователю следующие возможности:

- выбор показателей для оценивания ценных бумаг, то есть добавление показателей в

справочник, возможность их редактирования и удаления.

- добавление, редактирование и удаление информации о ценных бумагах;
- построение рейтинга ценных бумаг с возможностью сортировки данных по возрастанию рейтинга, по убыванию рейтинга, по названиям ценных бумаг;
- регистрация пользователей, возможность изменения имени и пароля;
- настройка пути к данным при работе в сетевом окружении.

В соответствии с этим перечнем функций разработано меню программы, содержащее следующие команды:

- «ПОКАЗАТЕЛИ» – вход в справочник показателей с возможностью чтения или редактирования показателей в зависимости от прав пользователей; показатели могут быть отсортированы по номеру или по названию;
- «ДОКУМЕНТЫ» – ввод информации о ценных бумагах в журнал ценных бумаг;
- «СПИСОК» – список ценных бумаг, где можно редактировать значения показателей, если пользователь имеет соответствующее право;
- «РЕЙТИНГИ» – рейтинги ценных бумаг и брокерские рекомендации с возможностью сортировок по разным критериям;
- «ОПЕРАЦИИ» – расчёт рейтингов и индексация таблиц;
- «НАСТРОЙКА» – регистрация или удаление пользователей, изменение их прав, паролей, имён; настройка пути к базе данных; эта команда меню доступна только администратору;
- «О ПРОГРАММЕ» – краткая информация о назначении программы;
- «ВЫХОД» – закрытие окна программы.

Некоторые показатели имеют тем лучше качество (высокий рейтинг), чем больше их значения по абсолютной величине. Другие же показатели имеют более высокий рейтинг, если их значения меньше, но, тем не менее, имеют низкий рейтинг, если их значения отрицательны. Это учтено при расчётах. Для каждого показателя задаётся также степень его значимости, причём в сумме степени значимости всех показателей должны давать 1.

Кроме этого, задаются 4 граничных значения показателей:

- $a_1$  – низкий уровень;
- $a_2$  – средний уровень 1;
- $a_3$  – средний уровень 2;
- $a_4$  – высокий уровень.

Программа считывает фактические значения показателей ( $k$ ) и сравнивает их с граничными значениями. Затем вычисляются ранги, то есть степени оценочной уверенности отнесения показателя к тому или иному уровню качества (табл. 1).

Таблица 1 – Правила ранжирования показателей

Соотношение $a_1, a_2$ и $k$		Уровень качества показателя	Ранг (степень оценочной уверенности)		
$a_1 > a_2$ с ростом значения показателя его качество повышается	$a_1 > a_2$ с ростом значения показателя его качество снижается		Н	СР	В
$k \leq a_1$	$k \geq a_1$ или $k < 0$	низкий	1	0	0
$a_1 < k < a_2$	$a_2 < k < a_1$	между низким и средним	$\frac{a_2 - k}{a_2 - a_1}$	$\frac{k - a_1}{a_2 - a_1}$	0
$a_2 \leq k \leq a_3$	$a_3 \leq k \leq a_2$	средний	0	1	0
$a_3 < k < a_4$	$a_4 < k < a_3$	между средним и высоким	0	$\frac{a_4 - k}{a_4 - a_3}$	$\frac{k - a_3}{a_4 - a_3}$
$k \geq a_4$	$k \leq a_4$	высокий	0	0	1

Факты и правила, приведённые в таблице, составляют базу моделей данной системы поддержки принятия решений.

Средневзвешенные ранги показателей по каждой  $i$ -й ценной бумаге вычисляются по следующей формуле:

$$\bar{x}_i = 0,2H + 0,5CP + 0,8B. \quad (5)$$

Комплексный показатель  $A\_N$ , количественно характеризующий рейтинг ценной бумаги, вычисляется по формуле (4). Ему ставятся в соответствие качественные характеристики рейтингов (уровни качества) ценных бумаг и торговые рекомендации, приведенные в табл. 2.

В таблицу с результатами расчётов данные записываются программой автоматически и не могут быть отредактированы пользователями.

Таблица 2 – Соответствие индекса оценки ценной бумаги, её уровня качества и торговой рекомендации

Значение $A\_N$	Уровень качества	Торговая рекомендация
0–0.35	Н	Рекомендуется продажа ценной бумаги
0.35–0.45	Н-СР	Возможна продажа ценной бумаги
0.45–0.55	СР	Рекомендуется удержание ценной бумаги
0.55–0.65	СР-В	Возможна покупка ценной бумаги
0.65–1	В	Рекомендуется покупка ценной бумаги

#### Пример построения рейтинга ценных бумаг.

Проанализируем с помощью системы «Stock Exchange DSS» инвестиционную привлекательность ценных бумаг по данным, приведенным в табл. 3.

Таблица 3 – Данные фондовой биржи о ценных бумагах

№ п/п	Название (код) ценной бумаги	Capital	P_S	P_E	P_B	ROA	ROE	ROIC	Liquidity
1	BAVL	53,5	1,35	10,55	1,3	9,26	12,32	10,71	0,03
2	MSICH	22,4	2,7	14,6	1,63	6,75	11,14	7,65	-1,39
3	DOEN	153,8	1,54	50,19	1,91	2,74	3,82	3,51	-0,38
4	UNAF	21,7	0,81	13,9	0,83	4,61	5,96	5,68	-0,21
5	DNON	21	0,75	116,94	0,72	0,44	0,62	0,53	-0,32
6	TATM	10,3	1,02	9,33	0,72	6,41	7,77	6,97	0,04
7	PAAZ	23,5	0,61	4,73	0,75	10,21	15,94	13,73	-0,05
8	SEEN	71,1	1,25	10,16	0,97	7,34	9,58	8,44	-0,31
9	ALMK	14,3	1,76	9,22	1,11	9,47	12,07	14,63	0,01
10	KVBZ	4,9	0,68	6,16	0,72	8,57	11,69	11,07	0,06
11	USCB	7,8	0,5	33,44	0,57	1,25	1,71	1,58	-0,25
12	GFARM	10,9	1,6	8,4	0,9	6,95	10,7	7,05	-0,89
13	UGRA	19,2	0,12	-5,12	0,12	-1,48	-2,38	-2,34	-0,1
14	RTGR	50,4	0,4	28,33	0,25	0,71	0,87	0,86	0,15
15	KREDW	62,7	0,22	6,33	0,18	1,92	2,82	2,78	0,13

Граничные значения показателей для определения уровней их качества приведены в табл. 4 [5].

Фондовые активы (акции украинских предприятий) оцениваются по следующим показателям:



- Capital – капитал компании-эмитента, ден. ед;
- P\_S (Price divided by Selling) – отношение рыночной цены акции к объёмам продаж предприятия-эмитента в расчёте на одну акцию, %;
- P\_E (Price divide by Earnings) – отношение рыночной цены акции к чистому доходу предприятия-эмитента в расчёте на одну акцию, %;
- P\_B (Price divided by Book value) – отношение рыночной цены акции к остаточной стоимости капитала предприятия-эмитента в расчёте на одну акцию, %;
- ROA (Return on assets) – годовая прибыль до налогообложения, отнесённая к активам по балансу, %;
- ROE (Return on earnings) – чистые годовые доходы эмитента в расчёте на одну акцию, %;
- ROIC (Return on investment capital) – отношение чистых годовых доходов к активам, %;
- Liquidity – уровень торговой активности (ликвидности), позволяющий заключать сделки без заметного воздействия на цены, %.

Таблица 4 – Границы интервалов для уровней качества и степени значимости показателей

Название показателя	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	Значимость показателя
Capital	50	100	300	500	0,15
P_S	1,2	1	0,8	0,4	0,1
P_E	11	10	5	2	0,2
P_B	1,2	1	0,8	0,2	0,1
ROA	-6	0	4	8	0,1
ROE	-5	0	4	8	0,1
ROIC	-6	0	8	10	0,1
Liquidity	-5	0	2	4	0,15

Введём в базу данных эти показатели и произведём их нечёткую классификацию.

Чтобы открыть базу данных, необходимо запустить на выполнение файл StockExchangeDSS.exe. В открывшемся окне для входа в программу следует ввести имя и пароль. Введите имя АДМИНИСТРАТОР (заглавными буквами), в строке для ввода пароля ничего не вводите, нажмите кнопку «Ok».

Появится окно программы, в верхней части которого находится меню. Выберите пункт меню «ПОКАЗАТЕЛИ / С сортировкой по коду». В открывшуюся таблицу введите данные, как это представлено на рис. 1. Добавить показатель можно, используя клавишу <F4>.

Чтобы удалить показатель, необходимо поставить на него курсор и нажать <F8>. Код показателя вводится в виде числа и должен быть уникальным. Он используется для связи между таблицами базы данных.

Код	Название	Низкий	Средний1	Средний2	Высокий	Значимость
001	Cap	50.000	100.000	300.000	500.00	0.15
002	P_S	1.200	1.000	0.800	0.400	0.1
003	P_E	11.000	10.000	5.000	2.000	0.2
004	P_B	1.200	1.000	0.800	0.200	0.1
005	ROA	-6.000	0.000	4.000	8.000	0.1
006	ROE	-5.000	0.000	4.000	8.000	0.1
007	ROIC	-6.000	0.000	8.000	10.000	0.1
008	Liqu	-5.000	0.000	2.000	4.000	0.15

Рис. 1 – Окно с нечёткой классификацией показателей.

При заполнении справочника показателей следует ввести в таблицу граничные значения показателей:

- Низкий ( $a_1$ ) – числовое значение показателя, ниже которого (если при уменьшении значения показателя его качество снижается) или выше которого (если при уменьшении значения показателя его качество повышается) уровень его качества с однозначной уверенностью можно считать низким.
- Средний 1 ( $a_2$ ), Средний 2 ( $a_3$ ) – границы интервала значений, внутри которого уровень качества показателя с однозначной уверенностью можно считать средним.
- Высокий ( $a_4$ ) – числовое значение показателя, выше которого (если при уменьшении значения показателя его качество снижается) или ниже которого (если при уменьшении значения показателя его качество повышается) уровень его качества с однозначной уверенностью можно считать высоким.

Если фактическое значение показателя попадает в интервал «Низкий–Средний1» или «Средний2–Высокий», то ранжирование показателя будет осуществляться по формулам (3) и (2).

Сумма степеней значимости всех показателей должна быть равна 1.

После заполнения информации о показателях необходимо ввести данные о ценных бумагах. Для этого следует выбрать меню «ДОКУМЕНТЫ / Ценная бумага». Программа сначала запрашивает её название (рис. 2). В данном примере и вариантах заданий в качестве названий ценных бумаг используется код из четырёх латинских символов.

После ввода названия (кода) ценной бумаги и нажатия кнопки «Ok» предлагается ввести значения показателей: капитала компании-эмитента, соотношения рыночной цены акции к объёмам продаж, отношения рыночной цены акции к чистому доходу, отношения годовой прибыли к активам, отношение рыночной цены акции к остаточной стоимости капитала предприятия-эмитента, а также уровень торговой активности (ликвидности) в таблицу. Если введенное наименование (код ценной бумаги) уже содержится в базе данных, программа предлагает удалить старые данные.

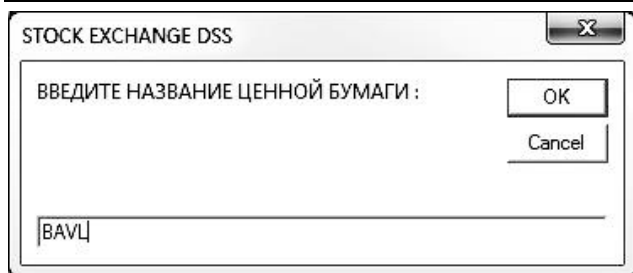


Рис. 2 – Ввод информации о ценной бумаге.

С помощью меню «СПИСОК / Ценные бумаги» можно просмотреть список имеющихся в базе ценных бумаг. Чтобы удалить строку из списка, необходимо выделить её (поставить на неё курсор) и нажать клавишу <F8>. Нажатие клавиши «Enter» позволяет открыть значения показателей для выделенной ценной бумаги.

Чтобы построить рейтинг ценных бумаг, выберите меню «ОПЕРАЦИИ / Расчёт результатов». Результат оценивания ценных бумаг отображён на рис. 3. Результаты могут быть представлены отсортированными по возрастанию рейтинга, по убыванию рейтинга или по названиям ценных бумаг (меню «РЕЙТИНГИ»).

Рейтинг ценных бумаг - Stock Exchange DSS

ПОКАЗАТЕЛИ ДОКУМЕНТЫ СПИСОК РЕЙТИНГИ ОПЕРАЦИИ НАСТРОЙКА О ПРОГРАММЕ ВЫХОД

№	Номер ценной бумаги	▲ Рейтинг	Уровень	Рекомендация
▶	ALMK	0.579	Ср	Рекомендуется удержание ценной бумаги
	BAVL	0.586	Ср	Рекомендуется удержание ценной бумаги
	SEEN	0.585	Ср	Рекомендуется удержание ценной бумаги
	DNON	0.524	Ср	Рекомендуется удержание ценной бумаги
	DOEN	0.546	Ср	Рекомендуется удержание ценной бумаги
	GFARM	0.567	Ср	Рекомендуется удержание ценной бумаги
	KREDW	0.609	Ср-В	Возможна покупка ценной бумаги
	KVBZ	0.604	Ср-В	Возможна покупка ценной бумаги
	MSICH	0.529	Ср	Рекомендуется удержание ценной бумаги
	PAAZ	0.611	Ср-В	Возможна покупка ценной бумаги
	RTGR	0.590	Ср	Рекомендуется удержание ценной бумаги
	TATM	0.590	Ср	Рекомендуется удержание ценной бумаги
	UGRA	0.301	Н-Ср	Возможна продажа ценной бумаги

Рис. 3 – Окно с результатами оценивания ценных бумаг.

На основании построенного рейтинга инвестор может принимать решения о целесообразности или нецелесообразности вложения финансовых средств в те или иные ценные бумаги. В перспективе подобная система может быть адаптирована для анализа любых видов альтернатив (например, предприятий как возможных объектов инвестирования, инвестиционных проектов и т.д.), которые характеризуются количественными параметрами.

**Заключение.** Предложенная методика портфельной оптимизации является альтернативой традиционному подходу и основана на модели скоринга ценных бумаг. В общем виде она состоит из следующей цепочки действий: сбор и/или вычисление частных показателей деятельности фондового рынка и эмитентов, влияющих на инвестиционную привлекательность ценных бумаг; вычисление обобщённых показателей, характеризующих доходность, риск и ликвидность ценных бумаг, а также определение значимости данных факторов для конкретного инвестора, принимающего решение;

вычисление с помощью их свёртки единого коэффициента инвестиционной привлекательности каждой ценной бумаги; построение рейтинга ценных бумаг и выделение в нём рейтинговых классов; отсеивание ценных бумаг, невыгодных для инвестирования; выбор наиболее привлекательных для инвестирования ценных бумаг; учёт ограничений внешней среды и фондового рынка и окончательное формирование номенклатуры портфеля; расчёт долей выбранных ценных бумаг; окончательное принятие решения о структуре портфеля; торговые операции; мониторинг портфеля [5,6].

Методика отличается учётом многочисленных факторов внешней среды, ценовых характеристик ценных бумаг и ликвидности, предпочтений инвестора; возможностью применения на слабо развитых фондовых рынках с низкой волатильностью; простотой обработки данных; независимым рассмотрением доходности и риска; наличием процедуры исключения из рассмотрения непривлекательных для инвестиций ценных бумаг. Методика позволяет в режиме реального времени оценивать возможные варианты структуры портфеля ценных бумаг с точки зрения инвестиционной привлекательности и получать оптимальные инвестиционные решения.

Рассмотренная система может быть адаптирована для анализа любых видов предприятий как возможных объектов инвестирования и инвестиционных проектов которые характеризуются количественными параметрами.

#### Список литературы

1. Рубцов Б. Б. Современные фондовые рынки / Б. Б. Рубцов. – М. : Альпина бизнес букс, 2007. – 926 с.
2. Боровкова В. А. Рынок ценных бумаг / В. А. Боровкова. – СПб. : Питер, 2005. – 320 с.
3. Железко Б. Скоринг ценных бумаг как способ оптимизации инвестиционных решений / Б. Железко, О. Синявская // Финансовый директор. – М., 2005. – № 5–6.
4. Carlsson C. A possibilistic approach to selecting portfolios with highest utility score / C. Carlsson, R. Fuller, P. Majlender // Fuzzy Sets and Systems. – 2002. – № 131. – P. 13–21.
5. Вилкова Т. Б. Финансовые рынки: Профессиональная деятельность на рынке ценных бумаг / Т. Б. Вилкова, Б. В. Сребник. – М. : ИНФРА-М, 2012. – 366 с.
6. Вилкова Т. Б. Брокерская деятельность на рынке ценных бумаг / Т. Б. Вилкова – М. : КНОРУС, 2010. – 168 с.
7. Фабоцци Ф. Управление инвестициями / Ф. Фабоцци ; пер. с англ. – М. : ИНФРА-М, 2000. – 932 с.

#### References (transliterated)

1. Rubtsov B. B. *Sovremennye fondovye rynki* [Modern stock markets]. Moscow, Alpina Publ., 2007. 926 p.
2. Borovkova V. A. *Rynok cennyh bumag* [Stocks and bonds market]. St Petersburg, Piter Publ., 2005. 320 p.
3. Zhelezko B., Sinjavskaja O. *Skoring cennyh bumag kak sposob optimizacii investicionnyh reshenij* [Scoring securities as a way to optimize investment decisions]. *Finansovyj direktor* [Finance director]. Moscow, 2005, no. 5–6.
4. Carlsson C. A Possibilistic approach to selecting portfolios with highest utility score. *Fuzzy Sets and Systems*. 2002, no. 131, pp. 13–21.
5. Vilkoval T. B., Srebnik B. V. *Finansovye rynki: Professional'naja dejatel'nost' na rynke cennyh bumag* [Financial markets: Professional activities in the securities market]. Moscow, INFRA-M Publ., 2012. 366 p.

6. Vilokova T. B. *Brokerskaja dejatel'nost' na rynke cennyh bumag* [Brokerage activity in the securities market]. Moscow, KNORUS Publ., 2010. 168 p.
7. Fabozzi F. *Upravlenie investicijami* [Investment management]. Moscow, INFRA-M Publ., 2000. 932 p.

Поступила (received) 15.09.2016

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Скорінг цінних паперів з використанням програмного продукту “STOCK EXCHANGE DSS” / В. А. Гужва, А. Г. Соколова, В. О. Косталан** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХПІ», 2016. – № 37 (1209). – С. 22–27. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2079-0023.

**Скоринг ценных бумаг с использованием программного продукта “STOCK EXCHANGE DSS” / В. А. Гужва, А. Г. Соколова, В. О. Косталан** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків: НТУ «ХПІ», 2016. – № 37 (1209). – С. 22–27. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2079-0023.

**Scoring of securities with use of software product “STOCK EXCHANGE DSS” / V. A. Guzhva, A. G. Sokolova, V. O. Kostalan** // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, management and information technology. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016. – No 37 (1209). – P. 22–27. – Bibliogr.: 7. – ISSN 2079-0023.

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Гужва Віктор Олександрович** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри «Програмна інженерія та інформаційні технології управління»; тел.: (098) 624-65-27; e-mail: g.victor.a39@gmail.com.

**Гужва Виктор Алексеевич** – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», профессор кафедры «Программная инженерия и информационные технологии управления»; тел.: (098) 624-65-27; e-mail: g.victor.a39@gmail.com.

**Guzhva Viktor Oleksiyovych** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Professor at the Department «Software engineering and management information technology»; тел.: (098) 624-65-27; e-mail: g.victor.a39@gmail.com.

**Соколова Анастасія Геннадіївна** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», студент; тел.: (093) 956-68-91; e-mail: Anastasia\_sokol@bk.ru.

**Соколова Анастасия Геннадьевна** – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», студент; тел.: (093) 956-68-91; e-mail: Anastasia\_sokol@bk.ru.

**Anastasia Sokolova Gennadiyivna** – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", student; тел.: (093) 956-68-91; e-mail: Anastasia\_sokol@bk.ru.

**Косталан Владислав Олегович** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», студент; тел.: (093) 742-76-46; e-mail: kostalan.vm@gmail.com.

**Косталан Владислав Олегович** – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», студент; тел.: (093) 742-76-46; e-mail: kostalan.vm@gmail.com.

**Kostalan Vladislav Olegovych** – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", student; тел.: (093) 742-76-46; e-mail: kostalan.vm@gmail.com.

УДК 519.681

Л. Г. РАСКИН, В. В. КАРПЕНКО

## РАСЧЕТ РАЦИОНАЛЬНОГО ЧИСЛА КАНАЛОВ СИСТЕМЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ МНОЖЕСТВА ТЕРРИТОРИАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЁННЫХ КЛИЕНТОВ

Розглянута система масового обслуговування з марковським входним потоком та немарковським процесом обслуговування. Для опису цієї системи запропонований асиметричний трьох параметричний розподіл. Введено критерій ефективності системи з використанням марковської апроксимації реального закону розподілу тривалості обслуговування. Ця апроксимація основана на розподілу Ерланга другого порядку. Запропонована формула для розрахунку середньої тривалості очікування початку обслуговування. За цією формулою можна визначити раціональне число каналів обслуговування у системі, що розглядається.

**Ключові слова:** система масового обслуговування, марковський входний потік, немарковський процес обслуговування, раціональна кількість каналів обслуговування, розподіл Ерланга другого порядку, асиметричний трьох параметричний розподіл, марковська модель обслуговування, розрахунок тривалості очікування початку обслуговування.

Рассмотрена система массового обслуживания с марковским входным потоком и немарковским процессом обслуживания. Для описания этой системы предложено асимметричное трехпараметрическое распределение. Введен критерий эффективности системы с использованием марковской аппроксимации реального закона распределения продолжительности обслуживания. Эта аппроксимация основана на распределении Эрланга второго порядка. Предложена формула для расчёта средней продолжительности ожидания начала обслуживания, позволяющая определить рациональное число каналов обслуживания в рассматриваемой системе обработки данных, полученных в результате социологического опроса населения о его отношении к тем или иным партиям.

**Ключевые слова:** система массового обслуживания, марковский входной поток, немарковский процесс обслуживания, рациональное число каналов обслуживания, распределение Эрланга второго порядка, асимметричное трехпараметрическое распределение, марковская модель обслуживания, расчёт продолжительности ожидания начала обслуживания.

We consider the queuing system with Markov and non-Markov input flow maintenance process. For a description of the system prompted the asymmetrical three-parameter distribution. The equations to calculate the average queue length and average waiting period before the start of the service. Introduced by the criterion of effectiveness of the system using Markov approximation of the real law of distribution service duration. This approximation is based on Erlang distribution of the second order. Markov model of service offered with the use of Erlang approximation. The formula for the calculation of the average duration of waiting the start of service, allowing defining a rational number of service channels in the system.

**Keywords:** queuing system, Markov input flow, non-Markov process of service, rational number of service channels, Erlang distribution of the second order, asymmetrical three-parameter distribution, Markov model of service, waiting for the calculation of the duration of the service.

**Введение.** Развитая теория массового обслуживания позволяет решить большое число разнообразных задач оценки и повышения эффективности систем обслуживания, если заданы основные характеристики самой системы (число каналов, дисциплина обслуживания, закон распределения продолжительности обслуживания) и среды, в которой она функционирует (характеристики структуры входящего потока заявок, закон распределения интервала между заявками) [1–3]. Среди этих задач особое место занимают задачи исследования систем обслуживания в распределенной среде формирования заявок. Относящаяся к этому типу система обслуживания территориально распределённых клиентов обладает принципиальной особенностью, состоящей в том, что случайные продолжительности обслуживания каждого из них имеют разные законы распределения, параметры которых зависят от точки расположения клиента относительно центра обслуживания. Вместе с этим совокупности таких случайных величин для всего множества клиентов (особенно в ситуации, когда порядок числа клиентов – тысячи) можно интерпретировать как генеральную совокупность, статистические характеристики которой определяются по множеству реальных наблюдений. При этом процесс анализа рассматриваемой системы укладывается в стандартную схему, типичную для систем массового обслуживания [1–3]. Таким образом, получаем  $n$ -канальную систему массового обслужи-

вания с заданным входящим потоком заявок. Заявка, поступившая на вход в момент, когда хотя бы один из каналов свободен, начинает обслуживаться немедленно. Если в этот момент все каналы заняты, то заявка становится в очередь, в которой ожидает освобождения какого-либо из каналов.

Эффективность такой системы при заданном числе каналов определяется законами распределения интервалов между заявками и продолжительности обслуживания. Для рассматриваемой конкретной системы эти законы определены путем аппроксимации гистограмм соответствующих случайных величин, полученных по результатам обработки реальных статистических данных. При этом выявлено, что закон распределения случайного интервала между заявками – пуассоновский с интенсивностью  $\lambda$ , зависящей от времени суток. С другой стороны, закон распределения случайной продолжительности обслуживания  $\tau$  аппроксимирован трехпараметрическим распределением [3,4]

$$\varphi(\tau) = A \exp \left\{ -\frac{(\tau - m)^2}{2\sigma^2} (1 + \theta \operatorname{sign}(\tau - m)) \right\}, \quad (1)$$

где  $m$  – оценка математического ожидания случайной величины  $\tau$ ,

$\sigma^2$  – оценка дисперсии величины  $\tau$ ,

$\theta$  – оценка асимметрии распределения,  $\theta < 0$ ,

$A$  – нормирующий коэффициент, отыскиваемый

из соотношения

$$\begin{aligned}
 & A \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left\{-\frac{(\tau-m)^2}{2\sigma^2}(1+\theta \operatorname{sign}(\tau-m))\right\} d\tau = \\
 & = A \left[ \int_{-\infty}^m \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left\{-\frac{(\tau-m)^2}{2\frac{\sigma^2}{1-\theta}}\right\} d\tau + \right. \\
 & \quad \left. + \int_m^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left\{-\frac{(\tau-m)^2}{2\frac{\sigma^2}{1+\theta}}\right\} d\tau \right] = \\
 & = A \left[ \frac{1}{\sqrt{1-\theta}} \int_{-\infty}^m \frac{\sqrt{1-\theta}}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left\{-\frac{(\tau-m)^2}{2\frac{\sigma^2}{1-\theta}}\right\} d\tau + \right. \\
 & \quad \left. + \frac{1}{\sqrt{1+\theta}} \int_m^{\infty} \frac{\sqrt{1+\theta}}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left\{-\frac{(\tau-m)^2}{2\frac{\sigma^2}{1+\theta}}\right\} d\tau \right] = \\
 & = A \left[ \frac{\sqrt{1-\theta}}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^0 \exp\left\{-\frac{n^2}{2}\right\} dn + \right. \\
 & \quad \left. + \frac{\sqrt{1+\theta}}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} \exp\left\{-\frac{n^2}{2}\right\} dn \right] = 1.
 \end{aligned}$$

Отсюда

$$A = \frac{2}{\sqrt{1-\theta} + \sqrt{1+\theta}}.$$

Отметим, что при  $\theta=0$ , как и следовало ожидать, получим

$$\varphi(\tau) = \frac{1}{\sqrt{\pi\sigma}} \exp\left\{-\frac{(\tau-m)^2}{2\sigma^2}\right\}.$$

Понятно, что для заданных законов распределения случайных величин, определяющих входящий поток заявок и продолжительность обслуживания, эффективность системы определяется числом каналов.

Цель исследования – разработка метода расчета рационального числа каналов системы обслуживания, в которой процесс, описывающий входящий поток заявок – марковский, а процесс обслуживания определяется соотношением (1), то есть он не марковский.

**Литературный обзор.** Традиционный математический аппарат теории массового обслуживания построен в предположении, что система обслуживания является марковской, то есть входящий поток заявок – пуассоновский, а

продолжительность обслуживания – случайная величина, распределенная экспоненциально [1–3]. В реальности эти предположения не выполняются. В частности, для рассматриваемой системы обслуживания с распределенным спросом не марковским является процесс обслуживания. Для исследования немарковских систем предложен метод вложенных цепей Маркова [5]. Применительно к исследуемой системе этот метод реализуется следующим образом. Вероятности переходов в системе вычисляются как вероятности того, что за время обслуживания ровно одной заявки в систему поступает некоторое случайное число требований с распределением, задаваемым входящим потоком. К сожалению, реализация этой идеи для анализа многоканальной системы обслуживания с ожиданием и произвольными законами распределения для процессов поступления заявок и их обслуживания приводит к конечным результатам только в отдельных частных случаях.

Для простейшей одноканальной системы с пуассоновским входящим потоком в [3] получено соотношение для расчета средней длины очереди

$$m_s = \frac{\alpha^2 + \lambda^2 D[T_{об}]}{\varepsilon(1-\alpha)},$$

где  $\lambda$  – интенсивность входящего потока,

$\alpha = \lambda T_{об}$  – среднее число заявок, поступающих в систему в течение среднего времени обслуживания  $T_{об}$  одной заявки,

$D[T_{об}]$  – дисперсия случайной продолжительности обслуживания.

Тот же результат с использованием аппарата производящих функций приведен в [6]. Распространить предложенную в [5,6] технологию на случай многоканальной системы с произвольными законами распределения для процессов поступления и обслуживания заявок не удается. С другой стороны, многочисленные попытки аппроксимировать реальное распределение продолжительности обслуживания экспоненциальным не дает удовлетворительных результатов [7–10]. Приведенные соображения инициируют продолжение исследований.

**Цель исследования. Постановка задачи.** Пусть на вход  $n$ -канальной системы поступает пуассоновский поток интенсивности  $\lambda$ , а случайная продолжительность обслуживания описывается распределением (1). Заявка, поступающая в систему, когда хотя бы один из каналов свободен, немедленно обслуживается. Если поступающая заявка приходит в момент, когда все каналы системы заняты, она становится в очередь и ожидает канала обслуживания. Общая продолжительность обслуживания заявки определяется двумя слагаемыми. Первое из них – ожидание начала обслуживания в очереди –  $T_{ож}^{(1)}$ . Второе слагаемое  $T_{ож}^{(2)}$  определяется продолжительностью собственно обслуживания заявки освободившимся каналом.

Понятно, что для заданных законов распределения интервала между заявками и продолжительности собственно обслуживания эффективность этой системы зависит только от числа каналов. Выбранному числу каналов  $n$  соответствует распределение случайного значения длины очереди и распределение продолжительности интервала от момента поступления заявки до момента окончания её обслуживания. Возможные критерии эффективности системы: 1) средняя продолжительность ожидания; 2) вероятность того, что случайная продолжительность ожидания превысит допустимое значение. Для расчёта численного значения критериев необходимо знать закон распределения длины очереди.

Таким образом, задача исследования – отыскание закона распределения случайного числа заявок, находящихся в очереди, для заданного набора параметров системы.

**Отыскание закона распределения случайной длины очереди.** Традиционные технологии определения закона распределения числа заявок в очереди наиболее просто реализуются в марковских системах обслуживания [10, 11]. Полученная по результатам статистической обработки реальных данных плотность распределения продолжительности обслуживания (1) не является экспоненциальной. Однако, эта плотность имеет отчетливо выраженную асимметрию, что позволяет аппроксимировать её распределением Эрланга надлежащего порядка [12, 13]. Смысл и целесообразность такой аппроксимации состоит в том, что

поток событий, соответствующий закону Эрланга любого порядка, есть просеянный пуассоновский поток. В рассматриваемой конкретной задаче реальное распределение продолжительности обслуживания хорошо описывается законом Эрланга второго порядка

$$\varphi(T_{об}) = \mu^2 \bar{T}_{об} e^{-\mu \bar{T}_{об}}, \quad (2)$$

где  $\bar{T}_{об}$  – средняя продолжительность обслуживания заявки.

Это обстоятельство позволяет для описания процесса обслуживания построить марковскую схему с пуассоновским потоком освобождения каналов, эквивалентную реальной схеме с эрланговским потоком обслуживания (рис. 1). Представленный на рис. 1 граф состояний и переходов системы отображает: во-первых, пуассоновский процесс перехода с интенсивностью  $\lambda$  в состояния, соответствующие последовательному увеличению числа заявок в системе, и, во-вторых, также пуассоновский процесс перехода с интенсивностью  $\mu = \frac{2}{T_{об}}$  в состояния, соответствующие последовательному уменьшению числа заявок в системе в ходе их обслуживания. Наличие промежуточных, буферных состояний обеспечивает корректное отображение эрланговского характера процесса обслуживания.

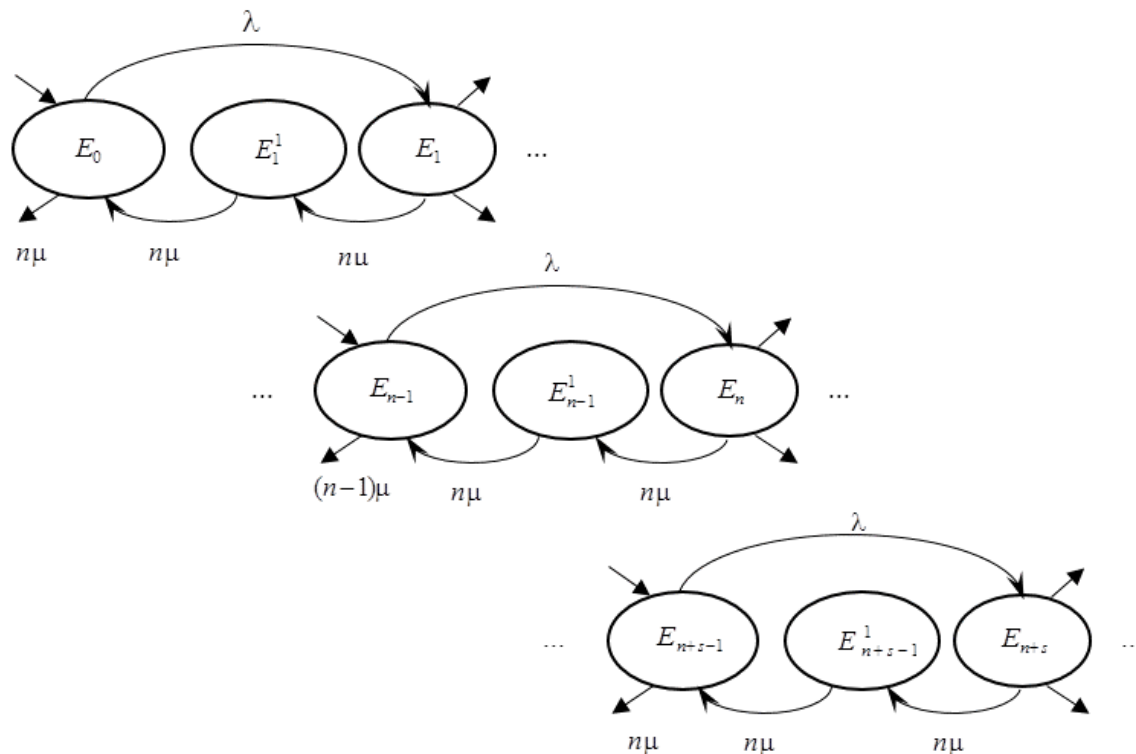


Рис. 1 – Граф состояний и переходов

Для состояний системы введем следующие обозначения:

$E_0$  – основное состояние, соответствующее ситуации, когда все каналы свободны;

...  
 $E_k$  – основное состояние, соответствующее ситуации, когда заняты  $k$  каналов;

...  
 $E_n$  – основное состояние, соответствующее ситуации, когда заняты  $n$  каналов;

...  
 $E_k^1$  – промежуточное буферное состояние, соответствующее переходу из состояния  $E_k$  в  $E_{k-1}$ ;

...  
 $E_{n+s}^1$  – промежуточное буферное состояние, соответствующее переходу из состояния  $E_{n+1}$  в  $E_{n+s-1}$ .

Составим систему уравнений Колмогорова относительно вероятностей состояния системы:

$$\mu P(E_1^1) - \lambda P(E_0) = 0,$$

$$\mu P(E_1^1) - \mu P(E_1^1) = 0,$$

$$\lambda P(E_0) - \mu P(E_1) + 2\mu P(E_2^1) - \lambda P(E_1) = 0,$$

...

$$\lambda P(E_{n-1}) - n\mu P(E_n) + n\mu P(E_{n+1}^1) - \lambda P(E_n) = 0,$$

...

$$\lambda P(E_{n+s-2}) - n\mu P(E_{n+s-1}) + n\mu P(E_{n+s-1}^1) - \lambda P(E_{n+s-1}) = 0,$$

$$n\mu P(E_{n+s}) - n\mu P(E_{n+s}^1) = 0,$$

$$\lambda P(E_{n+s-1}) - n\mu P(E_{n+s}) + n\mu P(E_{n+s+1}^1) - \lambda P(E_{n+s}) = 0.$$

Суммируя первое уравнение со вторым, третье с четвертым и так далее, получим

$$\mu P(E_1) - \lambda P(E_0) = 0,$$

...

$$\lambda P(E_{n-1}) - n\mu P(E_n) + n\mu P(E_{n+1}) - \lambda P(E_n) = 0,$$

...

$$\lambda P(E_{n+s-2}) - n\mu P(E_{n+s-1}) + n\mu P(E_{n+s}) - \lambda P(E_{n+s-1}) = 0,$$

$$\lambda P(E_{n+s-1}) - n\mu P(E_{n+s}) + n\mu P(E_{n+s+1}) - \lambda P(E_{n+s}) = 0,$$

...

$$z_k = \lambda P(E_{k-1}) - k\mu P(E_k), \quad k = 1, 2, \dots, n,$$

...

$$z_{n+s} = \lambda P(E_{n+s-1}) - n\mu P(E_{n+s}), \quad s = 1, 2, \dots$$

Тогда  $z_1 = 0, \quad z_1 - z_2 = 0, \quad \dots \quad z_n - z_{n+1} = 0, \quad \dots$   
 $z_{n+s-1} - z_{n+s} = 0, \quad \dots$

Отсюда

$$P(E_k) = \frac{\lambda}{k\mu} P(E_{k-1}), \quad k = 1, 2, \dots, n,$$

...

$$P(E_{n+s}) = \frac{\lambda}{n\mu} P(E_{n+s-1}), \quad s = 1, 2, \dots,$$

или

$$P(E_1) = \frac{\lambda}{\mu} P(E_0),$$

$$P(E_2) = \frac{\lambda}{2\mu} P_1 = \frac{\lambda^2}{2!\mu^2} P(E_0),$$

...

$$P(E_k) = \frac{\lambda^k}{k!\mu^k} P(E_0),$$

...

$$P(E_{n+1}) = \frac{\lambda}{n\mu} P(E_n) = \frac{\lambda^{n+1}}{n!\mu^n (n\mu)} P(E_0),$$

...

$$P(E_{n+s}) = \frac{\lambda^{n+s}}{n!\mu^n (n\mu)^s} P(E_0)$$

Заметим теперь, что из второго, четвертого и т. д. уравнений следует

$$P(E_1) = P(E_1^1),$$

$$P(E_2) = P(E_2^1),$$

...

$$P(E_{n+s}) = P(E_{n+s}^1), \quad s = 1, 2, \dots$$

Тогда, так как

$$\sum_{k=0}^n P(E_k) + \sum_{k=1}^{\infty} P(E_k^1) = 1,$$

то

$$P(E_0) + P(E_0) 2 \left[ \sum_{k=1}^n \frac{\lambda^k}{k!\mu^k} + \frac{\lambda^n}{n!\mu^n} \sum_{s=1}^{\infty} \left( \frac{\lambda}{n\mu} \right)^s \right] = 1.$$

Отсюда

$$P(E_0) = \frac{1}{1 + 2 \left[ \sum_{k=1}^n \frac{\lambda^k}{k!\mu^k} + \frac{\lambda^n}{n!\mu^n} \sum_{s=1}^{\infty} \left( \frac{\lambda}{n\mu} \right)^s \right]}.$$

Тогда

$$P_k = \frac{\lambda^k}{k! \mu^k} \left[ 1 + 2 \left[ \sum_{k=1}^n \frac{\lambda^k}{k! \mu^k} + \frac{\lambda^n}{n! \mu^n} \sum_{s=1}^{\infty} \left( \frac{\lambda}{n\mu} \right)^s \right] \right], k = 0, 1, \dots, n,$$

$$P_{n+s} = \frac{\lambda^{n+s}}{n! \mu^n (n\mu)^s} \left[ 1 + 2 \left[ \sum_{k=1}^n \frac{\lambda^k}{k! \mu^k} + \frac{\lambda^n}{n! \mu^n} \sum_{s=1}^{\infty} \left( \frac{\lambda}{n\mu} \right)^s \right] \right], s = 1, 2, \dots$$

Введем  $\frac{\lambda}{\mu} = \alpha$ . При этом

$$P_k = \frac{\alpha^k}{k!} \left[ 1 + 2 \left[ \sum_{k=1}^n \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^n}{n!} \sum_{s=1}^{\infty} \left( \frac{\alpha}{n} \right)^s \right] \right], k = 0, 1, \dots, n, \quad (3)$$

$$P_{n+s} = \frac{\alpha^{n+s}}{n! k^s} \left[ 1 + 2 \left[ \sum_{k=1}^n \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^n}{n!} \sum_{s=1}^{\infty} \left( \frac{\alpha}{n} \right)^s \right] \right], s = 1, 2, \dots \quad (4)$$

Суммируя бесконечно убывающую геометрическую прогрессию в знаменателе соотношений (3) и (4), получим

$$\sum_{s=1}^{\infty} \left( \frac{\alpha}{n} \right)^s = \frac{\frac{\alpha}{n}}{1 - \frac{\alpha}{n}} = \frac{\alpha}{n - \alpha}.$$

Тогда

$$P_k = \frac{\alpha^k}{k!} \left[ 1 + 2 \left[ \sum_{k=1}^n \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^{n+1}}{n!(n - \alpha)} \right] \right], k = 0, 1, \dots, n,$$

$$P_{n+s} = \frac{\alpha^n \left( \frac{\alpha}{n} \right)^s}{n!} \left[ 1 + 2 \left[ \sum_{k=1}^n \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^{n+1}}{n!(n - \alpha)} \right] \right], s = 1, 2, \dots \quad (5)$$

Найдем среднее число заявок в очереди

$$m_s = M[s] = \frac{\alpha^n \sum_{s=1}^{\infty} \frac{s \alpha^s}{n^s}}{1 + 2 \left[ \sum_{k=1}^n \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^{n+1}}{n!(n - \alpha)} \right]}. \quad (6)$$

Просуммируем арифметико-геометрическую прогрессию в числителе соотношений (5) и (6). Введем

$\varphi = \frac{\alpha^s}{n^s}$ , получим

$$\begin{aligned} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{s \alpha^s}{n^s} &= \sum_{s=1}^{\infty} s \varphi^s = \varphi \sum_{s=1}^{\infty} s \varphi^{s-1} = \varphi \sum_{s=1}^{\infty} \frac{d(\varphi^s)}{d\varphi} = \\ &= \varphi \frac{d}{d\varphi} \sum_{s=1}^{\infty} \varphi^s = \varphi \frac{d}{d\varphi} \left( \frac{\varphi}{1 - \varphi} \right) = \frac{\varphi}{(1 - \varphi)^2} = \\ &= \frac{\alpha}{n \left( 1 - \frac{\alpha}{n} \right)^2} = \frac{\alpha n}{(n - \alpha)^2}. \end{aligned}$$

Тогда

$$m_s = \frac{\alpha^{n+1}}{(n - \alpha)^2 (n - 1)!} \left[ 1 + 2 \left[ \sum_{k=1}^n \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^{n+1}}{n!(n - \alpha)} \right] \right]. \quad (7)$$

Теперь рассчитаем среднее время ожидания в очереди. Если заявка поступает в момент, когда хотя бы один канал обслуживания свободен, то время ожидания равно нулю. Если в момент поступления заявки все каналы заняты, но очереди нет, то время ожидания в среднем равно  $\frac{1}{n\mu}$ , то есть среднему времени до освобождения одного из каналов. Если в очереди находятся  $(s - 1)$  заявка, то средняя продолжительность ожидания до освобождения хотя бы одного канала равна  $\frac{s}{n\mu}$ . Поэтому средняя продолжительность ожидания, с учетом случайного числа заявок очереди, определяется соотношением

$$\bar{T}_{ож} = \sum_{s=1}^{\infty} \frac{s}{n\mu} P_{n+s-1}.$$

В соответствии с (5)

$$P_{n+s} = \frac{\alpha}{n} P_{n+s-1},$$

откуда

$$P_{n+s-1} = \frac{n}{\alpha} P_{n+s}.$$

При этом

$$\bar{T}_{ож} = \sum_{s=1}^{\infty} \frac{s}{n\mu} \frac{n}{\alpha} P_{n+s} = \sum_{s=1}^{\infty} \frac{s}{\mu \alpha} P_{n+s} = \frac{1}{\lambda} \sum_{s=1}^{\infty} s P_{n+s} = \frac{m_s}{\lambda}.$$

Тогда, с учетом (7), определим среднюю продолжительность ожидания начала обслуживания

$$T_{ож}^{(1)} = \frac{\alpha^{n+1}}{(n - \alpha)^2 (n - 1)!} \left[ 1 + 2 \left[ \sum_{k=0}^n \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^{n+1}}{n!(n - \alpha)} \right] \right]. \quad (8)$$



Отсюда, задав требуемое значение  $\hat{T}_{ож}^{(1)}$  и решая возникающее при этом уравнение в целых числах, можно определить необходимое число каналов обслуживания.

Более сложным является выбор необходимого числа каналов по второму критерию. Так как среднее время ожидания для случая, когда в очереди находятся  $s$  заявок, равно  $\frac{s}{n\mu}$ , то критическое значение  $s_{кр}$  длины очереди, при котором среднее время ожидания превысит критическое значение  $T_{кр}$ , равно  $n\mu T_{кр}$ . При этом вероятность того, что длина очереди не превысит критическое значение определяется соотношением

$$\begin{aligned}
 P^* &= P(s < s_{кр}) = \sum_{s=1}^{s_{кр}-1} P_{n+s}, \\
 P^* &= P(T < T_{кр}) = P(s < s_{кр}) = \sum_{s=1}^{s_{кр}-1} P_{n+s} = \\
 &= \frac{\alpha^n}{n!} P_0 \sum_{s=1}^{s_{кр}-1} \left(\frac{\alpha}{n}\right)^s = \frac{\alpha^n}{n!} P_0 \left[ \left(\frac{\alpha}{n}\right)^{s_{кр}} - \frac{\alpha}{n} \right] = \\
 &= \frac{\alpha^n}{n!} \left[ \left(\frac{\alpha}{n}\right)^{T_{кр}n\mu} - \left(\frac{\alpha}{n}\right) \right] \\
 &= \frac{\alpha^n}{n!} \left[ \left(\frac{\alpha}{n}\right)^{T_{кр}n\mu} - \left(\frac{\alpha}{n}\right) \right] \cdot \quad (9) \\
 &\quad \left[ \left(1 - \frac{\alpha}{n}\right) + 2 \left[ \sum_{k=1}^n \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^n}{n!} \sum_{s=1}^{\infty} \left(\frac{\alpha}{n}\right)^s \right] \right]
 \end{aligned}$$

Решение уравнения (9) относительно  $n$  затруднительно. Гораздо легче, задав некоторое начальное значение числа каналов  $n_0$ , по формуле (9) вычислить соответствующее значение вероятности  $P^*$ . Затем, увеличивая  $n$ , продолжить вычисление по этой формуле до тех пор, пока получаемая при этом вероятность не превысит заданную.

**Результаты исследований.** Таким образом рассмотрена задача определения рационального числа каналов в системе обслуживания территориально распределенных клиентов. Особенность системы состоит в немарковском характере закона распределения случайной продолжительности обслуживания. Получены соотношения для расчёта средней длины очереди и средней продолжительности ожидания до начала обслуживания. Введен критерий эффективности системы – вероятность того, что продолжительность ожидания начала обслуживания не превысит допустимого значения. Для аналитического описания критерия предложен метод марковской аппроксимации реального закона распределения продолжительности обслуживания.

#### Выводы.

1. Рассмотрена модель многоканальной системы массового обслуживания без потерь с

простейшим потоком заявок и немарковким обслуживанием.

2. Для описания процесса обслуживания предложено асимметричное трехпараметрическое распределение.
3. Построена марковская аппроксимация реального процесса обслуживания, основанная на распределении Эрланга второго порядка.
4. С использованием Эрланговской аппроксимации предложена марковская модель обслуживания.
5. Получена формула для расчёта средней продолжительности ожидания начала обслуживания, позволяющая определить рациональное число каналов обслуживания.

#### Список литературы

1. Гнеденко Б. В. Введение в теорию массового обслуживания / Б. В. Гнеденко, К. К. Коваленко. – М.: Наука, 1966. – 432 с.
2. Вентцель Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель – М.: Высш. шк., 1999. – 576 с.
3. Раскин Л. Г. Анализ сложных систем и элементы теории управления / Л. Г. Раскин. – М.: Сов. Радио, 1976. – 344 с.
4. Раскин Л. Г. Прогнозирование технического состояния систем управления / Ю. Т. Костенко, Л. Г. Раскин. – Х.: Основа, 1996. – 303 с.
5. Кендалл М. Теория распределений / М. Кендалл, А. Стюарт. – М.: Наука, 1966. – 303 с.
6. Хинчин А. Я. Работы по математической теории массового обслуживания / А. Я. Хинчин. – М.: Физматгиз, 1968. – 360 с.
7. Пигнастый О. М. Статистическая теория производственных систем / О. М. Пигнастый. – Харьков.: ХНУ им. Каразина, 2007. – 388 с.
8. Пигнастый О. М. Стохастическое описание экономико-производственных систем с массовым выпуском продукции / В. П. Демуцкий, В. С. Пигнастая, О. М. Пигнастый // Доповіді Нац. Академії Наук. – 2005. – № 7. – С. 66–71.
9. Демуцкий В. П. Теория предприятия: Устойчивость функционирования массового производства и продвижения продукции на рынок / В. П. Демуцкий, В. С. Пигнастая, О. М. Пигнастый. – Харьков.: ХНУ им. Каразина, 2003. – 272 с.
10. Риордан Дж. Вероятностные системы обслуживания / Дж. Риордан. – М.: Связь, 1966. – 296 с.
11. Кофман А. Массовое обслуживание / А. Кофман, Р. Крюон. – М.: Мир, 1965. – 362 с.
12. Серая О. В. Многомерные модели логистики в условиях неопределенности / О. В. Серая. – Х.: ФОРМ Стененко, 2010. – 512 с.
13. Серая О. В. Модели и информационные технологии оценки и прогнозирования состояния многомерных динамических объектов в условиях нечетких исходных данных: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06: утв. 17.01.02 / О. В. Серая. – Х.: 2001. – 252 с.

#### References (transliterated)

1. Hnedenko B. V., Kovalenko K. K. *Vvedeniye v teoriyu massovoho obsluzhivaniya* [Introduction to queuing theory]. Moscow, Nauka Publ., 1966, 432 p.
2. Venttsel E. S. *Teoriya veroyatnostey* [Probability theory]. Moscow, Vissh. shk. Publ., 1999, 576 p.
3. Ruskin L. G. *Analiz slozhnykh sistem i jelementy teorii upravleniya* [The analysis of complex systems and controls theory]. Moscow, Sov. Radyo Publ., 1976, 344 p.
4. Kostenko Yu. T., Ruskin L. G. *Prognozirovaniye tehnicheskogo sostoyaniya sistem upravleniya* [Technical state management systems forecasting]. Kharkiv, Osnova Publ., 1996, 303 p.
5. Kendall M., Styuart A. *Teoriya raspredeleniy* [Distribution theory]. Moscow, Nauka Publ., 1966, 303 p.
6. Khynchyn A. Y. *Raboti po matematicheskoy teorii massovoho obsluzhivaniya* [Mathematical queuing theory works]. Moscow, Fytmathyz Publ., 1968, 360 p.

7. Pyhnastiy O. M. *Statysticheskaya teoriya proizvodstvenikh system* [Statistical theory of production systems]. Kharkov, KhNU im. Karazyna Publ., 2007, 388 p.
8. Demutskyy V. P., Pyhnastaya V. S., Pyhnastiy O. M. *Stokhasticheskoe opysanie ekonomyko–proyvodstvennikh system s massovim vipuskom produktsyy* [Stochastic description of the economic and production systems to mass production]. *Dopovidi Nats. Akademiyi Nauk Publ.*, 2005, no. 7, pp. 66–71.
9. Demutskyy V. P., Pyhnastaya V. S., Pyhnastiy O. M. *Teoriya predpriyatyya: Ustoychivost funktsyonyrovaniya massovoho proyvodstva y prodvyzheniyya produktsyy na rynok* [Enterprise theory: Stability of functioning of mass production and promotion of products on the market]. Kharkov, KhNU im. Karazyna Publ., 2003, 272 p.
10. Ryordan Dzh. *Veroyatnostnie sistemi obsluzhyvaniya* [Probabilistic service system]. Moscow, Svyaz Publ., 1966, 296 p.
11. Kofman A., Kryuon R. *Massovoe obsluzhyvaniye* [Queuing theory]. Moscow, Myr Publ., 1965, 362 p.
12. Seraya O. V. *Mnohomernie modeli lohystryky v uslovyiyakh neopredelennosti* [Multivariate logistic models under uncertainty]. Kharkiv, FOP Stetsenko Publ., 2010, 512 p.
13. Seraya O. V. *Modeli i informatsionnyie tehnologii otsenki i prognozirovaniya sostoyaniya mnogomernykh dinamicheskikh ob'ektov v usloviyakh nechetkikh ishodnykh dannykh. dis. ... kand. tekhn. nauk 05.13.06* [Models and information technology assessment and forecasting of multivariate dynamic objects in a fuzzy initial data. Candidate eng. sci. diss. (Ph. D.)]. Kharkiv, 2001, 252 p.

Поступила (received) 09.11.2016

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Розрахунок раціональної кількості каналів системи масового обслуговування множини територіально розподілених клієнтів / Л. Г. Раскин, В. В. Карпенко** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – X. : НТУ «ХПІ», 2016. – № 37 (1209). – С. 28–34. – Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2079–0023.

**Расчет рационального числа каналов системы обслуживания множества территориально распределённых клиентов / Л. Г. Раскин, В. В. Карпенко** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 37 (1209). – С. 28–34. – Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2079–0023.

**Calculation of the set of rational numbers of geographically distributed service system channels / L. G. Raskin, V. V. Karpenko** // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2016. – No. 37 (1209). – P. 28–34. – Bibliogr.: 13. – ISSN 2079–0023.

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Раскин Лев Григорович** – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувачий кафедрою Комп'ютерного моніторингу та логістики; тел.: (057) 707–66–28; e-mail: chime@bk.ru.

**Раскин Лев Григорьевич** – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», заведующий кафедрой Компьютерного мониторинга и логистики; тел.: (057) 707–66–28; e-mail: chime@bk.ru.

**Ruskin Lev Grigorevich** – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", head of Department of Computer Monitoring and logistics; тел.: (057) 707–66–28; e-mail: chime@bk.ru.

**Карпенко Вячеслав Васильович** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший викладач кафедри Комп'ютерного моніторингу та логістики; тел.: (093) 643–19–39; e-mail: Karpenko@kml.kh.ua.

**Карпенко Вячеслав Васильевич** – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», старший преподаватель кафедры Компьютерного мониторинга и логистики; тел.: (093) 643–19–39; e-mail: Karpenko@kml.kh.ua.

**Карпенко Vyacheslav Vasilevich** – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", senior lecturer Department of Computer Monitoring and logistics; тел.: (093) 643–19–39; e-mail: Karpenko@kml.kh.ua.

УДК 681.518:004.93.1'

Г. А. СТАДНИК

## СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ, ЩО ФУНКЦІОНУЄ В РЕЖИМІ АВТОМАТИЧНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ

Розглядається інформаційно-екстремальний алгоритм функціонування системи підтримки прийняття рішень в режимі автоматичної класифікації. При цьому запропонований алгоритм дозволяє на етапі самонавчання системи автоматично формувати вхідну навчальну матрицю, а на етапі екзамну, тобто безпосередньо в робочому режимі, виділяти новий клас розпізнавання і здійснювати донавчання системи. Реалізацію запропонованого алгоритму здійснено на прикладі діагностування опортуністичних інфекцій у ВІЛ-інфікованих осіб.

**Ключові слова:** система підтримки прийняття рішень, автоматична класифікація, факторний кластер-аналіз, оптимізація, інформаційний критерій, опортуністична інфекція.

Рассматривается информационно-экстремальный алгоритм функционирования системы поддержки принятия решений в режиме автоматической классификации. При этом предложенный алгоритм позволяет на этапе самообучения системы автоматически формировать входную обучающую матрицу, а на этапе экзамена, то есть непосредственно в рабочем режиме, выделять новый класс распознавания и осуществлять дообучение системы. Реализация предложенного алгоритма выполнена на примере диагностирования опортуністических инфекций у ВИЧ-инфицированных лиц.

**Ключевые слова:** система поддержки принятия решений, автоматическая классификация, факторный кластер-анализ, оптимізація, информационный критерий, опортуністическая инфекция.

The process of input data automation classification is considered in the framework of information-extreme intelligence technology, which is based on maximizing the information capacity of the recognition system in the process of its machine learning. The proposed algorithm allows forming the input matrix in the mode of system self-learning and allocation of a new pattern in the mode of system examination. This system operation algorithm implements the modified k-means method for binary Hamming space in the mode of cluster analysis and forms the set of unrecognized patterns in the mode of factor cluster analysis, which is based on statistical criteria for the stability and homogeneity. If representativeness condition of formed set is fulfilled in the exam mode, it is added to the input matrix. The resulting retraining system is implemented for advanced classes' recognition alphabet. Optimization of the decision support system learning parameters is carried out by searching global maximum of the Kullback information criterion, which is calculated in the working (acceptable) domain of its function. Implementation of the proposed algorithm is executed by the example of opportunistic infections diagnosis in HIV-infected people.

**Keywords:** decision support system, cluster analysis, factor cluster analysis, optimization, information criterion, opportunistic infection.

**Вступ.** Основним шляхом підвищення функціональної ефективності системи підтримки прийняття рішень (СППР) є надання їй властивості адаптивності на основі машинного самонавчання та розпізнавання образів. Розв'язання цієї задачі на практиці здійснюється шляхом розробки алгоритмів автоматичної класифікації [1–3]. При цьому основні науково-методологічні труднощі, що виникають під час інформаційного синтезу здатних самонавчатися СППР, обумовлені довільними початковими умовами формування образів та їх перетином у просторі ознак розпізнавання. Один із перспективних напрямів інформаційного аналізу і синтезу СППР, що функціонує в режимі автоматичної класифікації, полягає в застосуванні ідей і методів інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології (ІЕІ-технологія) аналізу даних, що ґрунтується на максимізації інформаційної спроможності системи в процесі її машинного самонавчання [4–6]. При цьому в рамках ІЕІ-технології автоматична класифікація дозволяє розв'язувати дві основні задачі: автоматично формувати вхідний математичний опис здатної самонавчатися СППР (кластер-аналіз вхідних даних) і в режимі екзамну виділяти нові класи розпізнавання, що характеризують можливі функціональні стани об'єкту дослідження (факторний кластер-аналіз).

У статті розглядається інформаційно-екстремальний алгоритм самонавчання СППР, що функціонує в режимах кластер-аналізу і факторного кластер-аналізу (ФКА) даних, отриманих при діагностуванні опортуністичних інфекцій у ВІЛ-інфі-

кованих осіб.

**Постановка задачі.** Розглянемо формалізовану постановку задачі інформаційного синтезу здатної самонавчатися СППР для діагностування опортуністичних інфекцій у ВІЛ-інфікованих осіб, яка функціонує в режимі автоматичної класифікації.

Нехай відома некласифікована багатовимірна навчальна матриця  $\|y_i^{(j)}\|$ ,  $i = \overline{1, N}$ ,  $j = \overline{1, n}$ , де  $N$ ,  $n$  – кількість ознак розпізнавання і реалізацій образів відповідно. При цьому

$$N = N_1 + N_2,$$

де  $N_1$  – кількість дійсних ознак розпізнавання, одержаних за результатами клініко-лабораторних та імуногенетичних досліджень;

$N_2$  – кількість бінарних ознак розпізнавання, отриманих за результатами анамнезу.

Дано вектор параметрів навчання СППР

$$g = \langle x_m, d_m, \delta \rangle, \quad (1)$$

де  $x_m$  – еталонний вектор-реалізація класу  $X_m^o$ ,  $m = \overline{1, M}$ ;

$d_m$  – радіус гіперсферичного контейнера класу  $X_m^o$ , що відновлюється в радіальному базисі простору ознак розпізнавання;

$\delta$  – параметр поля контрольних допусків на ознаки розпізнавання.

При цьому задано такі обмеження:  $x_m$  – вектор, вершина якого визначає геометричний центр контейнера класу  $X_m^o$ ;  $d_m \in [0; d(x_m \oplus x_c) - 1]$ , де  $d(x_m \oplus x_c)$  – міжцентрова кодова відстань для класу  $X_m^o$  і найближчого до нього класу  $X_c$  і параметр поля контрольних допусків  $\delta \in [0; \delta_H/2]$ , де  $\delta_H$  – нормоване поле допусків для відносної шкали вимірювання ознак, яке є областю значень для параметра  $\delta$  поля контрольних допусків на ознаки розпізнавання.

Необхідно в процесі самонавчання СППР трансформувати шляхом допустимих перетворень вхідну неклаسیфіковану навчальну матрицю у нечітку класифіковану і побудувати чітке розбиття класів розпізнавання  $\mathfrak{R}^{|M|}$ , де  $M$  – задана кількість класів розпізнавання, які характеризують функціональні стани досліджуваного процесу. Для цього визначити оптимальні значення координат вектору параметрів навчання (1), які забезпечують максимальне значення усередненого за алфавітом класів розпізнавання інформаційного критерію функціональної ефективності (КФЕ) машинного самонавчання системи

$$\bar{E}^* = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \max_{\{k\}} E_m^{(k)}, \quad (2)$$

де  $E_m^{(k)}$  – інформаційний КФЕ навчання СППР, значення якого обчислюються на  $k$ -му кроці самонавчання;

$\{k\}$  – впорядкована множина кроків навчання.

В режимі екзамену СППР повинна розв'язувати такі задачі:

1) прийняття рішень про належність реалізації образу, що розпізнається, до одного із класів сформованого на етапі самонавчання алфавіту  $\{X_m^o\}$ ;

2) формування з нерозпізнаних реалізацій образів додаткової навчальної матриці, яка за умови її репрезентативності приєднується до вхідної навчальної матриці і здійснюється перенавчання СППР для розширеного алфавіту класів розпізнавання  $\{X_m^o\}^{\Lambda}$ , де  $\Lambda$  – символ відкритості множини.

**Функціонування СППР у режимі інформаційно-екстремального кластер-аналізу вхідних даних.** Використання кластер-аналізу в методах ІЕІ-технології дозволяє автоматизувати процес формування вхідної нечіткої класифікованої навчальної матриці  $\|y_{m,i}^{(j)}\|$ , допустимі перетворення якої в субпарацептуальному дискретному просторі ознак дозволяють побудувати в процесі машинного навчання чітке його розбиття на класи розпізнавання. Таким чином, процес навчання в рамках ІЕІ-технології можна розглядати як процедуру дефазифікації нечітких даних без застосування функції належності Заде, яка по суті є аналогом функції щільності ймовірностей.

Реалізація інформаційно-екстремального кластер-аналізу вхідних даних будемо здійснювати шляхом включення модифікованого для бінарного простору Хеммінга методу  $k$ -середніх у контур інформаційно-екстремального алгоритму навчання СППР. При цьому згідно з концепцією ІЕІ-технології початковий розподіл векторів-реалізацій в евклідовому просторі ознак розпізнавання в процесі кластер-аналізу трансформується в бінарний простір Хеммінга шляхом пошуку оптимальної системи контрольних допусків на ознаки розпізнавання, що забезпечує максимальне значення інформаційного критерію (2).

Як початкові еталонні вектори кластерів, контейнери яких відновлюються в радіальному просторі ознак розпізнавання, обираються реалізації неклаسیфікованої бінарної навчальної матриці  $\{x_i^{(j)} | i = 1, N, j = 1, n\}$ , найбільш віддалені одна від одної, тобто найближчі до вершин відповідно нульового та одиничного векторів, а початкові значення інших  $M - 2$  центрів кластерів визначаються шляхом рівномірного поділу їх міжцентрової відстані на  $M - 1$  відрізків. При цьому запропонований підхід дозволяє усунути такий недолік методу  $k$ -середніх, як чутливість до вибору початкових значень центрів кластерів, та забезпечує виконання принципу максимальної різноманітності між реалізаціями різних класів розпізнавання.

Необхідною умовою інформаційно-екстремального синтезу СППР, що функціонує в режимі кластер-аналізу вхідних даних, є виконання обмежень [4]

$$[\forall X_m^o \in \tilde{\mathfrak{R}}^{|M|}] \{X_m^o \neq \emptyset\}, \quad (3)$$

$$[\forall X_m^o \in \tilde{\mathfrak{R}}^{|M|}] [\forall X_c^o \in \tilde{\mathfrak{R}}^{|M|}] \{X_m^o \neq X_c^o \rightarrow X_m^o \cap X_c^o \neq \emptyset | m, c = 1, M\}, \quad (4)$$

$$[\exists X_m^o \in \tilde{\mathfrak{R}}^{|M|}] [\exists X_c^o \in \tilde{\mathfrak{R}}^{|M|}] \{X_m^o \neq X_c^o \rightarrow \text{Ker}X_m^o \cap \text{Ker}X_c^o = \emptyset\}, \quad (5)$$

де  $\emptyset$  – символ порожньої множини;

$\text{Ker}X_m^o, \text{Ker}X_c^o$  – ядра класу  $X_m^o$  і найближчого до нього класу  $X_c^o$  відповідно, які визначаються в бінарному просторі вершинами їх двійкових еталонних векторів;

$$[\forall X_m^o \in \tilde{\mathfrak{R}}^{|M|}] [\forall X_c^o \in \tilde{\mathfrak{R}}^{|M|}] \{X_m^o \neq X_c^o \rightarrow (d_m^* < d(\text{Ker}X_m^o \oplus \text{Ker}X_c^o)) \wedge (d_c^* < d(\text{Ker}X_m^o \oplus \text{Ker}X_c^o))\}, \quad (6)$$

де  $d_m^*, d_c^*$  – оптимальні радіуси гіперсферичних контейнерів класів  $X_m^o$  і  $X_c^o$  відповідно;

$d(\text{Ker}X_m^o \oplus \text{Ker}X_c^o)$  – міжцентрова кодова відстань кластерів  $X_m^o$  і  $X_c^o$ ;

$$\bigcup_{X_m^o \in \mathfrak{R}^{Ml}} X_m^o \subseteq \Omega_B, \quad (7)$$

де  $\Omega_B$  – бінарний простір ознак розпізнавання.

Категорійну модель СППР, що функціонує в режимі інформаційно-екстремального кластер-аналізу вхідних даних, показано на рис. 1.

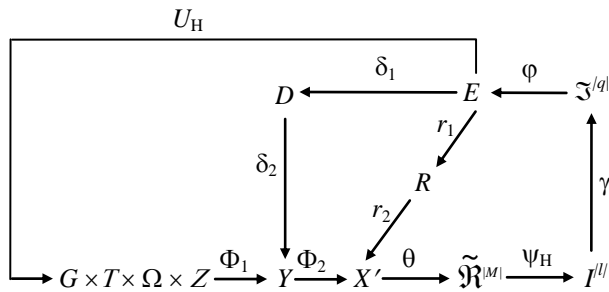


Рис. 1 – Категорійна модель інформаційно-екстремального кластер-аналізу вхідних даних

Категорійна модель (рис. 1), яка відображає узагальнену структуру алгоритму самонавчання СППР, містить оператор формування вхідного математичного опису  $\Phi_1: G \times T \times \Omega \times Z \rightarrow Y$ , де  $G$  – простір вхідних сигналів (факторів), які діють на СППР;  $T$  – множина моментів часу зняття інформації;  $Z$  – простір можливих функціональних станів СППР;  $\Omega$  – простір ознак розпізнавання;  $Y$  – вибіркова множина на вході СППР. Оператор  $\Phi_2: Y \rightarrow X'$  формує неклаसифіковану бінарну навчальну матрицю. Оператор  $\theta$  здійснює відображення навчальної матриці  $X'$  на розбиття  $\mathfrak{R}^{Ml}$  в двійковому просторі Хеммінга шляхом агрегації двійкових векторів-реалізацій, що знаходяться в межах поточного радіусу гіперсферичного контейнера. Оператор класифікації  $\Psi_N: \mathfrak{R} \rightarrow I^l$  перевіряє основну статистичну гіпотезу про належність реалізації  $\{x_i^{(j)} | i = \overline{1, N}, j = \overline{1, n}\}$  нечіткому кластеру  $X_m^o$ , де  $I^l$  – множина  $l$  статистичних гіпотез. Оператор  $\gamma: I^l \rightarrow \mathfrak{Z}^{ql}$  шляхом оцінки результатів статистичної перевірки гіпотез формує множину точнісних характеристик  $\mathfrak{Z}^{ql}$ , де  $q = l^2$  – кількість точнісних характеристик. Оператор  $\phi: \mathfrak{Z}^{ql} \rightarrow E$  обчислює множину  $E$  значень інформаційного КФЕ, який є функціоналом точнісних характеристик. Оператор  $r_1: E \rightarrow R$  оптимізує геометричні параметри нечіткого розбиття  $\mathfrak{R}^{Ml}$  шляхом пошуку максимуму КФЕ навчання СППР розпізнавати реалізації кластеру  $X_m^o$  на множині  $R$  допустимих радіусів контейнера кластеру  $X_m^o$ . Оператор  $r_2: R \rightarrow X'$  регламентує центрування та збільшення радіусу гіперсферичного контейнера кластеру  $X_m^o$ . Центрування контейнера кластеру в бінарному просторі здійснюється за принципом  $k$ -середніх і триває до моменту порушення умови (6).

Оптимізація системи контрольних допусків  $D$  на ознаки розпізнавання здійснюється за багатоцикличною ітераційною процедурою, в якій послідовно реалізуються оператори  $\Phi_2, \theta, \Psi, \eta, \gamma, \phi$  і оператори  $\delta_1, \delta_2$  цілеспрямованої зміни множини  $D$ . Оператор  $U_H: E \rightarrow G \times T \times \Omega \times Z$  регламентує процес навчання СППР.

Алгоритм інформаційно-екстремального кластер-аналізу даних у рамках ІЕІ-технології подамо як двоциклическу ітераційну процедуру пошуку глобального максимуму інформаційного КФЕ (2) в робочій (допустимій) області визначення його функції

$$\delta^* = \arg \max_{G_\delta} \{ \max_{G_E \cap \{k\}} \bar{E}^{(k)} \}, \quad (8)$$

де  $\bar{E}^{(k)}$  – усереднене за алфавітом класів розпізнавання значення інформаційного критерію, обчислене на  $k$ -му кроці кластеризації;

$G_\delta$  – допустима область значень параметра  $\delta$  поля контрольних допусків;

$G_E$  – робоча область визначення функції критерію  $\bar{E}$ ;

$G_d$  – допустима область значень радіуса гіперсферичного контейнера класу розпізнавання.

Вхідні дані для алгоритму інформаційно-екстремального кластер-аналізу даних: кількість класів розбиття  $M$ , параметр  $\delta$  поля контрольних допусків на ознаки розпізнавання; масив реалізацій образу  $\{y_i^{(j)} | i = \overline{1, N}, j = \overline{1, n}\}$ .

Розглянемо основні кроки реалізації алгоритму за умови розбиття простору ознак розпізнавання на  $M$  кластерів. При цьому формування класифікованої навчальної матриці  $\{y_{m,i}^{(j)} | m = \overline{1, M}, i = \overline{1, N}, j = \overline{1, n}\}$  будемо здійснювати за умови, що кожним відновленим кластером досягнений заданий репрезентативний обсяг векторів-реалізацій  $n_m \geq n_{\min}$ .

1. Ініціалізація лічильника кроків зміни параметра  $\delta: l := 0$ .

2.  $l := l + 1$ ;

3. Обчислення нижнього  $A_{\text{НК}_i}[l]$  та верхнього  $A_{\text{ВК}_i}[l]$  контрольних допусків для  $i$ -ї ознаки розпізнавання

$$A_{\text{НК}_i}[l] = y_i - \delta_i \frac{\delta_{H_i}}{100}; \quad A_{\text{ВК}_i}[l] = y_i + \delta_i \frac{\delta_{H_i}}{100}, \quad (9)$$

де  $y_i$  –  $i$ -та ознака еталонного вектору-реалізації у масиву реалізацій образу  $\{y_i^{(j)} | i = \overline{1, N_1}, j = \overline{1, n}\}$ .

4. Формування бінарної навчальної матриці  $\{x_i^{(j)} | i = \overline{1, N}, j = \overline{1, n}\}$  за правилом

$$x_i^{(j)} = \begin{cases} 1, & \text{if } \{A_{\text{НК}_i}[l] < y_i^{(j)} < A_{\text{ВК}_i}[l]\} \wedge y_i^{(j)} \in \{S_k\}; \\ 0, & \text{if } \{A_{\text{ВК}_i}[l] \geq y_i^{(j)} \vee y_i^{(j)} \leq A_{\text{НК}_i}[l]\} \wedge y_i^{(j)} \in \{S_k\}; \\ y_i^{(j)}, & \text{if } y_i^{(j)} \notin \{S_k\}, \end{cases}$$

де  $A_{НК_i}[l]$  і  $A_{ВК_i}[l]$  – нижній і верхній контрольні допуски для  $i$ -ї ознаки еталонного вектору  $y$  масиву реалізацій образу  $\{y_i^{(j)} | i = \overline{1, N_1}, j = \overline{1, n}\}$ , обчислені за формулами (9);

$y_i^{(j)}$  – значення  $i$ -ї ознаки в  $j$ -й реалізації масиву реалізацій образу  $\{y_i^{(j)} | i = \overline{1, N}, j = \overline{1, n}\}$ ;

$\{S_k | k = \overline{1, N_1}\}$  – множина дійсних ознак розпізнавання.

5. Знаходження початкової множини  $\{x_m\}$  еталонних векторів класів  $\{X_m^o\}$  за умови, що

$$\langle x_1, x_2 \rangle := \arg \max_{i,j} d(x^{(i)} \oplus x^{(j)}).$$

6. Ініціалізація радіусів контейнерів класу  $X_m^o$ :

$$d_m := d(x_1 \oplus x_2) - 1, \quad m = \overline{1, M}.$$

7. Ініціалізація лічильника прогонів процедури алгоритму самонавчання СППР:  $s := 0$  і початкового усередненого значення максимуму КФЕ самонавчання СППР:  $\bar{E}^{(s)} := 0$ .

8.  $s := s + 1$ .

9. Ініціалізація лічильника класів розпізнавання:  $m := 0$ .

10.  $m := m + 1$ .

11. Ініціалізація лічильника кроків зміни радіуса контейнера кластеру  $X_m^o$ :  $d_m := 0$ .

12.  $d_m := d_m + 1$ .

13. Ініціалізація масиву  $A_{n_m}$  значень  $n_m$  кластерів  $X_m^o$ :  $A_{n_m} := 0, \quad m = \overline{1, M}$ .

14. Розбиття на  $M$  кластерів реалізацій бінарної навчальної матриці  $\{x_i^{(j)} | i = \overline{1, N}, j = \overline{1, n}\}$  за умови, що

$$d(x_m \oplus x^{(j)}) \leq d_m,$$

де  $d(x_m \oplus x^{(j)})$  – кодова відстань Хеммінга між двійковими векторами  $x_m$  і  $x^{(j)}$  та формування нечіткої класифікованої бінарної навчальної матриці  $\{x_{m,i}^{(j)} | m = \overline{1, M}, i = \overline{1, N}, j = \overline{1, n_m}\}$ .

15. Додавання в масив  $A_{n_m}$  поточних значень  $n_m$  кластерів  $X_m^o$ :  $A_{n_m} := n_m, \quad m = \overline{1, M}$ .

16. Обчислення інформаційного КФЕ самонавчання СППР.

17. Формування еталонного вектору  $x_m$  кластеру  $X_m^o$  за правилом

$$x_{m,i} = \begin{cases} 1, & \text{if } \frac{1}{n_m} \sum_{j=1}^{n_m} x_{m,i}^{(j)} > 0,5; \\ 0, & \text{if else,} \end{cases}$$

де  $x_{m,i}^{(j)}$  – значення  $i$ -ї ознаки в  $j$ -й реалізації бінарної навчальної матриці  $\{x_{m,i}^{(j)} | m = \overline{1, M}, i = \overline{1, N}, j = \overline{1, n_m}\}$  кластеру  $X_m^o$ .

18. Порівняння: якщо  $d_m < d(x_1 \oplus x_2)$ , то виконується пункт 12, інакше – пункт 19.

19. Знаходження максимуму КФЕ в робочій області його визначення:

$$E_m^{(s)} := \max_{\{d_m\}} E_m,$$

за умови, що  $n_m \geq n_{\min}$ , і визначення оптимальних еталонного вектору та радіусу кластеру  $X_m^o$ :

$$\langle x_m^{(s)}, d_m^{(s)} \rangle := \arg \max_{d_m} E_m^{(s)}.$$

При цьому у випадку відсутності робочої області визначення КФЕ як квазіоптимальні еталонний вектор та радіус кластеру  $X_m^o$  приймають їх початкові значення.

20. Порівняння: якщо  $m < M$ , то виконується пункт 10, інакше – пункт 21.

21. Порівняння: якщо  $\bar{E}^{(s)} > \bar{E}^{(s-1)}$ , де  $\bar{E}^{(s)}$ ,  $\bar{E}^{(s-1)}$  – усереднені значення максимумів КФЕ, обчислені за формулою (2) відповідно на  $s$ -му і  $s-1$ -му прогонах процедури алгоритму самонавчання СППР, то

$$\langle \hat{x}_m^{(s)}, \hat{d}_m^{(s)} \rangle := \langle x_m^{(s)}, d_m^{(s)} \rangle$$

і виконується пункт 8, інакше

$$\bar{E}^{(l)} := \bar{E}^{(s)},$$

$$\langle \hat{x}_m^{(l)}, \hat{d}_m^{(l)} \rangle := \langle x_m^{(s)}, d_m^{(s)} \rangle,$$

та виконується пункт 22.

22. Порівняння: якщо  $\delta_i \leq \delta_{H_i} / 2$ , то виконується пункт 2, інакше – пункт 23.

23. Виконується процедура пошуку глобального максимуму КФЕ

$$\bar{E}^* := \max_{\{\delta\}} \bar{E}^{(l)}$$

в робочій області визначення його функції і оптимальних еталонного вектору та радіусу кластеру  $X_m^o$

$$\langle x_m^*, d_m^* \rangle := \arg \max_{\{\delta\}} \bar{E}^{(l)}.$$

24. ЗУПИН.

Для реалізацій, які не вдалося розпізнати в режимі екзамену, передбачається в рамках ІЕІ-технології формування за методом ФКА нового кластеру даних.

Як загальний критерій валідації розбиття простору діагностичних ознак на кластери розглядається робоча формула модифікації КФЕ за Кульбаком [7], що дозволяє використовувати під час процедури самонавчання СППР різні за обсягами

навчальні вибірки для класів розпізнавання алфавіту  $\{X_m^o\}$

$$E_m^{(k)} = \frac{\{n_c - n_m + 2 \cdot (K_{1,m}^{(k)} - K_{2,m}^{(k)})\}}{n_c + n_m} \times \log_2 \left( \frac{n_c + (K_{1,m}^{(k)} - K_{2,m}^{(k)}) + 10^{-r}}{n_m - (K_{1,m}^{(k)} - K_{2,m}^{(k)}) + 10^{-r}} \right), \quad (10)$$

де  $K_{1,m}^{(k)}, K_{2,m}^{(k)}$  – кількість подій, що характеризують належність реалізацій образу до контейнера класу  $X_m^o$  якщо вони дійсно є реалізаціями відповідно класу  $X_m^o$  та найближчого до нього класу  $X_c^o$  на  $k$ -му кроці навчання СППР;

$n_m, n_c$  – обсяг навчальної вибірки для класів  $X_m^o$  і  $X_c^o$  відповідно.

Нормовану модифікацію критерію (10) можна подати у вигляді:

$$\hat{E}_m^{(k)} = \frac{E_m^{(k)}}{E_{m,\max}^{(k)}}, \quad (11)$$

де  $E_m^{(k)}$  – КФЕ, обчислене за формулою (10);

$E_{m,\max}^{(k)}$  – максимальне значення критерію (10),

обчислене при значеннях  $K_{1,m}^{(k)} = n_m$  та  $K_{2,m}^{(k)} = 0$ .

Таким чином, алгоритм функціонування СППР, що навчається в режимі кластер-аналізу вхідних даних, в рамках ІЕІ-технології полягає в ітераційній процедурі наближення глобального максимуму інформаційного КФЕ до граничного значення, обчисленого в робочій (допустимій) області визначення його функції.

**Категорійна модель і алгоритм інформаційно-екстремального ФКА.** Категорійну модель СППР, яка функціонує в режимі інформаційно-екстремального ФКА, показано на рис. 2.

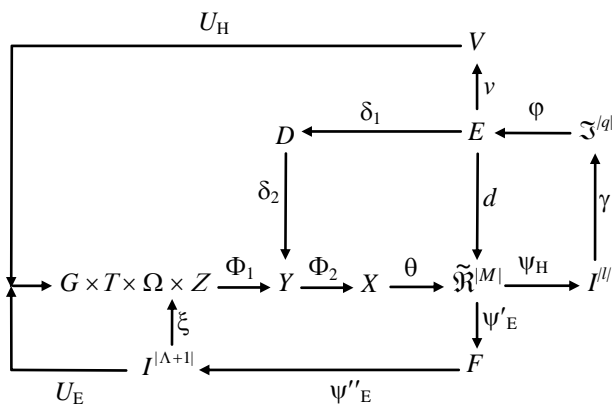


Рис. 2 – Категорійна модель інформаційно-екстремального ФКА

На відміну від діаграми, представленої на рис. 1, оператор  $\Phi_2: Y \rightarrow X$  категорійної моделі (рис. 2)

формує класифіковану бінарну навчальну матрицю, оператор  $\theta: X \rightarrow \tilde{\mathfrak{R}}^{|\Lambda|}$  відновлює на кожному кроці навчання оптимальне в інформаційному розумінні розбиття простору ознак на  $M$  класів розпізнавання, а оператор класифікації  $\Psi_H: \tilde{\mathfrak{R}}^{|\Lambda|} \rightarrow I^{|\Lambda|}$  перевіряє основну статистичну гіпотезу про належність реалізації  $\{x_{m,i}^{(j)} \mid i = 1, N, j = 1, n_m\}$  класу  $X_m^o$ . Контур оптимізації геометричних параметрів розбиття  $\tilde{\mathfrak{R}}^{|\Lambda|}$  шляхом пошуку максимуму КФЕ навчання розпізнаванню реалізацій класу  $X_m^o$  замикається оператором  $d: E \rightarrow \tilde{\mathfrak{R}}^{|\Lambda|}$ .

Особливість діаграми, показаної на рис. 2, полягає в наявності паралельних контурів самонавчання і екзамону. При цьому оператор класифікації екзаменаційної реалізації утворює композицію  $\Psi_E = \Psi'_E \circ \Psi''_E$ , де  $\Psi'_E, \Psi''_E$  – оператори обчислення функції належності реалізації образу контейнеру та реалізації вирішальних правил відповідно. За результатами екзамону формується відкрита множина гіпотез  $I^{|\Lambda+1|}$ , серед яких гіпотеза  $\gamma_{\Lambda+1}$  означає, що екзаменаційна реалізація не належить алфавіту класів розпізнавання  $\{X_m^o\}^{|\Lambda|}$ . Оператор  $I^{|\Lambda+1|} \rightarrow Z$  формує новий простір функціональних станів керованого динамічного процесу і запускає контур самонавчання СППР.

Зовнішній контур категорійної моделі (рис. 2) містить множину  $V$  типів вирішальних правил, що будуються в радіальному базисі простору ознак розпізнавання. При цьому згідно з принципом відкладених рішень Івахненка О. Г. оператор  $v: E \rightarrow V$  здійснює вибір нового типу вирішальних правил за умови, що після оптимізації параметрів самонавчання значення КФЕ (2) не досягає свого граничного максимального значення.

Оператори категорійної моделі, представленої на рис. 2,

$$U_H: V \rightarrow G \times T \times \Omega \times Z,$$

$$U_E: I^{|\Lambda+1|} \rightarrow G \times T \times \Omega \times Z,$$

регламентують процеси самонавчання й екзамону СППР відповідно.

**Приклад реалізації інформаційно-екстремальних алгоритмів автоматичної класифікації.** Спочатку розглянемо процес інформаційно-екстремального кластер-аналізу для формування навчальної матриці, для розпізнавання ступеню тяжкості перебігу ВІЛ. Обсяг матриці складав  $n = 80$ , а розмірність структурованих векторів-реалізацій становила  $N = 63$  клініко-лабораторних та імуногенетичних ознак розпізнавання, які відповідно характеризують:

1) загальний стан пацієнта при зверненні за медичною допомогою, ураження органів і систем, показники клінічного, біохімічного аналізу крові;

2) дослідження рівнів популяцій лімфоцитів та сироваткові рівні IL-4, IL-10, TNF- $\alpha$ , поліморфізми поодиноких нуклеотидів генів цитокинів IL-4 (-590C/T), IL-10 (-592C/A), TNF- $\alpha$  (-308G/A).

Процес оптимального розбиття простору діагностичних ознак на кластери розглянемо при  $n_{\min} = 35$ .

З метою зовнішньої валідації результатів функціонування СППР у режимі кластер-аналізу вхідних даних апостеріорна класифікація навчальної матриці здійснювалася експертами предметної області. В результаті реалізації алгоритму (8) вхідну неклассифіковану матрицю було розбито на два класи по 40 і 36 реалізації в кожному. Ці класи

характеризували ВІЛ-інфікованих осіб з тяжким (кількість опортуністичних інфекцій на одного хворого більше 3-х) і середньотяжким (кількість опортуністичних інфекцій на одного хворого – 1-2-ві) перебігом захворювання та відповідні функціональні стани патологічного процесу.

На рис. 3, а і 3, б показано графіки зміни усередненого значення КФЕ самонавчання СППР та кількості реалізацій навчальної вибірки, що потрапили до контейнерів класів розпізнавання в процесі паралельної оптимізації параметра  $\delta$  поля контрольних допусків на ознаки розпізнавання за алгоритмом (8).

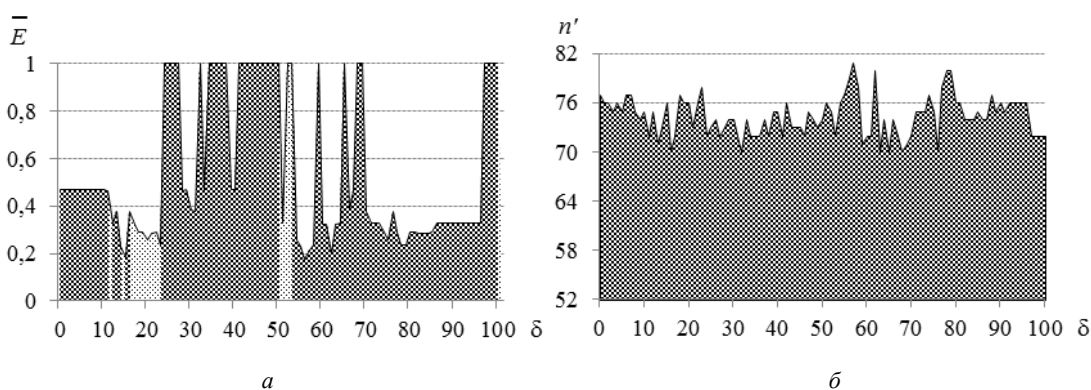


Рис. 3 – Оптимізація параметра поля контрольних допусків на ознаки розпізнавання:  
а – графік залежності усередненого за алфавітом класів розпізнавання критерію Кульбака;  
б – кількість реалізацій навчальної вибірки, що потрапили до контейнерів класів розпізнавання

Аналіз рис. 3 показує, що квазіоптимальне значення параметра поля контрольних допусків дорівнює  $\delta^* = \pm 42\%$  від номінального (усередненого) для вхідної неклассифікованої навчальної матриці значення ознак розпізнавання при максимальному значенні усередненого нормованого КФЕ  $\bar{E}^* = 1$ . Таким чином, оптимізація системи контрольних допусків на ознаки розпізнавання дозволяє

побудувати безпомилкові за навчальною матрицею вирішальні правила.

На рис. 4 наведено графіки залежності КФЕ (11) від радіусів гіперсферичних контейнерів класів розпізнавання, одержаних після виконання процедури оптимізації контрольних допусків на ознаки розпізнавання за паралельним алгоритмом (8).

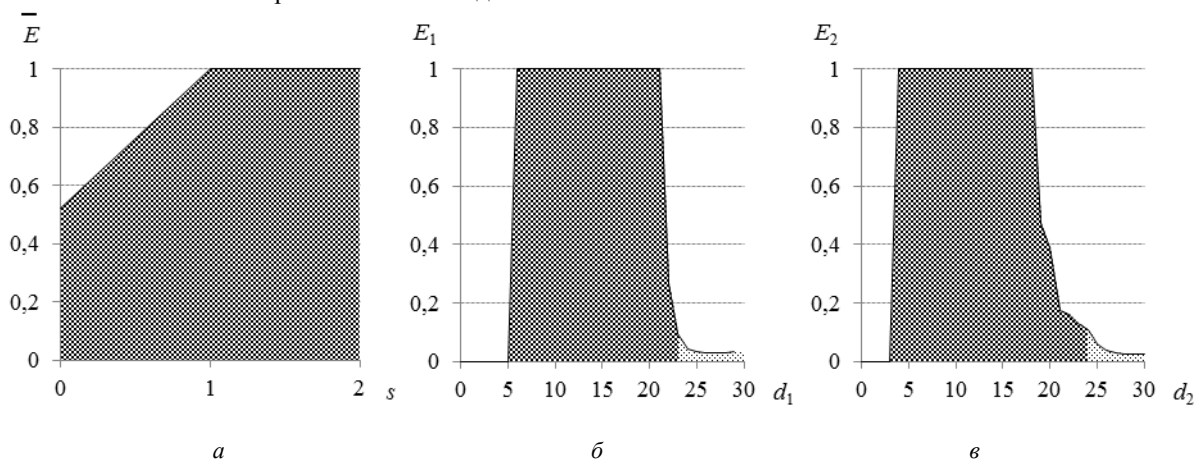


Рис. 4 – Графіки залежності критерію Кульбака від: а – кількості прогонів процедури алгоритму самонавчання СППР;  
б – радіуса контейнера класу розпізнавання  $X_1^o$ ; в – радіуса контейнера класу розпізнавання  $X_2^o$

Аналіз рис. 4 показує, що максимальне усереднене значення КФЕ самонавчання СППР, отримане на другій ітерації роботи алгоритму, досягає

свого максимального граничного значення і дорівнює  $\bar{E}^* = 1$ . При цьому оптимальні значення радіусів відповідних контейнерів класів розпізнавання



дорівнюють  $d_1^* = 21$  і  $d_2^* = 16$ , а кількість векторів-реалізацій образів, що потрапили до кластерів –  $n_1 = 40$  і  $n_2 = 36$ .

На етапі екзамєну, тобто при функціонуванні СППР в режимі ФКА, оцінювалась достовірність розпізнавання 110 реалізацій навчальної вибірки, що характеризує ступінь тяжкості перебігу ВІЛ. При цьому рішення приймалося шляхом визначення максимального значення вирішального правила у вигляді геометричної функції належності, яка для гіперсферичного класифікатора і реалізацій класу  $X_m^o$  має вигляд [4]

$$\mu_m = 1 - \frac{d(x_m^* \oplus x_e)}{d_m^*}, \quad (12)$$

де  $x_m$  – еталонний вектор контейнера класу розпізнавання  $X_m^o$ ;

$d_m^*$  – радіус гіперсферичного контейнера класу розпізнавання  $X_m^o$ ;

$x_e$  – реалізація навчальної вибірки, що розпізнається.

За результатами фізичного моделювання сформовано розширений алфавіт класів розпізнавання  $\{X_m^o\}^\Lambda$ , до якого увійшли:

1) клас  $X_1^o$  (35 реалізацій), що характеризував групу осіб з тяжким перебігом захворювання (кількість опортуністичних інфекцій на одного хворого більше трьох);

2) клас  $X_2^o$  (35 реалізацій) – група осіб з середньотяжким перебігом захворювання (кількість опортуністичних інфекцій на одного хворого – одна-дві);

3) клас  $X_3^o$  (40 реалізацій) – контрольна група осіб (практично здорові донори крові).

При цьому клас розпізнавання  $X_3^o$  сформовано з реалізацій екзаменаційної вибірки, значення функції належності (12) яких дорівнює  $\mu_m = -1, m = 1, M$ , тобто з реалізацій, не віднесених до жодного з

контейнерів класів розпізнавання, відновлених у режимі самонавчання СППР.

На рис. 5 показано графік зміни усередненого значення КФЕ навчання СППР в процесі оптимізації параметра  $\delta$  поля контрольних допусків на ознаки розпізнавання за паралельним алгоритмом, приведеним у праці [8], для розширеного алфавіту класів розпізнавання  $\{X_m^o\}^\Lambda$ .

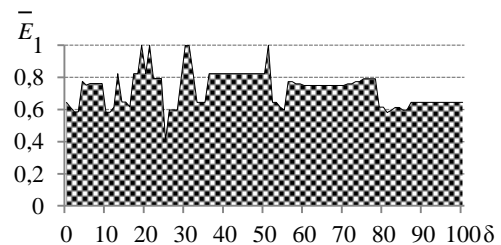


Рис. 5 – Оптимізація параметра поля контрольних допусків на ознаки розпізнавання для алфавіту класів розпізнавання  $\{X_m^o\}^\Lambda$

Аналіз рис. 5 показує, що оптимальне значення параметра поля контрольних допусків дорівнює  $\delta^* = \pm 51\%$  від номінального (усередненого) для базового класу  $X_1^o$  значення ознак розпізнавання при максимальному значенні усередненого КФЕ  $\bar{E}^* = 1$ , що свідчить про побудову безпомилкових за навчальною матрицею вирішальних правил.

На рис. 6 наведено графіки залежності КФЕ (11) від радіусів гіперсферичних контейнерів класів розпізнавання, одержаних при застосуванні оптимального значення параметра  $\delta^* = \pm 51\%$  поля контрольних допусків на ознаки розпізнавання. Аналіз рис. 6 показує, що максимальне усереднене значення КФЕ навчання СППР досягає свого граничного значення і дорівнює  $\bar{E}^* = 1$ , а оптимальні значення радіусів відповідних контейнерів класів розпізнавання, які формують вирішальні правила (12) відповідно –  $d_1^* = 14$ ,  $d_2^* = 18$  і  $d_3^* = 9$ .

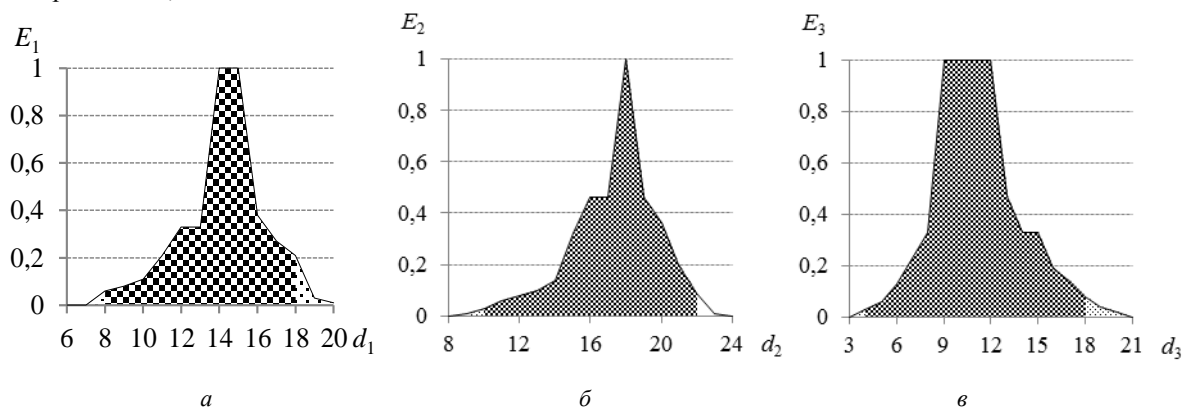


Рис. 6 – Графіки залежності критерію Кульбака від радіусів контейнерів класів розпізнавання з алфавіту  $\{X_m^o\}^\Lambda$ :

а – клас  $X_1^o$ ; б – клас  $X_2^o$ ; в – клас  $X_3^o$

Таким чином, за результатами фізичного моделювання підтверджено працездатність і надійність розробленого інформаційного та програмного забезпечення СППР, що функціонує в режимі інформаційно-екстремального факторного кластер-аналізу.

**Висновки.** Запропоновано в рамках інформаційно-екстремального синтезу здатної самонавчатися СППР алгоритм кластер-аналізу вхідних даних, побудований на основі модифікованого для бінарного простору Хеммінга методу  $k$ -середніх, що дозволило автоматично сформулювати вхідну класифіковану навчальну матрицю і шляхом оптимізації параметрів функціонування системи побудувати безпомилкові за навчальною матрицею вирішальні правила. Крім того, запропоновано інформаційно-екстремальний алгоритм факторного кластер-аналізу, що дозволило безпосередньо в робочому режимі виділяти нові класи розпізнавання і здійснювати перенавчання СППР.

#### Список літератури

1. Duda R. O. Pattern Classification : second ed. / R. O. Duda, P. E. Hart, D. G. Stork. – New York : John Wiley & Sons, 2001. – 738 p.
2. Data Clustering : Algorithms and Applications / [ed. by C. C. Aggarwal, C. K. Reddy]. – CRC Press, 2013. – 652 p.
3. Анализ данных и процессов / [А. А. Барсегян [и др.]. – [3-е изд.]. – СПб. : БХВ-Петербург, 2009. – 512 с.
4. Довбиш А. С. Основи проектування інтелектуальних систем : Навчальний посібник / А. С. Довбиш. – Суми : Вид-во СумДУ, 2009. – 171 с.
5. Москаленко В. В. Інформаційно-екстремальне навчання системи підтримки прийняття рішень з адаптивною кластеризацією даних / В. В. Москаленко // Вісник СумДУ. Серія «Технічні науки». – 2012. – № 3. – С. 110–124.
6. Стадник Г. А. Інформаційно-екстремальна кластеризація діагностичних даних / Г. А. Стадник // Інтелектуальні системи в промисловості і освіті : Четверта міжн. наук.-практ. конф., 6-8 лист. 2013 р. : тези доповідей. – Суми : СумДУ, 2013. – С. 93–94.
7. Dovbysh A. S. Information-Extreme Algorithm for Optimizing Parameters of Hyperellipsoidal Containers of Recognition Classes /

A. S. Dovbysh, N. N. Budnyk, V. V. Moskalenko // Journal of automation and information sciences. – 2012. – V. 44, I. 10. – P. 35–44.

8. Довбиш А. С. Система підтримки прийняття рішень для визначення схеми лікування гострої кишкової інфекції / А. С. Довбиш, Г. А. Стадник, К. С. Полов'ян // Вісник СумДУ. Серія «Технічні науки». – 2012. – № 1. – С. 25–31.

#### References (transliterated)

1. Duda R. O., Hart P. E., Stork D. G. *Pattern Classification : second ed.* New York, John Wiley Publ., 2001. 738 p.
2. Aggarwal C. C., Reddy C. K., ed. *Data Clustering : Algorithms and Applications.* CRC Press Publ., 2013. 652 p.
3. Barsегyan A. A., Kupriyanov M. S., Kholod I. I., Tess M. D., Elizarov S. I. *Analiz dannyh i processov* [Analysis of data and processes]. 3rd ed. SPb., BHV-Peterburg Publ., 2009. 512 p.
4. Dovbysh A. S. *Osnovy proektuvannya intelektualnykh sistem : Navchalnyy posibnyk* [Fundamentals of Intelligent Systems : Tutorial]. Sumy, SumDU Publ., 2009. 171 p.
5. Moskalenko V. V. Informatsiino-ekstremalne navchannia systemy pidtrymky pryiniattia rishen z adaptivnoiu klasteryzatsiieiu danykh [Adaptive self-learning of information-extreme decision support system]. *Visnyk SumDU. Series. "Tekhnichni nauky"* [Bulletin of the Sumy State University. Series "Technical sciences"]. Sumy, 2012, no. 3, pp. 110–124.
6. Stadnyk H. A. Informatsiino-ekstremalna klasteryzatsiia diahnostychnykh danykh [Information extreme clustering of diagnostic data]. *Intelektual'ni systemy v promyslovosti i osviti. Tezy dopovidey IV mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi (6–8 lystopada 2013 r., Sumy)* [Intelligence Systems in Industry and Education. Abstracts of the IV Int. Sci.-Pract. Conf. (6–8 Nov. 2013, Sumy)]. Sumy, SumDU Publ., 2013, p. 93–94.
7. Dovbysh A. S., Budnyk N. N., Moskalenko V. V. Information-Extreme Algorithm for Optimizing Parameters of Hyperellipsoidal Containers of Recognition Classes. *Journal of automation and information sciences.* USA, 2012, no. 44, issue 10, pp. 35–44.
8. Dovbysh A. S., Stadnyk H. A., Polovian K. S. Systema pidtrymky pryiniattia rishen dlia vyznachennia skhemy likuvannya hostroї kyshkovoi infektsii [Decision support system for determination of acute enteric infection treatment regimen]. *Visnyk SumDU. Series. "Tekhnichni nauky"* [Bulletin of the Sumy State University. Series "Technical sciences"]. Sumy, 2012, no. 1, pp. 25–31.

Надійшла (received) 25.02.2016

#### Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

**Система підтримки прийняття рішень, що функціонує в режимі автоматичної класифікації / Г. А. Стадник // Вісник НТУ «ХПІ».** Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХПІ», 2016. – № 37 (1209). – С. 35–42. – Бібліогр.: 8 назв. – ISSN 2079-0023.

**Система поддержки принятия решений, функционирующая в режиме автоматической классификации / А. А. Стадник // Вісник НТУ «ХПІ».** Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 37 (1209). – С. 35–42. – Библиогр.: 8 назв. – ISSN 2079-0023.

**Decision Support System, functioning in the automatic classification / H. A. Stadnyk // Bulletin of NTU "KhPI".** Series: System analysis, control and information technology. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2016. – No. 37 (1209). – P. 35–42. – Bibliogr.: 8. – ISSN 2079-0023.

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Стадник Ганна Анатоліївна** – Сумський державний університет, аспірант кафедри комп'ютерних наук; тел.: (099) 433-53-65; e-mail: anna.stadnyk@gmail.com.

**Стадник Анна Анатольевна** – Сумский государственный университет, аспирантка кафедры компьютерных наук; тел.: (099) 433-53-65; e-mail: anna.stadnyk@gmail.com.

**Stadnyk Hanna Anatoliivna** – Sumy State University, Ph. D. Student at the Department of Computer Sciences; tel.: (099) 433-53-65; e-mail: anna.stadnyk@gmail.com.

УДК 004.891.3

**В. М. ЛЕВЫКИН, О. В. ЧАЛАЯ**

## ИЕРАРХИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОНТЕКСТА ЗНАНИЕ-ЕМКОГО БИЗНЕС-ПРОЦЕССА

У роботі на основі структуризації знання-місткого бізнес-процесу, розроблені ієрархічна модель контексту такого процесу, а також модель життєвого циклу артефакту контексту. Ієрархічна модель контексту визначає ієрархію артефактів як об'єктів, з якими взаємодіє бізнес-процес. Модель дозволяє аналізувати обробку артефактів не лише в часовому, а і в просторовому аспекті, забезпечуючи можливість структуризації такого процесу з урахуванням організаційної структури підприємства. Запропонована узагальнена модель життєвого циклу артефакту містить набір його атрибутів, а також впорядковану послідовність дій по обробці артефакту в рамках одного екземпляру бізнес-процесу. Модель забезпечує можливість о поетапного удосконалення бізнес-процесу шляхом адаптації послідовності дій в рамках життєвого циклу окремих артефактів.

**Ключові слова:** знання-ємний бізнес-процес, інтелектуальний аналіз процесів, процесне управління, контекст, артефакт.

В работе на основе структуризации знания-емкого бизнес-процесса, разработаны иерархическая модель контекста такого процесса, а также модель жизненного цикла артефакта контекста. Иерархическая модель контекста определяет иерархию артефактов как объектов, с которыми взаимодействует бизнес-процесс. Модель позволяет анализировать обработку артефактов не только во временном, но и в пространственном аспекте, обеспечивая возможность структуризации такого процесса с учетом организационной структуры предприятия. Предложенная обобщенная модель жизненного цикла артефакта содержит набор его атрибутов, а также упорядоченную последовательность действий по обработке артефакта в рамках одного экземпляра бизнес-процесса. Модель обеспечивает возможность в поэтапного усовершенствования бизнес-процесса путем адаптации последовательности действий в рамках жизненного цикла отдельных артефактов.

**Ключевые слова:** знание-емкий бизнес-процесс, интеллектуальный анализ процессов, процессное управление, контекст, артефакт.

In this paper, based on the structuring of knowledge-capacious business process, a hierarchical model the context of this process, as well as the model of artifact context lifecycle is developed. The hierarchical context model defines a hierarchy of artifacts - objects, which interact with the business process. The model allows you to analyze processing artifacts, not only in time but also in the spatial aspect, enabling the structuring of this process, taking into account the organizational structure. The proposed generalized model of artifact lifecycle contains a set of its attributes and an ordered sequence of processing artifact actions that corresponds a single instance of a business process. The model makes it possible continuous improvement of the business process by adapting the sequence of actions in the framework of individual artifacts lifecycle.

**Keywords:** knowledge-intensive business process, intelligent process analysis, process control, context, artifact.

**Введение.** Процессный подход к управлению предприятием основан на построении моделей бизнес-процессов (БП) и дальнейшем управлении БП с использованием полученной модели. Модель бизнес-процесса определяет набор последовательностей действий, позволяющих решить одну из функциональных задач предприятия [1, 2].

При моделировании бизнес-процессов основное внимание уделяется построению workflow – графа, описывающего алгоритм выполнения процесса. Такой подход эффективен для процессов с априорно заданной структурой. Однако для процессов с изменяющейся структурой требуется итеративная перестройка workflow – описания.

Знание-емкие бизнес-процессы (ЗБП) являются процессами с изменяющейся структурой. В отличие от традиционных бизнес-процессов с априорно заданной структурой, ЗБП включают в себя компоненту знаний [3]. Указанная компонента определяет выбор действий ЗБП, позволяющих достичь цели процесса с учетом текущего состояния предметной области [4].

Множество взаимосвязанных объектов предметной области, взаимодействующих с бизнес-процессом, составляют контекст выполнения ЗБП. Свойства и состояние объектов контекста определяют набор исходных данных для компоненты знаний, задающей выбор последовательности действий по решению соответствующей функциональной задачи.

Поэтому при моделировании знание-емких бизнес-процессов традиционную workflow – модель необходимо дополнить не только описанием зависимостей, определяющих выбор нужной

последовательности действий, но и моделью контекста, задающей область определения для компоненты знаний.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Моделирование объектов контекста, которые используются бизнес-процессом, рассматривается в рамках основанного на артефактах (artifact-centered) подхода [5–7]. Такой подход основан на выделении артефактов (объектов, взаимодействующих с бизнес-процессом) и построении для каждого артефакта информационной модели, а также модели жизненного цикла [8]. Первая из указанных моделей содержит описание артефакта в виде набора характеризующих артефакт данных. Вторая модель содержит подпроцесс обработки артефакта, начиная от его создания и до удаления с указанием вызывающих его событий [8].

Основанный на артефактах подход используется для моделирования синхронизации состояний объектов без явного задания последовательности действий бизнес-процесса, задающего их обработку. Это сужает область применения указанного подхода до бизнес-процессов конвейерного типа, в которых последовательность действий определяется последовательностью операций жизненного цикла используемых объектов [9, 10].

При использовании знание-емких бизнес-процессов необходимо рассматривать не отдельные артефакты, а совокупность взаимодействующих объектов, которые составляют контекст ЗБП. Однако в настоящее время не исследованы вопросы моделирования контекста бизнес-процесса с позиций

системного подхода, с учетом как свойств отдельных объектов, так и взаимосвязей между ними.

Изложенное определяет актуальность темы данной работы.

**Целью данной статьи** является разработка модели контекста знание-емкого бизнес-процесса, задающей описание объектов контекста в виде набора атрибутов, а также связей между этими объектами. Это даст возможность выполнить выявление и верификацию компоненты знаний путем исследования записей о поведении уже выполнившихся процессов и, тем самым, сократить затраты на получение адекватной модели знание-емкого бизнес-процесса.

**Иерархическая модель контекста знание-емкого бизнес-процесса.** Перед детализацией и построением модели контекста необходимо рассмотреть общую структуру ЗБП, а также последовательность взаимодействия контекста с другими составляющими такого процесса.

ЗБП включает в себя следующие составляющие (рис. 1):



Рис. 1 – Взаимодействие составляющих знание-емкого бизнес-процесса

- набор последовательностей действий (workflow);
- контекст, состоящий из набора используемых процессом объектов;
- знания, определяющие выбор predetermined последовательности действий

На уровне workflow знание-емкий бизнес-процесс объединяет в себе несколько традиционных под-процессов с априорно определенной последовательностью действий.

Выбор последовательности действий, позволяющих достичь цели процесса, осуществляется на уровне знаний в соответствии с состоянием контекста ЗБП.

Контекст содержит набор объектов (артефактов), которые используются при выполнении действий процесса, а также влияют на его выполнение. В дальнейшем выражение «объект, который

используется при выполнении действий процесса» «артефакт» будем рассматривать как эквивалентные по смыслу.

Взаимодействие между составляющими ЗБП осуществляется следующим образом:

– текущее состояние контекста, определяемое через состояние и взаимосвязи его объектов, задает условия для выполнения predetermined последовательностей действий процесса;

– выбор действий процесса осуществляется с помощью правил, относящихся к уровню знаний; antecedent правил задается через атрибуты, а также значения атрибутов объектов контекста бизнес-процесса;

– в результате выполнения predetermined последовательности действий (подпроцесса ЗБП) изменяются значения атрибутов объектов контекста и, следовательно, состояние контекста в целом.

Модель структуры ЗБП представляется следующим короткежем:

$$BP = \langle Ct, Kn, Wf \rangle, \quad (1)$$

где  $Ct$  – контекст бизнес-процесса;

$Kn$  – набор правил выбора действий ЗБП в зависимости от контекста;

$Wf$  – набор последовательностей действий бизнес-процесса.

Контекст содержит множество составляющих его объектов и связи между этими объектами:

$$Ct = \langle AF, R_{Ct} \rangle, \quad (2)$$

где  $AF$  – множество объектов, составляющих контекст;

$R_{Ct}$  – контекстные зависимости, которые включают в себя связи между артефактами.

Основная задача, которая решается при построении иерархической модели контекста, заключается в интеграции процессного и функционального подходов к управлению предприятием. Используемые при процессном управлении БП горизонтально связывают различные подразделения предприятия, формируя цепочку вход (материалы, ресурсы) → обработка → выход (ценный для потребителя результат, продукт, сервис).

Функциональный подход к управлению связан с существующей организационной структурой предприятия и основан на многоуровневой детализации выполняемых функциональных задач по подразделениям таким образом, чтобы исполнители нижнего уровня выполняли наиболее простые, атомарные операции. При функциональном подходе учитывается как иерархия задач, так и иерархия исполнителей. Учет иерархий задач и исполнителей дает возможность структурировать бизнес-процесс по подразделениям, подзадачам. На каждом уровне иерархии бизнес-процесс можно рассматривать с различной степенью детализации.

Контекст включает в себя все объекты, используемые при реализации действий БП, в том числе исполнителей, подразделения организации,

подзадачи и т.п. Поэтому для интеграции функционального и процессного подходов в ЗБП необходимо построить иерархию артефактов контекста. После этого с каждым объектом в иерархии связывается подпроцесс, который включает в себя операции по взаимодействию с артефактом. Такой подпроцесс будем рассматривать как сервис по работе с артефактом.

Операции по использованию артефактов выполняются только в случае возникновения соответствующих условий, выраженных через состояние этих артефактов. Состояние артефактов задается набором их атрибутов, а также значениями этих атрибутов.

Многоуровневое представление контекста, включающее в себя рассмотренные элементы, представлено на рис. 2.



Рис. 2 – Иерархическое представление контекста знание-емкого бизнес-процесса

Таким образом, при построении иерархической модели контекста необходимо определить классы артефактов через его атрибуты и множества допустимых значений этих атрибутов, задать отношения между классами артефактов, а также определить сервисы по обработке артефактов.

Класс артефактов задается через набор атрибутов, а также множество значений этих каждого из атрибутов с учетом ограничений на допустимые значения атрибутов:

$$Af = \{(a_i, V_i | \forall k \neq i V_i \cap V_k = \emptyset)\}, \quad (3)$$

где  $Af$  – класс артефактов;

$a_i$  – атрибут всех артефактов класса  $Af$  ;

$V_i, V_k$  – множество допустимых значений атрибутов  $a_i$  и  $a_k$  соответственно.

Каждый из экземпляров артефактов  $af$  произвольного класса  $Af$  характеризуется набором значений атрибутов в текущий момент времени.

$$af^m = \{a_i, v_{ij}\}, v_{ij} \in V_i, \quad (4)$$

где  $af^m$  – состояние экземпляра артефакта в дискретный момент времени  $m$  ;

$v_{ij}$  – значение атрибута  $a_i$  экземпляра  $af^m$  .

Иерархия классов артефактов формируется на основе отношения обобщения/детализации. Данное отношение показывает, что более общий объект определяется через набор более детальных объектов. Иными словами, детальные объекты входят в состав более общего. Поэтому отношение обобщения/детализации в рассматриваемой интерпретации представляет собой отношение включения для множеств. Тогда при определении всех артефактов контекста необходимо определять иерархию через отношение включения:

$$AF = (\{Af\}, R^H), R^H = \{ \subset, \subseteq \}, \quad (5)$$

где  $R^H$  – отношение включения.

Для построения общей иерархии артефактов отношение включения будем считать тотальным:

$$\forall (Af_k, Af_l) \exists r_{k,l}^H \in R^H | k \neq l, \quad (6)$$

где  $Af_k, Af_l$  – отличающиеся классы артефактов;

$r_{k,l}^H$  – одно из отношений из множества  $\{ \subset, \subseteq \}$  .

В практическом плане это означает, что все артефакты будут упорядочены по степени детализации, и при выделении сервисов по уровням иерархии мы сможем детализовать любой сервис за исключением самого нижнего уровня детализации.

С учетом того, что каждый класс артефактов представляется множеством его экземпляров, а каждый экземпляр – множеством состояний, то иерархия экземпляров контекста примет вид:

$$AF = (\{ \{ \{ a_i, v_{ij} \} \}, \{ \subset, \subseteq \} \}, \quad (7)$$

где  $\{ a_i, v_{ij} \}$  – описание экземпляра артефакта в некоторый дискретный момент времени в формате набора пар (атрибут, значение).

Сервис представляет собой последовательность действий по обработке одного объекта заданного класса. Перечень действий, доступный в конкретном контексте, также может быть определен как набор артефактов. Этот набор действий – артефактов упорядочен отношением перехода, переводящим процесс обработки используемых ЗБП объектов из одного состояния в другое.

Тогда произвольный сервис включает упорядоченный набор действий по обработке класса артефактов:

$$Sr = (Af, \{d_i\}, R^T), \quad (8)$$

где  $d_i$  – действие по обработке артефакта  $Af$  ;

$R^T$  – отношения между действиями процесса во временном аспекте.

Отношение между действиями процесса определяется на основе отношения перехода:  $R^T = \{>, >, \geq\}$ , где  $>$  – отношение перехода между двумя последовательными действиями;  $>$  – транзитивное замыкание отношения перехода;  $\geq$  – отношение достижимости.

Сервис по обработке артефакта содержит всю доступную в рамках исходного бизнес-процесса последовательность действий, обеспечивающих взаимодействие БП этим артефактом. В наиболее общем случае первым действием сервиса будет создание объекта, а последним – его уничтожение. Такой сервис, очевидно, представляет собой полный жизненный цикл артефакта.

При процессном управлении объекты не всегда создаются и уничтожаются бизнес-процессом. Поэтому под жизненным циклом артефакта будем понимать последовательность действий с объектом в рамках одного экземпляра бизнес-процесса. Каждый экземпляр бизнес-процесса создается и выполняется однократно.

В информационных управляющих системах последовательность действий экземпляра бизнес-процесса обычно фиксируется в виде последовательности событий в логе (журнале регистрации событий бизнес-процесса). Такая последовательность составляет одну трассу лога. Из этого следует, что жизненный цикл артефакта отражен в трассах лога.

Тогда модель жизненного цикла артефакта должна включать описание артефакта, а также набор действий над ним, который отражен в логе при записи одного экземпляра бизнес-процесса.

Пусть лог  $\Pi$  состоит из набора трасс  $\pi$ . Каждая трасса содержит запись о выполнении одного экземпляра процесса в виде упорядоченной последовательности событий  $e_i$ :  $\pi = (\{e_i\}, >)$ . Тогда жизненный цикл артефакта, реализованный на трассе  $\pi$ , содержит только те действия  $d_i$  процесса, которые обладают следующими признаками: записаны на трассе  $\pi$ ; обладают атрибутами артефакта.

Модель жизненного цикла артефакта определяется следующим образом:

$$Lc = \left( \left\{ af \in Af, \right. \right. \\ \left. \left. \left\{ d_i \mid (\forall d_i \exists e_i \in \pi) \wedge \exists a_{e_i} : a_{e_i} = a_{af} \right\}, > \right\} \right), \quad (9)$$

где  $af$  – артефакт, для которого определяется жизненный цикл;

$e_i$  – событие, содержащее запись о действии  $d_i$  ;

$a_{e_i}$  – атрибут события  $e_i$  ;

$a_{af}$  – атрибут артефакта  $af$  .

Набор сервисов  $SR$  определяется следующим образом:

$$SR = (\{AF, \{d_i\}\}, R^T). \quad (10)$$

где  $Sr$  – сервис как набор упорядоченных действий  $d_i$  .

С учетом иерархической структуры классов артефактов (7), а также отношений между действиями над этими классами, иерархическая модель контекста знание-емкого бизнес-процесса имеет вид:

$$M_{Cr} = (\{\{a_i, v_{ij}\}\}, R^H, \{\{d_i\}\}, R^T). \quad (11)$$

Отношения  $R^H$  упорядочивают артефакты в пространственном аспекте, а  $R^T$  упорядочивают связанные с ними сервисы во временном аспекте.

Поскольку артефакты отображены атрибутами и их значениями, а действия в логе отражаются событиями, для которых также указаны атрибуты и значения, то мы можем задать и пространственные и временные отношения для наборов ((атрибут, значение), действие):

$$M_{Cr} = (\{\{a_i, v_{ij}\}, d_i\}, R^H, R^T). \quad (12)$$

В иерархической модели контекста (12) артефакты упорядочены по своим атрибутам в пространственном аспекте, а связанные с ними действия – во временном, что позволяет отражать результаты как процессного, так и функционального управления.

**Выводы.** В данной статье разработаны иерархическая модель контекста знание-емкого бизнес-процесса, а также модель жизненного цикла артефакта контекста. Иерархическая модель контекста знание-емкого бизнес-процесса включает себя в описание артефактов в виде множества пар (атрибут, значение), упорядоченных по отношению включения, а также набора связанных с атрибутами действий, упорядоченных по отношению перехода. Данная модель позволяет рассматривать обработку артефактов в пространственном и временном аспектах, что дает возможность разбить знание-емкий процесс на логически связанные фрагменты с предопределенной структурой и запускать эти фрагменты с помощью уровня знаний с учетом текущего состояния контекста ЗБП.

Предложена модель жизненного цикла артефакта, которая содержит набор характеризующих артефакт атрибутов, а также упорядоченную последовательность действий по обработке артефакта в рамках одного экземпляра бизнес-процесса, что обеспечивает возможность непрерывного поэтапного усовершенствования ЗБП путем адаптации последовательности действий в рамках жизненного цикла артефакта.

#### Список литературы

1. *Vom Brocke J.* Handbook on Business Process Management 1. Introduction, Methods, and Information Systems / *J. vom Brocke, M. Rosemann.* – Berlin: Springer-Verlag, 2015. – 709 p.
2. *Weske M.* Business Process Management: Concepts, Languages, Architectures. Second Edition / *M. Weske.* – Berlin: Springer-Verlag, 2012. – 403 p.
3. *Gronau N.* KMDL-Capturing, Analysing and Improving Knowledge-Intensive Business Processes / *N. Gronau, C. Müller, R. Korff* // Journal of Universal Computer Science. – 2005. – № 11 (4). – P. 452–472.

4. Gronau N. Modeling and Analyzing knowledge intensive business processes with KMDL: Comprehensive insights into theory and practice (English/ N. Gronau. – Gito, 2012. – 522 p.
5. Cohn D. Business artifacts: A data-centric approach to modeling business operations and processes/ Cohn D, Hull R. // IEEE Data Eng. Bull. – 2009. – № 32. – P. 3–9.
6. Bhattacharya K. Artifact-centered operational modeling: Lessons from customer engagements / K. Bhattacharya, N. S. Caswell, S. Kumaran, A. Nigam, F. Y. Wu // IBM Systems Journal. – 2007. – № 46 (4). – P. 703–721.
7. Nigam A. Business artifacts: An approach to operational specification / A. Nigam, N. S. Caswell // IBM Systems Journal. – 2003. – № 42 (3). – P. 428–445.
8. Hull R. Business Artifacts with Guard-Stage-Milestone Lifecycles: Managing Artifact Interactions with Conditions and Events / R. Hull // DEBS. – 2011. – P. 51–62.
9. Müller D. Data-driven modeling and coordination of large process structures / D. Müller, M. Reichert, J. Herbst // Springer. – LNCS. – Vol. 4803. – P. 131–149.
10. Fahland D. Many-to-many: Some observations on interactions in artifact choreographies / D. Fahland, De Leoni, M. Van Dongen, van der Aalst W. M. P. // 3rd Central-European Workshop on Services and their Composition(ZEUS), 2011. – Режим доступа: <http://ceur-ws.org/Vol-705/paper1.pdf>. – Дата обращения: 14 ноября 2016.
1. Vom Brocke J. *Handbook on Business Process Management 1. Introduction, Methods, and Information Systems*. Berlin, Springer-Verlag Publ., 2015. 709 p.
2. Weske M. *Business Process Management: Concepts, Languages, Architectures*. Berlin, Springer-Verlag Publ., 2007. 368 p.
3. Gronau N., Müller C., Korf R. KMDL-Capturing, Analysing and Improving Knowledge-Intensive Business Processes. *Journal of Universal Computer Science*. 2005. no. 11 (4), pp. 452–472.
4. Gronau N. *Modeling and Analyzing knowledge intensive business processes with KMDL: Comprehensive insights into theory and practice* (English), Gito, 2012. 522 p.
5. Cohn D., Hull R. Business artifacts: A data-centric approach to modeling business operations and processes. *IEEE Data Eng. Bull.* 2009, no. 32, pp. 3–9.
6. Bhattacharya K., Caswell N. S., Kumaran S., Nigam A, Wu F. Y. Artifact-centered operational modeling: Lessons from customer engagements. *IBM Systems Journal*. 2007, no. 46 (4), pp. 703–721.
7. Nigam A. Caswell N. S. Business artifacts: An approach to operational specification. *IBM Systems Journal*. 2003, no. 42 (3), pp. 428–445.
8. Hull R. Business Artifacts with Guard-Stage-Milestone Lifecycles: Managing Artifact Interactions with Conditions and Events. *DEBS*. 2011, pp. 51–62.
9. Müller D., Reichert M., Herbst J. Data-driven modeling and coordination of large process structures, Springer. *LNCS*. Vol. 4803, pp. 131–149.
10. Fahland D., De Leoni, M., Van Dongen, B. F., van der Aalst, W.M.P. Many-to-many: Some observations on interactions in artifact choreographies, *3rd Central-European Workshop on Services and their Composition (ZEUS)*. 2011. Available at: <http://ceur-ws.org/Vol-705/paper1.pdf>. (accessed 14.11.2016)

#### References

Поступило (received) 16.11.2016

#### Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

**Ієрархічна модель контексту знання-ємного бизнес-процесу / В. М. Левикін, О. В. Чала** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – X. : НТУ «ХПІ», 2016. – № 37 (1209). – С. 43–47. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-0023.

**Ієрархическая модель контекста знание-емкого бизнес-процесса / В. М. Левыкин, О. В. Чала** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 37 (1209). – С. 43–47. – Библиогр.: 10 назв. – ISSN 2079-0023.

**Hierarchical model of context of knowledge-intensive business process / V. M. Levykin, O. V. Chala** // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov : NTU "KhPI", 2016. – No. 37 (1209). – P. 43–47. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-0023.

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Левикін Віктор Макарович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних управляючих систем Харківського національного університету радіоелектроніки, м. Харків, тел.: (057) 702-14-51; e-mail: [levykinvictor@gmail.com](mailto:levykinvictor@gmail.com).

**Чала Оксана Вікторівна** – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних управляючих систем Харківського національного університету радіоелектроніки, м. Харків, тел.: (057) 702-14-51; e-mail: [oksana.chala@nure.ua](mailto:oksana.chala@nure.ua).

**Левыкин Виктор Макарович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационных управляющих систем Харьковского национального университета радиоэлектроники, г. Харьков, тел.: (057) 702-14-51; e-mail: [levykinvictor@gmail.com](mailto:levykinvictor@gmail.com).

**Чала Оксана Викторовна** – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры информационных управляющих систем Харьковского национального университета радиоэлектроники, г. Харьков, тел.: (057) 702-14-51; e-mail: [oksana.chala@nure.ua](mailto:oksana.chala@nure.ua).

**Levykin Viktor** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Information Control Systems of the Kharkiv National University of Radioelectronics, c. Kharkiv, (057) 702-14-51; e-mail: [levykinvictor@gmail.com](mailto:levykinvictor@gmail.com).

**Chala Oksana** – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Control Systems of the Kharkiv National University of Radioelectronics, c. Kharkiv, (057) 702-14-51; e-mail: [oksana.chala@nure.ua](mailto:oksana.chala@nure.ua).

УДК 519.876.2:336

Т. В. НЕСКОРОДЕВА

**МЕТОДОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ  
ОБОБЩЕННОГО МНОГОМЕРНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ СИНТЕТИЧЕСКОГО УЧЕТА ПО  
НАПРАВЛЕНИЯМ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ПОДЧИНЕННЫМ ПРЕДПОСЫЛКАМ  
БУХГАЛТЕРСКОГО УЧЕТА**

Визначені етапи, що закладаються в основу методології створення і застосування інформаційної технології узагальненого багатовимірного аналізу даних синтетичного обліку по напрямках перетворень, які підпорядковуються передумовам бухгалтерського обліку. Розроблена функціональна схема методології, що визначає послідовність реалізації етапів узагальненого багатовимірного аналізу по передумовах і по підмножинах витрат і доходів. Відповідно до етапів і функціональної схеми методології, визначені її структурні складові.

**Ключові слова:** узагальнений багатовимірний аналіз, інформаційна технологія, передумови бухгалтерського обліку, синтетичний облік, множина фальсифікацій, методологія

Определены этапы, закладываемые в основу методологии создания и применения информационной технологии обобщенного многомерного анализа данных синтетического учета по направлениям преобразований, подчиненных предпосылкам бухгалтерского учета. Разработана функциональная схема методологии, определяющая последовательность реализации этапов обобщенного многомерного анализа по предпосылкам и по подмножествам расходов и доходов. В соответствии с этапами и функциональной схемой методологии, определены ее структурные составляющие.

**Ключевые слова:** обобщенный многомерный анализ, информационная технология, предпосылки бухгалтерского учета, синтетический учет, множество фальсификаций, методология.

The stages put in fundamentals of an information technology of the creation and application methodology of the generalized multivariate data analysis of the synthetic account in the directions of the conversions subordinated to accounting pre-conditions are defined. The functional diagram of methodology determining the stages implementation sequence of the generalized multivariate analysis by pre-conditions and by subsets of expenditures and income is developed. According to the stages and the functional diagram of methodology structural components are defined: a technique of functional structures formation of the data transformations of expenditures and income which characterizes multivariate (to the third order inclusively) conversions in the directions to the subordinate pre-conditions directions: completeness, periodicity and to their combinations; a technique of the functional structure formation of data transformations of the enterprise activity reflecting multivariate (to the fourth order inclusively) conversions in the directions containing the section subordinated to the fourth pre-condition "compliance of the income and expenditures"; a technique of the choice alternatives formalization of the compared subsets characterizing data analysis depending on audit tasks, features of activities and the control system at the enterprise; technique of determination of the generalized data subsets regularities and their compliance for the compared subsets in case of multivariate conversions which characterize regularities of the enterprise activities; formalization of sets comparison criteria of the generalized estimates to the actual data; a compliance establishment technique between violation of the generalized regularities and existence of sets of falsifications.

**Keywords:** generalized multidimensional analysis, information technology, accounting preconditions, synthetic accounting, set of falsifications, methodology.

**Введение.** В настоящее время актуальной научно-технической проблемой финансово-экономической сферы является автоматизация выполнения функций и заданий обработки информации при аудите финансово-экономической деятельности предприятий [1] средствами информационных технологий.

Существующие на сегодняшний день ИТ аудита позволяют автоматизировать только отдельные процедуры или провести аналитические процедуры в специальных случаях [2, 3]. Группа методов обнаружения мошенничества основанная на применении моделей нейронных (вероятностных) сетей, логистических регрессий, деревьях решений, представлена в работах [4–6].

Актуальной проблемой является разработка методологических основ ИТ обработки информации при аудите, которые позволили бы проводить комплексный многоуровневый обобщенный анализ предметной области и при этом были бы универсальными при решении общих проблем аудита для разных классов предприятий (например, проверка соблюдения предпосылок положений (стандартов) бухгалтерского учета (П(с)БУ)) и имели функции настройки с учетом специфики объекта аудита.

В работе [7] определены подмножества анализа данных синтетического учета деятельности предприятия  $Q$  на верхнем уровне и последовательности их преобразований по направлениям подчиненным четырем законодательно утвержденными предпосылками П(с)БУ: осмотрительность ( $\Pi_1$ ), полнота ( $\Pi_2$ ), периодичность ( $\Pi_3$ ), соответствие расходов и доходов ( $\Pi_4$ ). Проблемы аудита формализованы в виде выявления множеств фальсификаций  $Q^\Phi$  (или с признаками фальсификаций) на основании обобщенного анализа подмножеств данных деятельности предприятия  $Q$  при преобразованиях по направлениям подчиненным предпосылкам  $\Pi_d$ ,  $d = \overline{1,4}$ . Под обобщенным анализом понимается анализ структуры, свойств и др. характеристик множеств и их соответствия при преобразованиях по данным направлениям. Для комплексного анализа по нескольким предпосылкам необходимо сопоставлять подмножества, которые принадлежат последовательностям по комбинациям предпосылок  $D$  ( $D$  – множество размещений из четырех предпосылок ( $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4$ ) по одной, две,



три и четыре), т. е. реализовать многомерный анализ данных по направлениям преобразований подчиненным предпосылкам П(с)БУ и их комбинациям.

**Цель статьи:** разработать методологию создания и применения информационной технологии обобщенного многомерного анализа данных синтетического учета по направлениям преобразований подчиненным предпосылкам бухгалтерского учета и их комбинациям  $D$ . Для этого необходимо решить следующие задачи:

- определить этапы, закладываемые в основу методологии;
- разработать функциональную схему;
- определить структурные составляющие методологии.

**1. Этапы методологии создания и применения информационной технологии обобщенного многомерного анализа данных синтетического учета.** Выявление множеств фальсификаций на основании формализации проблем аудита в [7] с учетом реализации комплексного анализа, описанного выше предполагает выполнение следующих этапов, закладываемых в основу методологии обобщенного многомерного анализа по направлениям преобразований подчиненных предпосылкам П(с)БУ:

- формирование функциональной структуры множества данных деятельности предприятия  $Q$ , отражающей многомерные преобразования по направлениям подчиненным предпосылкам  $\Pi_d$ ,  $d = \overline{1,4}$  и их комбинациям  $D$ ;
- формализация альтернатив выбора сопоставляемых подмножеств, характеризующих анализ данных в зависимости от задач аудита, особенностей деятельности и системы контроля на предприятии;
- определение обобщенных закономерностей подмножеств данных и их соответствия для сопоставляемых подмножеств при многомерных преобразованиях, которые характеризуют закономерности деятельности предприятия;
- определение множеств обобщенных оценок по закономерностям, определенным в пункте 3;
- формализация критериев сопоставления множеств обобщенных оценок, определенных в пункте 4 с фактическими данными;
- установление соответствия между нарушением обобщенных закономерностей и существованием множеств фальсификаций  $Q^\Phi$ .

Для реализации перечисленных этапов необходимо разработать соответствующие методики, которые будут структурными элементами методологии. Для этого рассмотрим последовательность и особенности реализации перечисленных выше этапов при обобщенном многомерном анализе данных деятельности предприятия.

**2. Функциональная схема методологии обобщенного многомерного анализа данных деятельности предприятия по направлениям преобразований подчиненных предпосылкам бухгалтерского учета.**

Сущность методологии обобщенного многомерного анализа данных по направлениям преобразований подчиненных предпосылкам  $\Pi_d$ ,  $d = \overline{1,4}$  и их комбинациям  $D$ , согласно перечисленным этапам можно представить в виде функциональной блок-схемы (рис. 1). Для этого множество данных  $Q$  хозяйственных операций Оп на верхнем уровне представим в виде объединения непересекающихся подмножеств расходов  $Q_p$  и доходов  $Q_d$ . Преобразование данных между данными подмножествами формализуем с помощью отображения  $\Psi_p^d$ :

$$\exists Q_p \wedge Q_d : (Q = Q_p \cup Q_d) \wedge (Q_p \cap Q_d = \emptyset) \wedge (\exists \Psi_p^d : Q_p \rightarrow Q_d). \quad (1)$$

Для работы системы, в базе знаний формируются модели определенные в пунктах 1, 2 и 3, в базу данных импортируются данные финансовой отчетности и учета.

В блоке 1 осуществляется формирование функциональной структуры  $Q_{\tau_p}$  множества расходов  $Q_p$ , которая характеризует трехмерные преобразования подмножеств по направлениям подчиненным предпосылкам  $\Pi_d$ ,  $d = \overline{1,3}$  и их комбинациям  $D_{1,2,3}$  ( $D_{1,2,3}$  - множество размещений из множества трех предпосылок ( $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3$ ) по одной, по две и три). На основании структурных моделей из разделов базы знаний оценивается множество обобщенных закономерностей подмножеств структуры расходов  $Z_{\tau_p}$  и множество обобщенных закономерностей  $Z_{\tau_p}^{D_{1,2,3}}$  при их многомерных (до третьего порядка включительно) преобразованиях.

Аналогично осуществляется обобщенный анализ множества доходов  $Q_d$  (блок 2).

В блоке 3 на основании данных блоков 1 и 2 определяется множество обобщенных закономерностей  $Z_Q^D$  при многомерных преобразованиях множеств структур расходов  $Q_{\tau_p}$  и доходов  $Q_{\tau_d}$  по направлениям, содержащим участок, подчиненный четвертой предпосылке «соответствие доходов и расходов».

В блоке 4 определяются пары сопоставляемых подмножеств  $A \in Q_{\tau_p} \cup Q_{\tau_d}$ ,  $B \in Q_{\tau_p} \cup Q_{\tau_d}$ , обобщенные оценки  $\hat{Z}_{\tau_p}^{D_{1,2,3}}$ ,  $\hat{Z}_{\tau_d}^{D_{1,2,3}}$ ,  $\hat{Z}_Q^D$  и множества отклонений  $\Delta \hat{Z}_Q^D$  обобщенных оценок от фактических данных на основании обобщенных закономерностей сформированных в блоках 1–3.

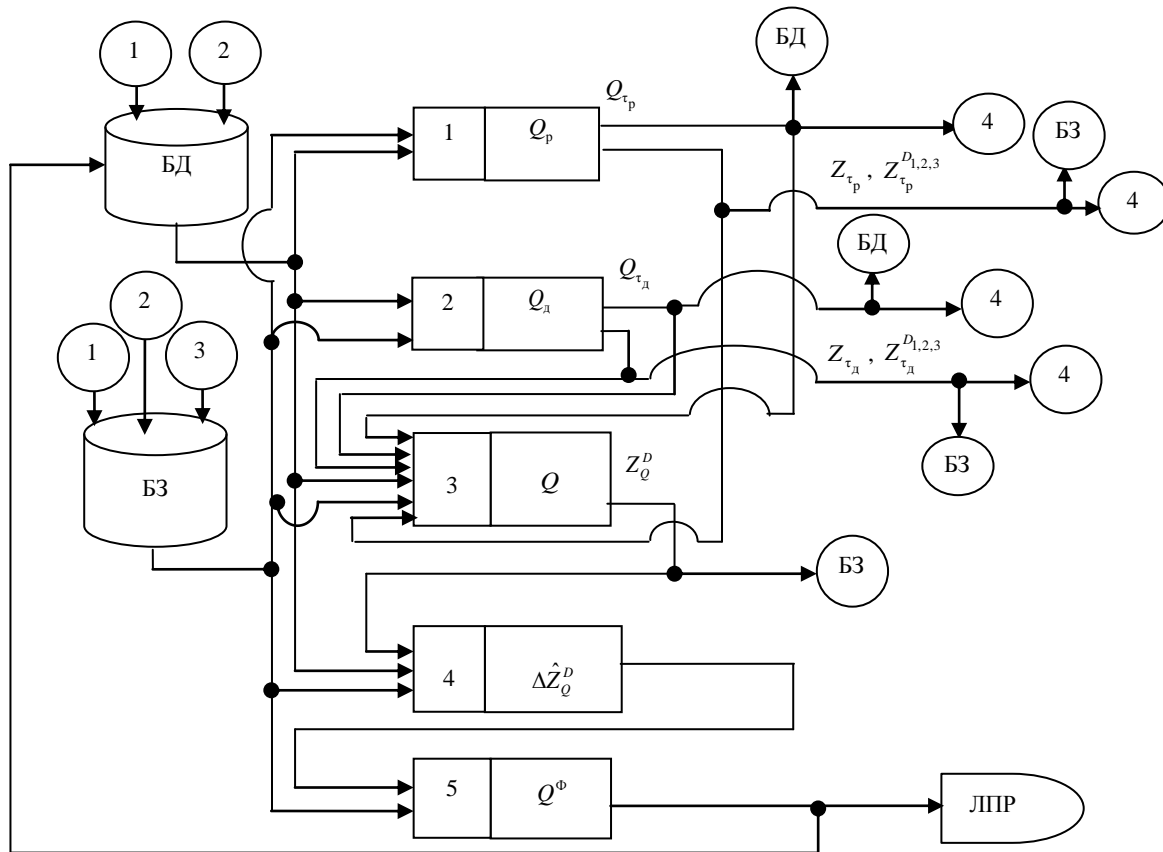


Рис. 1 – Блок-схема методології обобщенного многомерного анализа данных по преобразованиям подчиненным предпосылкам П(с)БУ

В блоке 5 по данным множеств отклонений  $\Delta \hat{Z}_Q^D$ , полученных в блоке 4, делается вывод о наличии множеств фальсификаций  $Q^\Phi$ . Выявленные множества фальсификаций поступают ЛПР и заносятся в соответствующий раздел базы данных. Сформированные в блоках 1 и 2 структуры поступают в соответствующий раздел базы данных. Сформированные в блоках 1–3 множества обобщенных закономерностей поступают в соответствующий раздел базы знаний. Выявленные несоответствия на верхнем уровне являются основанием углубленного анализа на среднем уровне (данных аналитического учета).

**3. Основные структурные составляющие методологии обобщенного многомерного анализа данных деятельности предприятия по направлениям преобразований подчиненных предпосылкам П(с)БУ в ИТ аудита.** На основании выделенных этапов и предложенной обобщенной схемы определим основные структурные составляющие методологии:

- методика формирования функциональных структур преобразований данных расходов  $Q_p$  и доходов  $Q_d$ , которые характеризуют многомерные (до третьего порядка включительно) преобразования по направлениям подчиненным предпосылкам  $P_d$  ( $d = \overline{1,3}$ ) и их комбинациям  $D_{1,2,3}$ ;

- методика формирования функциональной структуры преобразований данных деятельности предприятия  $Q$ , отражающей многомерные (до четвертого порядка включительно) преобразования по направлениям, содержащим участок, подчиненный четвертой предпосылке «соответствие доходов и расходов»;
- методика формализации альтернатив выбора сопоставляемых подмножеств, характеризующих анализ данных в зависимости от задач аудита, особенностей деятельности и системы контроля на предприятии;
- методика определения обобщенных закономерностей подмножеств данных и их соответствия для сопоставляемых подмножеств при многомерных преобразованиях, которые характеризуют закономерности деятельности предприятия;
- формализация критериев сопоставления множеств обобщенных оценок с фактическими данными;
- методика установления соответствия между нарушением обобщенных закономерностей и существованием множеств фальсификаций.

**Выводы.** Предложенная методология многомерного обобщенного анализа данных синтетического учета позволяет использовать ее в ИТ аудита для автоматизации анализа данных финансовой отчет-

ности и при выявлении признаков и фактов нарушения П(с)БУ.

Для дальнейшей разработки методологии необходимо разработать методики, которые являются ее структурными элементами.

#### Список литературы

1. *Xinli Hu*. Effectiveness of information technology in reducing corruption in China / *Xinli, Hu* // *Electronic Library*, 2015 - Vol. 33, - Issue 1. - p. 52–64.
2. *Андренко Е. А.* Методика атрибутивного выборочного исследования в аудите / *Е. А. Андренко, С. М. Мордовцев* // *Бизнес Информ*, 2013. - № 2. - С. 200–203.
3. *Ивахненко С. В.* Информационные технологии аудита и внутрихозяйственного контроля в контексте мировой интеграции : монография / *С. В. Ивахненко* – Житомир : ЧП «Рута», 2010. - 432 с.
4. *Jarrold West*. Intelligent Financial Fraud Detection Practices: a comprehensive review / *West Jarrold, M Bhattacharya and R Islam* // *Computers & Security*, 2016. – Vol. 57. – P. 47–66.
5. *Chi-Chen Lin*. Detecting the financial statement fraud: The analysis of the differences between data mining techniques and experts' judgments / *Lin Chi-Chen, Chiu An-An, Yan Huang Shaio, C. Yen. David* // *Knowledge-Based Systems*, 2015. - № 89. - P. 459–470.
6. *Mohiuddin Ahmeda*. A survey of anomaly detection techniques in financial domain / *A. Mohiuddin, N. Mahmooda Abdun, Md. Rafiqul Islam* // *Future Generation Computer Systems*, 2016. - № 55. - P. 278–288.
7. *Нескорородева, Т. В.* Методика моделирования проблем аудита синтетического учета в информационных технологиях обработки информации и управления / *Т. В. Нескорородева* //

Радиоелектронні і комп'ютерні системи, 2015, № 2 (72) – С. 155–158.

#### References (transliterated)

1. *Xinli Hu*. Effectiveness of information technology in reducing corruption in China / *Xinli, Hu* // *Electronic Library*. 2015, vol. 33, issue 1. pp. 52–64.
2. *Andrenko E. A. Mordovtsev S. M.* Metodika atributivnogo vyborochnogo issledovaniya v audite [Methods of attributive sampling research in audit]. *Biznes Inform*. 2013, no. 2, pp. 200–203.
3. *Ivakhnenkov S. V.* *Informatsionnye tekhnologii audita i vnutrikhozyaystvennogo kontrolya v kontekste mirovoy integratsii : monografiya* [Information technology of the audit and internal control in the context of world integration : monograph]. Zhitomir. ChP "Ruta" Publ., 2010. 432 p.
4. *Jarrold West, Bhattacharya M., Islam R.* Intelligent Financial Fraud Detection Practices: a comprehensive review. *Computers & Security*. 2016, vol. 57, pp. 47–66.
5. *Chi-Chen Lin, Chiu An-An, Shaio Yan Huang, David C. Yen.* Detecting the financial statement fraud: The analysis of the differences between data mining techniques and experts' judgments. *Knowledge-Based Systems*. 2015, no. 89, pp. 459–470.
6. *Mohiuddin Ahmeda, Mahmooda Abdun N, Rafiqul Islam Md.* A survey of anomaly detection techniques in financial domain. *Future Generation Computer Systems*. 2016, no. 55, pp. 278–288.
7. *Neskorodeva T. V.* Metodika modelirovaniya problem audita sinteticheskogo ucheta v informatsionnykh tekhnologiyakh obrabotki informatsii i upravleniya [The modeling technique of synthetic accounting audit issues in information technology of information processing and management]. *Radioelektronni i komp'yuterni sy'stemy*'. 2015, no. 2 (72), pp. 155–158.

Поступила (received) 05.04.2016

#### Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

**Методологія створення та застосування інформаційної технології узагальненого багатомірного аналізу даних синтетичного обліку за напрямками перетворення, що підпорядковуються передумовам бухгалтерського обліку** / *Т. В. Нескорородева* // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – X. : НТУ «ХПІ», 2016. – № 37 (1209). – С. 48–51. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2079-0023.

**Методология создания и применения информационной технологии обобщенного многомерного анализа данных синтетического учета по направлениям преобразований подчиненным предпосылкам бухгалтерского учета** / *Т. В. Нескорородева* // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 37 (1209). – С. 48–51. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2079-0023.

**Creating and application methodology of the information technology of generalized multidimensional analysis of synthetic accounting data in transformation areas are subordinated accounting preconditions** / *T. V. Neskorodieva* // *Bulletin of NTU "KhPI"*. Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov : NTU "KhPI", 2016. – No. 37 (1209). – С. 48–51. – Бібліогр.: 7. – ISSN 2079-0023.

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Нескорородева Тетяна Василівна** – кандидат технічних наук, доцент, Донецький національний університет, Вінниця, доцент кафедри математики і математичних методів в економіці; тел.: (050) 137-75-20; e-mail: t.neskorodieva@donnu.edu.ua.

**Нескорородева Татьяна Васильевна** – кандидат технических наук, доцент, Донецький національний університет, Вінниця, доцент кафедри математики і математических методів в економіке; тел.: (050) 137-75-20; e-mail: t.neskorodieva@donnu.edu.ua.

**Neskorodieva Tatiana Vasilevna** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Donetsk national University, Associate Professor at the Department of mathematics and mathematical methods in Economics; tel.: (050) 137-75-20; e-mail: t.neskorodieva@donnu.edu.ua.

УДК 004.82

**И. В. ЛЕВЫКИН****АЛГОРИТМ ВЫБОРА И КОРРЕКТИРОВКИ МОДЕЛИ ПРЕЦЕДЕНТА АНАЛОГА В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ БИЗНЕС ПРОЦЕССАМИ**

Застосовується прецедентний підхід, заснований на використанні і адаптації існуючих рішень функціональних завдань. Процесу пошуку прецеденту має на увазі порівняння ознак моделей прецедентів у вигляді послідовності рішень. Розроблено алгоритм вибору і коригування моделі прецеденту аналога по її відповідності моделі поточного прецеденту. Сформульовано процедура індексування ознак моделлю прецеденту враховує специфіку предметних галузей дослідження, що дозволяє визначити ступінь близькості прецедентів. Якщо моделі прецедентів збігаються не повністю то особа, яка приймає рішення, робить висновок про відмову від моделі аналога або здійснюється її коригування.

**Ключові слова:** прецедентний підхід, інформаційна система, дискретний процес, індекс ознаки.

Применяется прецедентный подход, основанный на использовании и адаптации существующих решений функциональных задач. Процесс поиска прецедента подразумевает сравнение признаков моделей прецедентов в виде последовательности решений. Разработан алгоритм выбора и корректировки модели прецедента аналога по ее соответствию модели текущего прецедента. Сформулирована процедура индексирования признаков модели прецедента учитывающая специфику предметных областей исследования, которая позволяет определить степень близости прецедентов. Если модели прецедентов совпадают не полностью, то лицо принимающее решение делает вывод об отказе от модели аналога или осуществляется ее корректировка.

**Ключевые слова:** прецедентный подход, информационная система, дискретный процесс, индекс признаки.

Used a case-based reasoning approach based on the use of existing solutions. The search process involves comparing a case-based reasoning signs case-based reasoning models. These models are presented in the form of a sequence of solutions. The complexity of determining the proximity of case-based reasoning associated with the dimension of the search space. Therefore, use a variety of approaches, methods and techniques to narrow this space. On a set of features of the image of this case-based reasoning, it is carried out a comparison with images of similar cases. Used algorithm for selecting and adjusting the analog model case-based reasoning for its compliance with the current model of case-based reasoning. Use the template module generalized case-based reasoning structure. Formulated a procedure indexing features case-based reasoning model. This procedure takes into account the specificity of the subject areas of research that is used to determine the proximity of case-based reasoning. If the use case model does not fully match that concludes that the rejection of the analog model or its adjustment is carried out

**Keywords:** Case-based reasoning, information systems, discrete process, signs index.

**Введение.** При решении функциональных задач информационной системой (ИС) целесообразным представляется использование процессного подхода к моделированию рассуждений на основе прецедентов. Моделирование рассуждений на основе прецедентов позволяет использовать имеющиеся знания и опыт при решении текущих проблем даже в случае некоторых отличий между уже решенными и текущими задачами.

При использовании процессного подхода решение задачи представляется в форме дискретного процесса либо процессов. Имеющийся опыт решения задачи отражается через наборы последовательностей событий, возникновение которых необходимо для запуска процесса решения задачи.

Процедура реализации различных по типу задач в зависимости от функциональности структурных подразделений предприятия (например маркетинговых, планирования и управления производством выпуска продукции, снабжения, сбыта и т.д.), а также от типа таких задач (структурированных, частично структурированных и неструктурированных), требует больших временных и материальных затрат. Это связано с тем, что сам процесс решения задачи предусматривает, прежде всего, изучение особенностей предметной области, для которой необходимо получить решение, определить тип задачи, требуемые входные и выходные данные, разработать математическую модель, алгоритм и прикладную программу ее реализации. Для преодоления указанных трудностей используется

прецедентный подход, основанный на использовании и адаптации существующих решений функциональных задач. Ключевым элементом прецедента является решение задачи, которая в рамках обозначенного множества функциональных задач представляется в форме последовательности взаимосвязанных действий.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Научное направление, связанное с использованием ранее накопленного опыта при решении задач развивается уже несколько десятилетий. Одной из первых была предложена модель организации памяти и предоставления знаний на основе прецедентного подхода CBR (Case-based reasoning) Методы рассуждения на основе прецедентов (CBR – Case-Based Reasoning) и CBR-системы успешно используются в различных областях человеческой деятельности, прецедентный подход активно применяется в динамических ИС, в системах экспертного диагностирования, поддержки принятия решений (ИСППР), машинного обучения, в информационно-поисковых системах при решении задач прогнозирования, обобщения накопленного опыта [1]. Основой такого подхода является применение аналогов проектных решений для реализации новых функциональных задач [2–6]. В рамках данного подхода прецедент рассматривается как структурированное представление накопленного опыта в виде данных и знаний, обеспечивающее его последующую обработку с использованием специализированных информационных систем [7]. Структурированное

представление прецедента подразумевает наличие описание проблемы или задачи и совокупности действий, направленных на решение новой задачи или устранение проблемной ситуации. Однако в настоящее время не исследованы вопросы, связанные с разработкой общего подхода к построению прецедента для различных предметных областей на основе формализации процесса решения задачи в виде последовательности взаимосвязанных действий и отражающих их событий.

Постановка задачи исследования. Задача данной работы состоит в разработке алгоритма выбора и корректировки модели прецедента аналога по ее соответствию модели текущего прецедента. Это даст возможность лицу принимающее решение сделать вывод об отказе от модели аналога или осуществить ее корректировку, что существенно сокращает ресурсы и время на получение адекватной модели управления бизнес процессом.

Алгоритм выбора и корректировки модели прецедента-аналога. Для того, чтобы использовать прецедент как аналог, необходимо определение подобия моделей прецедентов-аналогов ( $M_n^a$ ) и текущего прецедента ( $M_n^m$ ). Близость этих прецедентов фактически определяется подобием их моделей с использованием соответствующих метрик.

Учитывая характеристики прецедента, такие как особенности предметной области, описание задачи для которой разработан прецедент, множество описаний решений задачи, вид полученного результата решения модель его структуры представим кортежем следующего вида:

$$M_n = \langle PO, Z, P, PC, PP \rangle, \quad (1)$$

где  $PO$  – описание предметной области, в которой рассматривается применение прецедента; данное описание фактически задает ограничения на возможные способы решения задачи;

$Z$  – описание проблемы либо функциональной задачи, для решения которой разработан прецедент;

$P$  – множество описаний процессов решения задачи  $Z$ , которое может быть применено для реализации подобной задачи в будущем;

$PC$  – ресурсы, используемые для реализации задачи

$PP$  – полученный результат решения задачи (форма выходного документа).

Описание решения задачи  $P$  представляется в виде набора процессов  $P_i$ , которые уже были выполнены при решении задачи, входящей в состав прецедента.

Процесс поиска прецедента подразумевает сравнение признаков моделей прецедентов в виде последовательности решений.

Для получения требуемого результата, прежде всего, необходимо определить параметры признаков в виде соответствующих индексов. Эта процедура зависит от специфики предметной области (ПО), множества ее бизнес процессов, которые поддерживаются процессами решения соответствующих функ-

циональных задач (например, решение маркетинговых задач, определение портфеля заказов на полиграфическую продукцию, оценки технического состояния оборудования используемое в производственном процессе и т. д.) Естественно требуется выбрать такие индексы для признаков, которые в полной мере учитывали бы специфику таких задач относительно соответствующей предметной области. В [1] приведены четыре характеристики индексов признаков:

1. Направленность: индексы должны быть направлены на решение цели.

2. Абстрактность: индексы должны быть достаточно абстрактны, чтобы прецедент мог быть использован в разных запросах.

3. Конкретность: индексы должны быть распознаваемы в других ситуациях без дальнейшей обработки.

4. Полноценность: индексы должны быть способны дифференцировать прецеденты

Исследуя, например особенности информационной системы управления полиграфическим предприятием (ИСУПП) в рамках ее функциональных подсистем (маркетинга, планирования, оценки состояния оборудования и т.д.), можно сделать вывод о том, что для соответствующих подсистем и задач необходимо использовать различные виды индексов. Например, индекс признак оборудования (готовность, отказ, поврежденность) может иметь булево значение 0 или 1, а для организационных задач необходима более расширенная формулировка признаков модели прецедента. Для этого используя нотации методологии SSADM, представим спецификацию прецедента в виде шаблона (паттерна) модуля обобщенной структуры прецедента с описанием взаимосвязи входных, выходных, управляющих параметров (действий) и используемых ресурсов. Данный паттерн представлен на рис. 1.

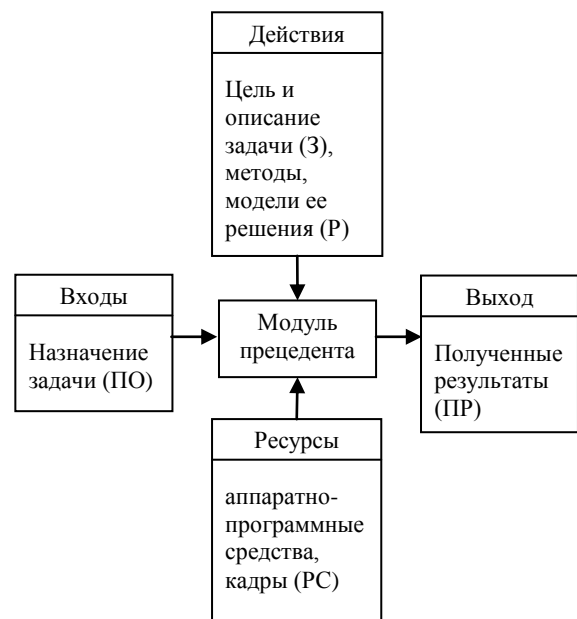


Рис. 1 – Шаблон модуля обобщенной структуры прецедента

Входами модуля являются данные о назначении задачи, реализуемой в определенной предметной области (ПО); действия это параметры содержат информацию о цели и описании задачи (З), а также методах, моделях ее решения (Р); данные о ресурсах содержит информацию об инструментальных, программно-аппаратных средствах, специалистах, обеспечивающих процесс решения задачи (Р), а выходные параметры содержат данные о результатах решения задачи (РР).

Такая структура модуля позволяет описывать спецификации как текущего, так и прецедента-аналога для различных предметных областей, определяемых спецификой решаемых функциональных задач, а, следовательно и функциональностью ИС.

Поэтому индекс признака должен учитывать его свойства (s), значение (a), важность (b), ограничения (c) на свойства признаков и т.д.

Естественно, что индексирование относится к каждому признаку (компоненту) модели прецедента, как видно из рис.2.

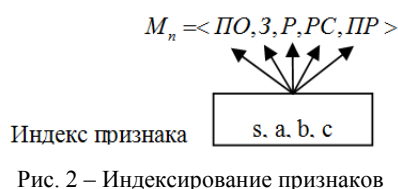


Рис. 2 – Индексирование признаков

Важность индексирования признаков прецедентов связана с тем, что они будут занесены в базу данных или знаний в зависимости от их представления в виде текста, фрейма или числа. Формализация индексов признаков в виде их атрибутов осуществляется экспертами, в качестве которых выступают конечные пользователи, имеющие полное представление о предметной области, в которой реализуются функциональные задачи.

Формирование атрибутов признаков дает возможность представить прецедент в виде образов прецедентов аналогов и текущего прецедента, что позволяет осуществить процедуру определения их близости или подобия по каждому признаку. Для этого вводится метрика всех признаков каждого из прецедентов (образов) с последующим их сравнением.

Существуют различные метрики определения близости образов, применяемые в различных предметных областях, к которым относятся: Евклидово пространство, Манхэттенская метрика с количественным типом признаков и т.д.

Данные метрики используются в следующих системах вывода по прецедентам: CYRUS, CHEF, PROTOS, KATE TOOLS, в программных продуктах CBR Express и CASE Point, Argion, DP Umbrella, применяемых в различных предметных областях, связанных, например, с определением перспективных исследований, диагностических систем, а также в системах планирования, принятия решений по аналогии Prodigy/Analogy [2], экспертных системах [3, 4].

Сложность определения близости прецедентов связана, прежде всего, с размерностью пространства

поиска, поэтому применяют различные подходы, методы, методики, позволяющие сузить это пространство, стягивая пространство образов в виде гиперкуба. Тогда по набору признаков образа текущего прецедента, попадающего в область гиперкуба, осуществляется его сравнение с образами схожих прецедентов. Для реализации этого процесса все образы прецедентов-аналогов разбиваются на определенные классы. При этом должна учитываться неопределенность признаков, которые определяются и устанавливаются разработчиками (системными аналитиками) информационной системы. Это объясняется тем, что только они понимают все аспекты процесса решения задачи, начиная с постановки задачи, ее решения и реализации разработанной прикладной программы с использованием компонентов компьютерной сети.

Близость между образами текущего прецедента и прецедента-аналога определяется как функция расстояния между признаками [5]:

$$d(\bar{a}, \bar{b}) = \sum_{i=1}^N w_i n(a_i, b_i) / N, \quad (2)$$

$$n(a_i, b_i) = \begin{cases} \text{количественные} & \begin{cases} 1, \text{ если } (a_i - b_i) < \xi \\ 0, \text{ иначе} \end{cases} \\ \text{качественные} & \begin{cases} 1, a_i = b_i \\ 0, a_i \neq b_i \end{cases} \end{cases}$$

где  $w_i$  – весовой коэффициент признака, определяемый экспертами,  $n(a_i, b_i)$  – функция сравнения значений признаков (наличие признака – 1, отсутствие – 0),  $N$  – количество признаков,  $\xi$  – ограничения на отличие значений признаков.

Так как признаки имеют различную природу установления, то необходимо провести их нормирование:

$$a_{ik} \rightarrow \frac{a_{ik} - \min_k a_{ik}}{\max_k a_{ik} - \min_k a_{ik}}. \quad (2)$$

Одной из проблем выбора прецедента-аналога из соответствующей БД прецедентов является ее размерность. Однако, учитывая специфику функциональности ИСУПП, определяемой количеством функциональных подсистем и входящих в них функциональных задач снизим проблему размерности процедурой поиска прецедента-аналога по признакам текущего прецедента. При этом, при формировании БД прецедентов-аналогов, должно выполняться условие наличия у них одинаковых признаков. Следовательно, образы текущих прецедентов должны иметь такие же признаки. Тогда отличие между образами прецедентов-аналогов и текущих прецедентов будет определяться значениями их признаков. Алгоритм выбора и корректировки модели текущего прецедента представлен на (рис. 3).

Кроме того, должна выполняться последовательность сравнения признаков.

Поиск прецедента по признаку предметной области ПО, т.е. определение в какой функциональной подсистеме находится функциональная задача.

Если такой образ задачи найден, то осуществляется сравнение признаков образов текущего прецедента и прецедентов-аналогов по индексам соответствующих признаков.

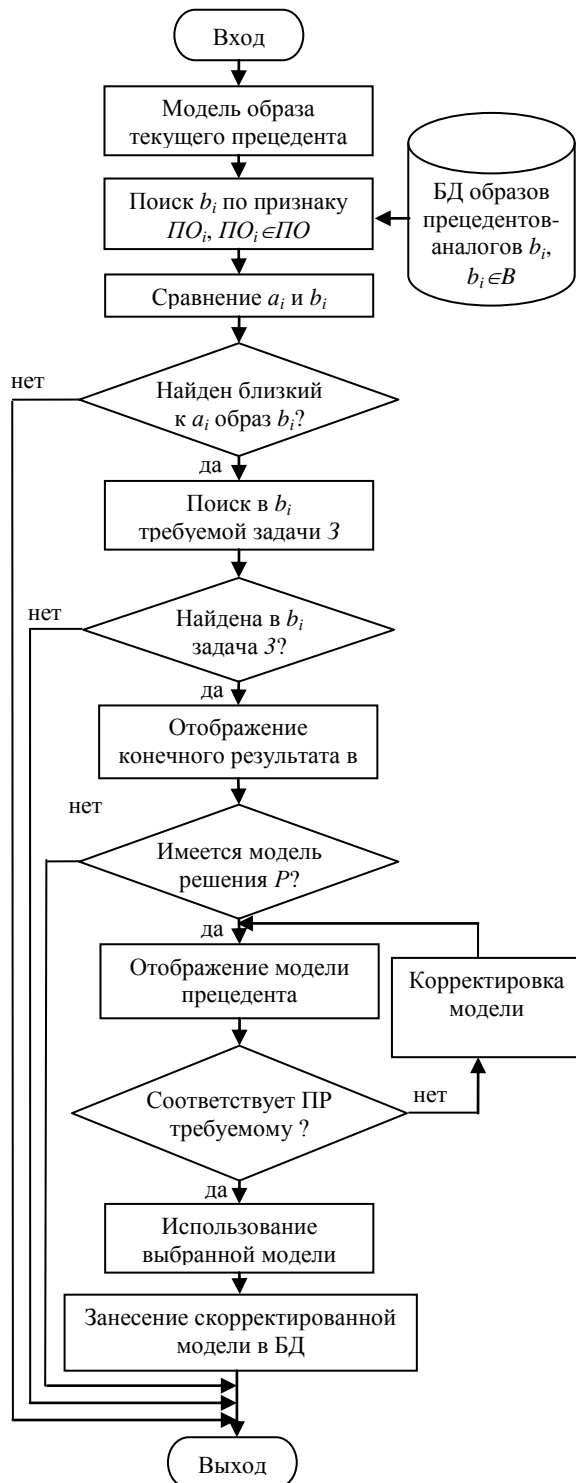


Рис. 3 – Алгоритм выбора и корректировки модели текущего прецедента

На основании полученных оценок близости образов прецедентов эксперт принимает решение об использовании модели аналога в качестве модели текущего прецедента, отказа от данной модели или ее корректировки с последующим ее занесением в БД для последующего применения

**Выводы.** В данной статье разработан алгоритм выбора и корректировки модели прецедента аналога по ее соответствию модели текущего прецедента. Для этого разработан шаблон модуля обобщенной структуры прецедента, сформулирована процедура индексирования признаков модели прецедента учитывающая специфику предметных областей исследования и позволяющая определить степень близости прецедентов. Если модели прецедентов совпадают не полностью, то лицо принимающее решение делает вывод об отказе от модели аналога или осуществляется ее корректировка, что существенно сокращает ресурсы и время на получение адекватной модели реализации функциональной задачи.

#### Список литературы

1. Kolodner J. Case-based Reasoning [Text] / J. Kolodner // – Magazine Kaufmann. San Mateo, 1993. – 386 p.
2. Weske, M. Business Process Management: Concepts, Languages, Architectures [Text] / M. Weske. – Springer Berlin Heidelberg, 2007. – 368 p.
3. Günther, C. W. Fuzzy Mining – Adaptive Process Simplification Based on Multi-perspective Metrics [Text] / C. W. Günther, W. M. P. van der Aalst // Lecture Notes in Computer Science. – Springer Science + Business Media, 2007. – P. 328–343.
4. Чалый С. Ф. Разработка обобщенной процессной модели прецедента, метода его формирования и использования [Текст] / С. Ф. Чалый, И. В. Левыкин // Журнал управляющие системы и машины. – 2016. – № 3 – С. 23–29.
5. Николайчук О. А. Применение прецедентного подхода для автоматизированной идентификации технического состояния деталей механических систем [Текст] / О. А. Николайчук, А. Ю. Юрин // Автоматизация и современные технологии. – 2009. – № 5 – С.3 – 12.
6. Maier, R. Defining process-oriented knowledge management strategies [Text] / R. Maier, U. Remus // Knowledge and Process Management. – 2002. – Vol. 9, № 2. – P. 103–118
7. Николайчук О. А. Прототип интеллектуальной системы для исследования технического состояния механических систем [Текст] / О. А. Николайчук, А. Ю. Юрин // Искусственный интеллект. – 2006. – № 4. – С. 459–468.

#### References (transliterated)

1. Kolodner J. Case-based Reasoning. – Magazine Kaufmann. San Mateo, 1993. 386 p.
2. Weske, M. Business Process Management: Concepts, Languages, Architectures. – Springer Berlin Heidelberg, 2007. 368 p.
3. Günther, C. W., van der Aalst W. M. P Fuzzy Mining – Adaptive Process Simplification Based on Multi-perspective Metrics, Lecture Notes in Computer Science. – Springer Science + Business Media, 2007, pp. 328–343.
4. Chalyy S. F., Levykin I. V. Razrabotka obobshhennoj processnoj modeli precedenta, metoda ego formirovaniya i ispol'zovaniya [The development of a generalized process model case-based reasoning, the method of its formation and use]. Zhurnal upravljajushhie sistemy i mashiny. 2016, no. 3, pp. 23–29.
5. Nikolajchuk O. A., Jurin A. Ju Prototip intellektual'noj sistemy dlja issledovaniya tehničeskogo sostojaniya mehanicheskikh sistem [intelligent system prototype for the study of the technical state of mechanical systems]. Iskusstvennyj intellekt. 2006, no. 3, pp. 459–468.

6. Nikolajchuk O.A., Primenenie precedentnogo podhoda dlja avtomatizirovannoj identifikacii tehničeskogo sostojanija detalej mehanicheskih sistem [The use case approach for the automated identification of the technical state of mechanical systems components]. *Avtomatizacija i sovremennye tehnologii*. 2009, no. 5, pp. 3–12.
7. Maier, R, Remus U. Defining process-oriented knowledge management strategies. *Knowledge and Process Management*. 2002, Vol. 9, no. 5, pp. 103–118

Поступила (received) 16.11.2016

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Алгоритм вибору и коректировки модели прецедента-аналога в задачах управления бизнес процессами / І. В. Левикін** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХПІ», 2016. – № 37 (1209). – С. 52–56. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2079-0023.

**Алгоритм вибору и коректировки модели прецедента-аналога в задачах управления бизнес процессами / И. В. Левыкин** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 37 (1209). – С. 52–56. – Библиогр.: 7 назв. – ISSN 2079-0023.

**Algorithm selection and adjustment of a analog Case-based Reasoning models in business process management problems / I. V. Levykin** // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov : NTU "KhPI", 2016. – No. 37 (1209). – P. 52–56. – Bibliogr.: 7. – ISSN 2079-0023.

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Левикін Ігор Вікторович** – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри медіасистем та технологій «МСТ» Харківського національного університету радіоелектроніки «ХНУРЕ», м. Харків, тел.: (050) 400-81-51; e-mail: ihor.levykin@nure.ua.

**Левыкин Игорь Викторович** – кандидат технических наук, доцент, профессор, кафедры медиасистем и технологий «МСТ» Харьковского национального университета радиоэлектроники «ХНУРЭ», г. Харьков; тел.: (050) 400-81-51; e-mail: ihor.levykin@nure.ua.

**Levykin Igor Viktorovich** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Professor of the Department of Media Systems and Technologies Department of the Kharkiv National University of Radioelectronics, c. Kharkiv, tel. (050) 400-81-51, e-mail: ihor.levykin@nure.ua.



УДК 519.2

**Н. К. СТРАТІЄНКО, І. О. БОРОДІНА**

## **РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ СЕГМЕНТУВАННЯ РИНКУ КОМП'ЮТЕРНОЇ ТЕХНІКИ НА ОСНОВІ КЛАСТЕРНОГО АНАЛІЗУ**

Запропоновано програмне забезпечення для розв'язання задачі сегментування ринку і позиціонування товару. Для сегментування ринку використані методи і алгоритми кластерного аналізу: ієрархічний агломеративний і дивізімний алгоритми, а також метод  $k$ -середніх. Розглянуто технологію сегментування і дано короткий аналіз методів сегментування. Описано концептуальну модель даних, діаграму пакетів, діаграму розгортання програмного забезпечення. За допомогою розробленого програмного забезпечення були проведені розрахунки для підприємства, яке спеціалізується на продажу комп'ютерної техніки. Результати проаналізовані і розроблені рекомендації.

**Ключові слова:** алгоритми, програмне забезпечення, метод, маркетингове дослідження, сегментування ринку, кластерний аналіз.

Предложено программное обеспечение для решения задачи сегментирования рынка и позиционирования товара. Для сегментирования рынка использованы методы и алгоритмы кластерного анализа: иерархический агломеративный и дивизионный алгоритмы, а также метод  $k$ -средних. Рассмотрена технология сегментирования и дан краткий анализ методов сегментирования. Описаны концептуальная модель данных, диаграмма пакетов, диаграмма развертывания программного обеспечения. С помощью разработанного программного обеспечения были проведены расчеты для предприятия, которое специализируется на продаже компьютерной техники. Результаты проанализированы и разработаны рекомендации.

**Ключевые слова:** алгоритмы, программное обеспечение, метод, маркетинговое исследование, сегментирование рынка, кластерный анализ.

We propose software for solving problems of market segmentation and product positioning. For market segmentation, we used cluster analysis methods and algorithms: hierarchical agglomerative and divisive algorithms,  $k$ -means clustering. The segmentation technology was considered and different segmentation methods were analyzed. The chart options using the software, the conceptual data model, packages diagram, chart software deployment are described. Calculations for an enterprise which specializes in the sale of computer equipment were completed. The results were analyzed and the recommendations were developed. The work has a practical interest since it can be used for market segmentation and product positioning, which will help different companies to choose the target segments.

**Keywords:** algorithms, software, method, marketing research, market segmentation, cluster analysis.

**Вступ.** На даний час значне число компаній займається зборкою й реалізацією комп'ютерної техніки й комплектуючих. На ринку представлені товари фірм-виробників з різних країн світу і тому постійно існує конкуренція. У зв'язку з цим фірми-виробники та торговельні підприємства зацікавлені в проведенні маркетингових досліджень на ринках, де представлена їхня продукція, з метою визначення найбільш важливих і перспективних сегментів товарного ринку, що підпорядковуються їхнім стратегічним цілям:

- збільшення частки ринку;
- оволодіння новими ринками;
- ослаблення позицій конкурентів;
- утримання своїх позицій на найбільш важливих ринках і т. д.

З іншого боку, результати сегментування ринку дозволяють уточнювати й, навіть, змінювати стратегічні цілі та задачі шляхом внесення коректив у товарну та маркетингову політику. Позиціонування товару тісно пов'язане з обранням цільовим ринком, тому що товаровиробникові особливо важливо провести позиціонування свого продукту, забезпечивши тим самим його конкурентне положення на ринку, а також аргументовано розкрити споживачам вигідні характеристики свого товару.

Дослідження проводиться за певною схемою, тому доцільним є автоматизація необхідних розрахунків і підготовка результатів в наочній формі.

В даній роботі пропонується підхід до автоматизації процесу сегментування ринку комп'ютерної техніки на основі кластерного аналізу.

### **Методи та алгоритми, що використовуються.**

Технологія сегментування при її всебічному використанні в плануванні маркетингу включає реалізацію наступних трьох етапів.

Перший етап. Визначення груп покупців зі схожими потребами та розподіл цих покупців за сегментами.

Другий етап. Вибір цільових сегментів.

Третій етап. Позиціонування продуктів на цільових сегментах і розробка для цільових сегментів маркетингових програм, які підтримували б обране позиціонування товарів [1, 2].

Всі ці етапи – комплексні, і кожен поділяється на окремі кроки. Автоматизація потрібна при створенні профілів сегментів і при визначенні сприйняття покупців.

Залежно від особливостей предметної області, цілей і задач дослідження використовуються різні методи сегментування: метод побудови сітки сегментування, метод групування, методи багатовимірного статистичного аналізу [3].

Метод побудови сітки сегментування застосовується для виділення базових ринків і використовується на рівні макросегментування. При цьому беруться до уваги три змінні: функції (або вигоди, які шукають покупці), технології та споживачі [4]. В результаті аналізу визначають перелік стратегічно важливих сегментів.

Метод групувань передбачає послідовну розбивку сукупності об'єктів на декілька підгруп за найбільш важливими ознаками [1, 4].

Методи багатомірного статистичного аналізу

дозволяють проводити одночасну багатомірну класифікацію об'єктів за декількома ознаками [3, 5].

Як відомо, комп'ютерна техніка має значну кількість характеристик, тому для вирішення задачі сегментування в роботі використовувався кластерний аналіз, який є багатомірною статистичною процедурою та базовим підходом до сегментації, як відмічають автори [6, 7].

На даний момент розроблено велику кількість алгоритмів кластерного аналізу. Можна виділити два значних класи алгоритмів, придатних для вирішення поставленої задачі: ієрархічні алгоритми і алгоритми, основані на понятті «ядра» кластера.

Запропоновано використання агломеративного ієрархічного алгоритму, дивізійного ієрархічного алгоритму та методу *k*-середніх. Застосування відразу декількох алгоритмів дозволяє перекоонатися в об'єктивності поділу об'єктів на кластери.

Для графічного відображення позиції торгової марки використовувалися перцепційні карти.

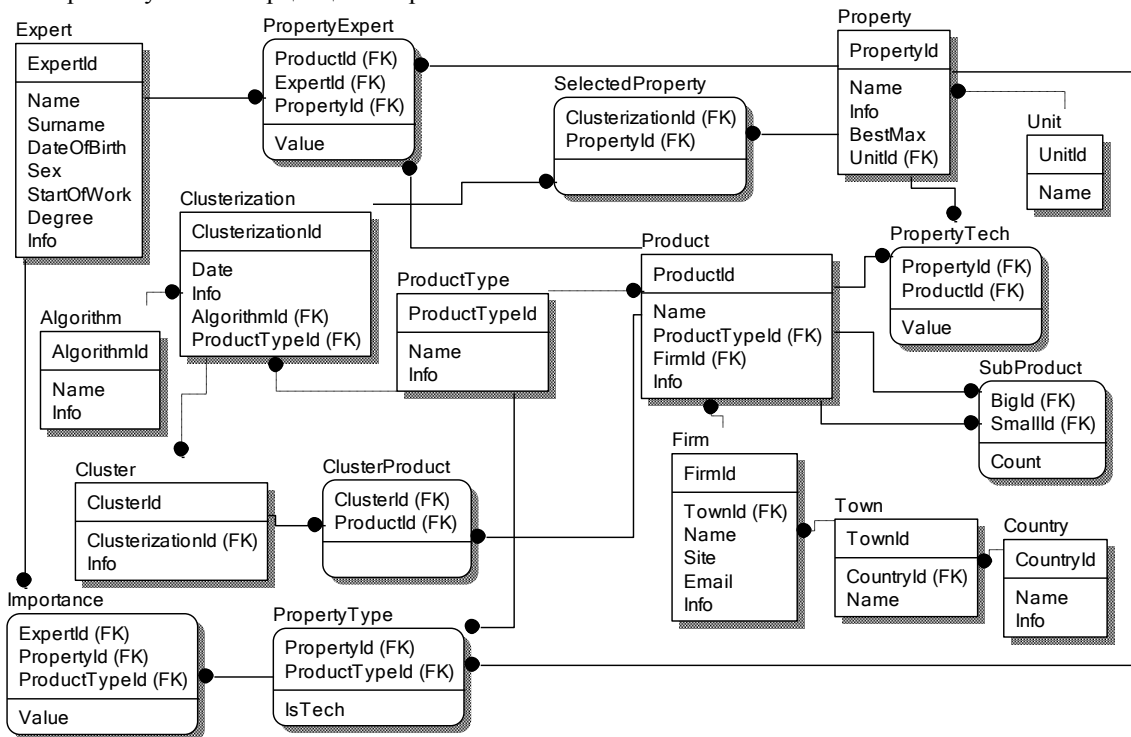


Рис. 1 – Концептуальна модель даних

Діаграма пакетів, яка була створена, наведена на рис. 2.

Програмне забезпечення включає наступні пакети:

- пакет `database` (містить класи, які відповідають сутностям бази даних);
- пакет `input_data` (включає віджети для роботи з вхідними даними);
- пакет `basic` (містить форми, які виконують базові функції);
- пакет `research` (містить модулі для проведення маркетингового дослідження).

На рис. 3 наведено діаграму розгортання програмного забезпечення.

**Опис запропонованого програмного комплексу.** Запропонований в роботі програмний комплекс складається з двох основних частин: власне програми і бази даних.

Розроблено концептуальну модель даних, яка представлена на рис. 1.

Для розробки програмного забезпечення було обрано наступні засоби:

- мова програмування C++;
- середовище розробки GNU Emacs;
- СКБД SQLite;
- створення моделей даних ERwin.

База даних включає 18 таблиць. Наприклад, в таблиці `Property` знаходиться список можливих характеристик товарів, що досліджуються (ціна, яскравість тощо). В таблиці `Expert` зберігаються дані про експертів. В таблиці `Product` зберігається перелік товарів із зазначенням підприємства-виробника та типу товару.

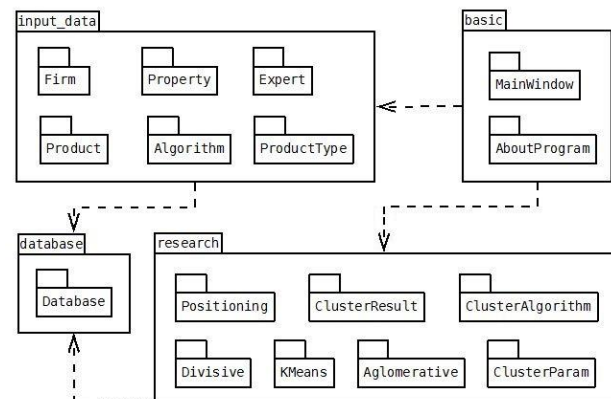


Рис. 2 – Діаграма пакетів

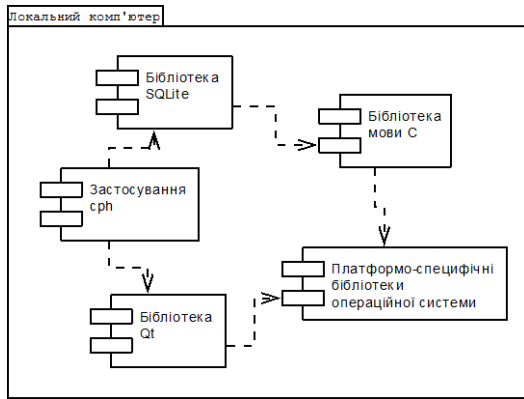


Рис. 3 – Діаграма розгортання програмного забезпечення

Програмне забезпечення має архітектуру Stand alone і залежить лише від бібліотек, що переносяться, тому може бути перенесено на інші платформи.

**Сегментування ринку комп'ютерної техніки.**

Працездатність програмного забезпечення була перевірена на прикладі даних підприємства, що спеціалізується на продажу комп'ютерної техніки. Дослідження стосувалися ринків TFT LCD моніторів і DVD-приводів.

Торгівельне підприємство планує поступово збільшувати займану ним частку ринку комп'ютерних комплектуючих, тому необхідно провести сегментацію ринку і обрати стратегію позиціонування товарів.

В ході дослідження спочатку був виконаний огляд сучасного стану ринку моніторів і DVD-приводів. Далі були розглянуті основні характеристики цих приладів.

Для проведення сегментування ринку DVD-приводів було обрано сорок конкуруючих моделей відокремлених приводів різних фірм-виробників, у тому числі такі моделі, як: Toshiba TS-H524, Hitachi GDR-4561, Philips VAD4021, Philips DG-16D4S, Asus DVR-104. Серед характеристик для кластеризації було обрано наступні: ціна, автоматичний контроль вібрацій, розмір буфера, середній час доступу DVD, максимальна швидкість читання DVD, максимальна швидкість запису DVD+R, максимальна швидкість запису DVD-RW, максимальна швидкість запису DVD+RW. Характеристики DVD-приводів та їх важливість були визначені відповідно до оцінок експертів (див. рис. 4).

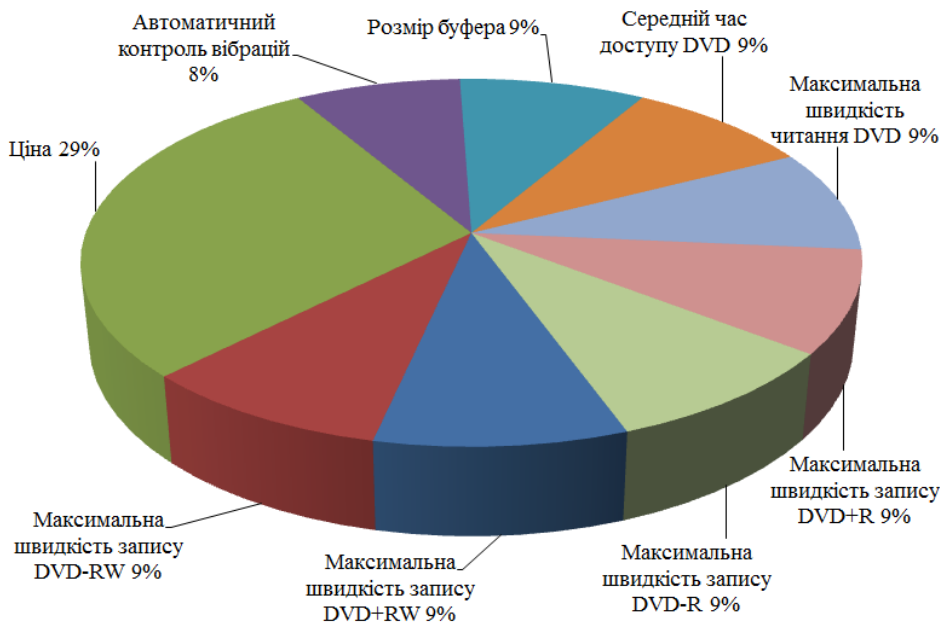


Рис. 4 – Характеристики DVD-приводів та їх важливість

Важливість характеристик розподілено таким чином: 29% важливості – ціна, останні 71% рівномірно розподілено по іншим характеристикам.

Для проведення кластеризації бажано, щоб вихідні дані мали однакові одиниці вимірювання [3]. Так як характеристики DVD-приводів, що були розглянуті, мають різні одиниці вимірювання, то до початку кластеризації було проведено нормування кожної з них за формулою:

$$z_{ik} = \frac{x_{ik} - \bar{x}_k}{s_k}, \quad i, j = \overline{1, n}, \quad k = \overline{1, m},$$

де  $z_{ik}$  – нормоване значення  $k$ -ї характеристики  $i$ -го DVD-привода;

$x_{ik}$  – значення  $k$ -ї характеристики  $i$ -го DVD-привода;

$\bar{x}_k$  – середнє арифметичне значення  $k$ -ї характеристики;

$s_k$  – середнє квадратичне відхилення  $k$ -ї характеристики.

Для визначення відстані між об'єктами  $Z_i, Z_j$  (різними моделями DVD-приводів) була використана «зважена» Евклідова відстань:

$$\rho(Z_i, Z_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^m w_k (z_{ik} - z_{jk})^2}, \quad i, j = \overline{1, n},$$

де  $w_k$  – вага  $k$ -ї характеристики ( $0 \leq w_k \leq 1, k = \overline{1, m}$ ).

В результаті застосування агломеративного, дивізімного алгоритмів та методу у  $k$ -середніх отримано три кластери одного складу. Дослідження показало: існує три основні категорії DVD-приводів. До першого кластеру потрапили моделі, які мають дуже високу ціну, але найкращі технічні характеристики. До другого кластеру потрапляють моделі, які представляють собою компроміс між ціною та якістю. Третій кластер включає дешеві моделі, що мають найнижчі технічні характеристики.

Діапазон цін дуже широкий: моделі двох кластерів відрізняються в кілька разів. Можна

спробувати зробити ставку на дорогі високоякісні DVD-приводи – це дозволить підприємству значно відрізнятись від інших.

Наступне дослідження стосувалося моделей TFT LCD моніторів. Для проведення сегментування було обрано тридцять п'ять моделей, у тому числі такі моделі, як: LG L2000C, NEC 2080UXi, NEC 2170NX, Samsung 204B, Sony SDM-S204E, Belinea 10 20 35W, BenQ FP202W.

Характеристики моделей TFT LCD моніторів та їх важливість були визначені відповідно до оцінок експертів (див. рис. 5). Серед характеристик для кластеризації було обрано наступні: якість зображення, оснащення, зручність, ціна та ін.

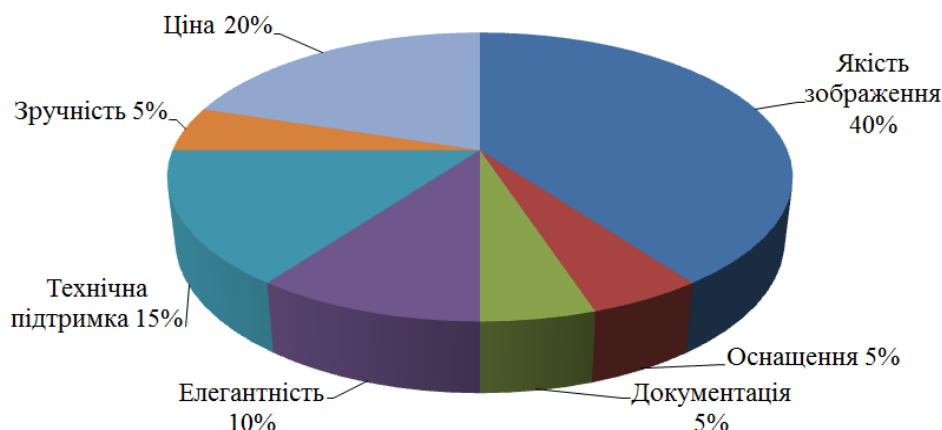


Рис. 5 – Характеристики TFT LCD моніторів та їх важливість

Спочатку було проведено нормування кожної характеристики TFT LCD моніторів. Для визначення відстані між різними моделями моніторів була також використана «зважена» Евклідова відстань. Для кластеризації моніторів було застосовано агломеративний, дивізімний алгоритми та метод  $k$ -середніх.

Отримано три кластери одного складу. В перший кластер увійшли моделі, які мають найвищу якість зображення та найкращу ціну порівняно з якістю, але за іншими параметрами досить сильно відрізняються.

Монітори другого кластера мають дуже високу ціну в порівнянні з якістю. Їх головна перевага – це відомі бренди. Якість зображення цих моніторів гірша, ніж у моніторів першого кластера.

Третій кластер включає моделі з найбільш поганою якістю зображення. Їх перевага – це ціна і хороші оснащення та документація.

Тобто основні переваги трьох кластерів моніторів – це якість, ціна і бренд. Якщо фірма налагодить роботу служби технічної підтримки, то це дасть можливість отримати значні переваги в другому та третьому кластерах.

**Висновки.** У роботі запропоновано алгоритми та програмне забезпечення для розв'язання задачі сегментації ринку і позиціонування товару. Проаналізовано результати маркетингових досліджень для підприємства, яке спеціалізується на продажу комп'ютерної техніки і розроблені рекомендації.

#### Список літератури

1. Основы маркетинга : Пер. с англ. / Ф. Котлер, Г. Армстронг, Д. Сондерс, В. Вонг 11-е изд. – К., М., СПб. : Издательский дом «Вильямс», 2011. – 752 с.
2. Беляевский И. К. Маркетинговое исследование : информация, анализ, прогноз : уч. пособие / И. К. Беляевский – М. : Финансы и статистика, 2001. – 319 с.
3. Айвазян С., Мхитарян В. Прикладная статистика. Основы эконометрики. Том 1. Теория вероятностей и прикладная статистика. Учебник для вузов : В 2 т. – 2-е изд., испр. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 656 с.
4. Гаркавенко С. С. Маркетинг : Підруч. для студ. екон. спец. вищ. навч. закл. / С. С. Гаркавенко. 4-те вид., доповн. – К. : Лібра, 2006. – 717 с.
5. Классификация и кластер / ред. Дж. Вэн Райзин. – М. : Мир, 1980. – 389 с.
6. Хруцкий В. Е. Современный маркетинг / Хруцкий В. Е., Корнеева И. В., Автухова Е. Э.; Под ред. В. Е. Хруцкого. М. : Финансы и статистика, 1991. – 254 с.
7. Коротков А. В. Маркетинговые исследования: учебник для бакалавров / А. В. Коротков. 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Издательство Юрайт, 2014. – 595 с.

#### References (transliterated)

1. Ph. Kotler, G. Armstrong, D. Sonders, V. Vong. *Fundamentals of Marketing*. New York, Pearson Educational, 2010. 637 p. (Rus. ed. : Ph. Kotler, G. Armstrong, D. Sonders, V. Vong. *Osnovy marketinga*. Kyiv, Moscow, Sankt-Peterburgh, Vilyams Publ, 2011. 752 p.)
2. Belyaevskiy I. K. *Marketingovoe issledovanie : informatsiya, analiz, prognoz : uch. posobie* [Marketing Research : information, analysis, predict]. Moscow, Finansy i Statistika Publ., 2001. 319 p.
3. Ayvazyan, S., Mkhitaryan, V. *Prikladnaya statistika. Osnovy ekonometriki. Tom 1. Teoriya veroyatnostey I prikladnaya statistika. Uchebnik dlya vuzov* [Applied Statistics. Basics of econometrics.

- Volume 1. Probability Theory and Applied Statistics. Textbook for high school]. Moscow, Uniti-Dana, 2001. 656 p.
4. Garkavenko S. S. *Marketing : Pidruch. dlya stud. ekon. spets. vyshch. navch. zakl.* [Marketing : A textbook for students of economic specialties of higher educational institutions]. Kyiv, Libra Publ., 2006. 717 p.
  5. Van Ryzen J., ed. *Classification and clustering*. New York, Academic Press, 1977, 467 p. (Rus. ed. : Van Ryzen J., ed. *Klassifikatsiya i klaster*. Moscow, Mir Publ., 1980. 389 p.).
  6. Khrutskiy V. E., Korneeva I. V., Avtuhova E. E. *Sovremenniy marketing* [Modern Marketing]. Moscow, Finansy i Statistika Publ., 1991. 254 p.
  7. Korotkov A. V. *Marketingovie issledovaniya : uchebnik dlya bakalavrov* [Marketing Research : textbook for bachelors]. Moscow, urait, 2014. 595 p.

Надійшла (received) 28.10.2016

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Розв'язання задачі сегментування ринку комп'ютерної техніки на основі кластерного аналізу / Н. К. Стратієнко, І. О. Бородіна** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХПІ», 2016. – № 37 (1209). – С. 57–61. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2079-0023.

**Решение задачи сегментирования рынка компьютерной техники на основе кластерного анализа / Н. К. Стратієнко, І. А. Бородіна** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 37 (1209). – С. 57–61. – Библиогр.: 7 назв. – ISSN 2079-0023.

**Solution of a computer equipment market segmentation problem using cluster analysis / N. K. Stratiienko, I. O. Borodina** // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov : NTU "KhPI", 2016. – No. 37 (1209). – P. 57–61. – Bibliogr.: 7. – ISSN 2079-0023.

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Стратієнко Наталія Костянтинівна** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління; тел.: (057) 707-64-74; e-mail: strana@kpi.kharkov.ua.

**Стратієнко Наталія Константиновна** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління; тел.: (057) 707-64-74; e-mail: strana@kpi.kharkov.ua.

**Stratiienko Nataliia Kostiantunivna** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor at the Software Engineering and Management Information Technologies Department; tel.: (057) 707-64-74; e-mail: strana@kpi.kharkov.ua.

**Бородіна Інна Олександрівна** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», асистент кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління; тел.: (098) 227-28-55; e-mail: borodina@kpi.kharkov.ua.

**Бородіна Інна Александровна** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», асистент кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління; тел.: (098) 227-28-55; e-mail: borodina@kpi.kharkov.ua.

**Borodina Inna Oleksandrivna** – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", lecture assistant at the Software Engineering and Management Information Technologies Department; tel.: (098) 227-28-55; e-mail: borodina@kpi.kharkov.ua.

УДК 519.2

Н. К. СТРАТИЄНКО, О. А. КОЗИНА, І. О. БОРОДИНА

**АВТОМАТИЗАЦІЯ МАРКЕТИНГОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОДАЖІВ, ЦІНИ ТА ТОВАРУ НА МОТОРОБУДІВНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ**

Розглянута постановка задачі на розробку програмного забезпечення маркетингових досліджень продажів, ціни та товару на підприємстві. Виконано аналітичний огляд програм-аналогів для вирішення маркетингових задач, наведені алгоритми, що використовуються для маркетингових досліджень в обраних напрямках, дано короткий опис розробленого програмного забезпечення. В результаті виконання роботи отримано працездатний застосунок, який має зручний і простий інтерфейс і забезпечує користувача всією необхідною інформацією для маркетингових досліджень продажів, ціни та товару. За допомогою розробленого програмного забезпечення було проведено маркетингове дослідження для моторобудівного підприємства, отримані результати проаналізовані і зроблені висновки.

**Ключові слова:** програмне забезпечення, база даних, маркетингове дослідження, алгоритми, продажі, ціна, товар, підприємство.

Рассмотрена постановка задачи на разработку программного обеспечения маркетинговых исследований продаж, цены и товара на предприятии. Выполнен аналитический обзор программ-аналогов для решения маркетинговых задач, приведены алгоритмы, используемые для маркетинговых исследований в выбранных направлениях, дано краткое описание разработанного программного обеспечения. В результате выполнения работы получено работоспособное приложение, которое имеет удобный и простой интерфейс и обеспечивает пользователя всей необходимой информацией для маркетинговых исследований продаж, цены и товара. С помощью разработанного программного обеспечения было проведено маркетинговое исследование для моторостроительного предприятия, полученные результаты проанализированы и сделаны выводы.

**Ключевые слова:** программное обеспечение, база данных, маркетинговое исследование, алгоритмы, продажи, цена, товар, предприятие.

We consider a problem of developing software for marketing research of sales, prices and goods on an enterprise. We completed analytical review of similar software solutions of marketing problems. We gave algorithms of marketing research in selected areas. We briefly described the developed software. As a result of the work, we produced a usable user-friendly application that has a simple interface and provides users with all the necessary information for marketing research of sales, prices and goods. Using the developed software, we conducted a marketing research for an engine-building enterprise. We analyzed the results and made conclusions.

**Keywords:** software, database, marketing research, algorithms, sales, price, goods, enterprise.

**Вступ.** Сучасні економічні умови ставлять перед підприємством нові задачі, для чого необхідно здійснювати маркетингові дослідження продажів, ціни та товару та визначати на основі цього вигідні для підприємства як ринки збуту готової продукції, так і її види, прогнозувати обсяги продажів, здійснювати ефективну цінову політику й оцінку конкурентоздатності продукції.

Характерними особливостями комплексних маркетингових досліджень є їх складність, великі масиви первинної інформації, рухливість зовнішнього середовища, невизначеність внутрішніх взаємозв'язків. Тому

розробка моделей, методів, алгоритмів і програмних комплексів для вирішення задач маркетингових досліджень є сучасною актуальною проблемою.

В даній роботі розглядається постановка задачі та процес розробки програмного забезпечення для маркетингових досліджень продажів, ціни та товару на підприємстві.

**Аналіз програмних пакетів для вирішення маркетингових задач.** На сьогоднішній день на ринку існує велика кількість програмних пакетів, що допомагають розв'язувати різноманітні маркетингові задачі [1–3]. На рис. 1 наведено їх класифікацію.



Рис. 1 – Класифікація програмних пакетів для вирішення маркетингових задач

Так, в першу групу входять облікові програми підприємства, на яких базуються системи внутрішньої маркетингової звітності [1]. Другу групу складають CRM-програми, які надають широкі можливості для

збору і аналізу маркетингової інформації про клієнтів компанії і здійснювані продажі. В третю групу входять програми для моніторингу зовнішнього маркетингового середовища, за допомогою яких здійсню-



ється регулярний збір і зручне зберігання інформації про мікро- і макросередовище підприємства, забезпечуючи накопичення і структуровану видачу інформації про конкурентів і ціни на їх продукцію [2].

Проведений аналіз свідчить про те, що хоча й існує багато програмних продуктів, але немає єдиної класифікації напрямків маркетингових досліджень, універсальної методики та програмного продукту. Слід також зазначити, що підприємствам різних галузей властива своя специфіка, актуальність окремих напрямків маркетингових досліджень, різна частота їх використання. Тому автоматизація маркетингових досліджень для конкретного підприємства з урахуванням актуальних для нього напрямків дослідження є важливою задачею.

**Постановка задачі.** В якості об'єкту, для якого поводиться маркетингові дослідження продажів, ціни та товару в роботі, було обрано підприємство, що спеціалізується на виробництві моторів, а також товарів народного споживання. В ході проведеного огляду і аналізу основних напрямів та задач маркетингової діяльності цього підприємства, враховуючи процес маркетингових досліджень, що описаний в роботах [4, 5], виділено наступні напрямки для автоматизації:

- прогнозування продажів;
- сегментація та позиціонування товару;
- оцінювання конкурентоспроможності товару;
- визначення ціни.

Сформулюємо постановку задачі на розробку програмного забезпечення в стислій формі: розробити програмне забезпечення для виконання маркетингових досліджень, що забезпечує виконання наступного набору функцій:

- перегляд, введення та редагування вихідних даних, необхідних для проведення досліджень;
- проведення маркетингових досліджень в обраних напрямках;
- експорт результатів досліджень в популярних форматах HTML та PDF;

- можливість одночасної роботи декількох користувачів;
- забезпечення цілісності даних.

Для того щоб відповідати певним стандартам, конкурувати з аналогічними програмними продуктами, для найбільш якісної й правильної роботи, програмне забезпечення повинне задовольняти наступним вимогам:

- мати якомога менші вимоги до кваліфікації користувача, у тому числі бути максимально простим у налаштуванні;
- забезпечувати максимально комфортний доступ до основних інформаційних ресурсів підсистеми;
- забезпечувати процес введення і редагування вихідних даних (одержання нових вихідних даних, забезпечення роботи з уже існуючими даними, перегляд і редагування даних, збереження даних в базі даних, збереження отриманих результатів і т.п.);
- забезпечувати можливість друку як вихідних, так і сформованих даних у встановленій формі подання вихідної інформації;
- задовольняти всім вимогам користувачів до вмісту бази даних;
- гарантувати несуперечність і цілісність даних;
- забезпечувати природне, легке для сприйняття структурування інформації;
- мати знайомий для користувача інтерфейс із головним меню та сторінками допомоги у використанні програми;
- надавати можливість скасувати помилковий запит на руйнівну операцію, наприклад, запитувати підтвердження видалення запису із таблиці.

**Алгоритмічне забезпечення.** На рис. 2 наведено алгоритми, що були використані для проведення маркетингових досліджень в обраних напрямках.



Рис. 2 – Алгоритми, що використовуються в роботі

**Опис програмного забезпечення.** Програмне забезпечення розроблено згідно архітектури тонкого клієнта. Сервер бази даних обслуговує запити серверу застосування, що, у свою чергу, обробляє запити браузера користувача.

Грунтуючись на проведеному аналізі предметної області, було побудовано концептуальну модель даних, що є основою для розробки логічної та фізичної моделей даних. При проектуванні бази даних було використано CASE-засіб ERwin 4.0, що підтримує концепцію IDEF1X.

Програмне забезпечення містить наступні пакети та модулі. Модуль Main – головний модуль програми. Модуль ConnectDB забезпечує зв'язок з базою даних. Пакет persistent містить набір класів для роботи з базою даних. Кожному класу відповідає рівно одна таблиця. Бібліотека Hibernate забезпечує завантаження та збереження об'єктів до бази. Пакет view слугує для перегляду та редагування таблиць бази даних за допомогою веб-сторінок.

Пакет investigation містить модулі, в яких реалізовано алгоритми проведення маркетингових досліджень та підготовки звітів.

Розроблене програмне забезпечення має простий інтуїтивно зрозумілий інтерфейс та орієнтоване на користувачів, що володіють навичками використання програмних продуктів.

Використання трирівневої архітектури з тонким клієнтом знімає необхідність в установці та налаштування програми кінцевим користувачем. Розгортання програми здійснюється адміністратором.

Налаштування серверної частини програмного забезпечення здійснюється допоміжною програмою. Вона перевіряє версію Java, встановлює необхідні компоненти програмного комплексу та створює текстовий конфігураційний файл для доступу до бази даних.

**Маркетингове дослідження та аналіз отриманих результатів.** Для проведення маркетингового дослідження на підприємстві було взято статистику роботи підприємства за декілька років. Структура продажів продукції підприємства за 2015 р. наведена на діаграмі (див. рис. 3).

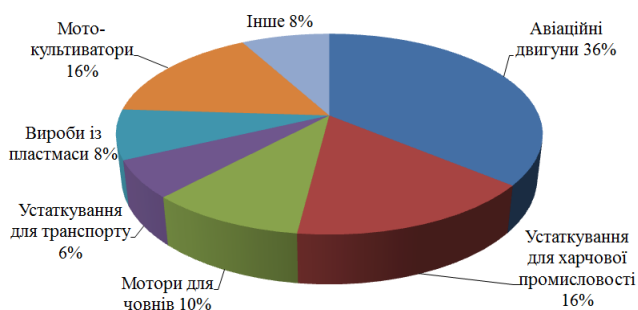


Рис. 3 – Структура продажів продукції підприємства

Маркетингові дослідження було проведено в чотирьох напрямках, які описані вище, по всій продукції підприємства. Далі наведемо приклади дослідження в обраних напрямках.

**Проведення сегментації.** Для аналізу структури ринку моторів для човнів за допомогою розробленого

програмного забезпечення проведено кластеризацію. Технічні дані про мотори наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Технічні характеристики моторів для човнів

Модель	Робочий об'єм, куб. см	Діаметр циліндра, мм	Хід поршня, мм	Вихідна потужність, кВт	Максимальна частота обертання, об/хв
ВЛ 4 М3	123	60	39	4.7	4000
ВН 8 М2	189	60	38	5.7	5000
ВН 9.9 М2	331	62	55	7.5	4500
ВЛ 15 М5	318	62	55	10.5	4500
ВЕ 15 Н2	311	62	55	10.5	4500
ВЛ 25 Н4	502	69	71	17.8	5000
ВЕ 28 М4	480	69	71	17.8	5000
ВТ 40 Н4	761	69	71	31.6	5000

Дендрограма, яку побудовано за допомогою програмного забезпечення, наведена на рис. 4. Прийнято рішення розбити мотори на два кластери.

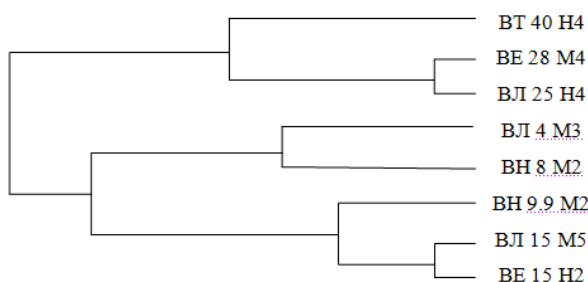


Рис. 4 – Дендрограма, отримана в ході кластеризації моторів на базі агломеративного ієрархічного алгоритму

До першого потрапляють мотори ВТ 40 Н4, ВЕ 28 М4, ВЛ 25 Н4; до другого – ВЛ 4 М3, ВН 8 М2, ВН 9.9 М2, ВЛ 15 М5, ВЕ 15 Н2. Мотори першого кластера мають великий робочий об'єм, діаметр циліндра та ступінь стискування, тобто є потужнішими за моделі другого кластера.

**Прогнозування продажів.** Щоб прийняти рішення про об'єм випуску моторів «ВЛ 15 М5», на базі статистики продажів по місяцях за 2012-2015 роки. за допомогою розробленого програмного забезпечення було побудовано прогноз на перший квартал 2016 року (див. табл. 2).

Таблиця 2 – Прогноз продажів моторів «ВЛ 15 М5» на перший квартал 2016 року на базі адаптивної моделі

Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень
Прогноз	101	99	124	289

Статистику продажів представлено на рис. 5. Нескладно помітити, що продажі моторів зростають влітку, тобто явно присутня сезонна складова.

**Оцінка конкурентоздатності.** За допомогою розробленого програмного забезпечення була проведена оцінка конкурентоздатності нового мотокультиватора «МКП 12».



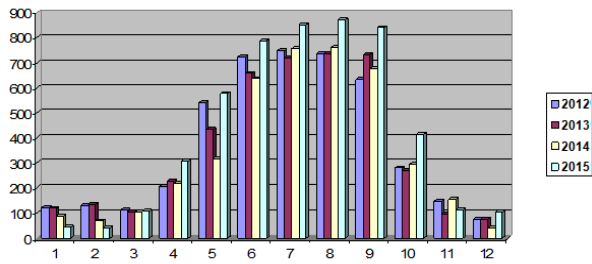


Рис. 5 – Продажі моторів «АЛ 15 М5» за 2012-2015 рр.

Таблиця 3 – Параметри мотокультиваторів

Характеристика	МК 15	РД 35 У	РД 42	Оптимум	Вага
Місткість паливного бака, л	1,70	2,10	1,40	2,10	21
Потужність, кВт	2,90	5,40	2,40	5,40	21
Робочий об'єм, куб. см	96,00	125,00	105,00	145,00	18
Ширина оброблюваної смуги, мм	620,00	610,00	592,00	620,00	14
Глибина оранки без оберту шару, мм	230,00	100,00	260,00	260,00	10
Число передач	5,00	3,00	6,00	6,00	9
Маса, кг	43,20	60,00	47,00	43,20	7

**Визначення ціни.** Ціну культиватора «МК 15» було розраховано на основі коефіцієнту технічного рівня. В якості товару-еталону було взято модель «РД 35 У» за ціною 720 грн. Рекомендована ціна для культиватора «МК 15» становить 622 грн.

Для мотоблоку «СВ-Nova 25 М» визначено ціну, орієнтуючись на цінові точки. Для цього проведено опитування 240 респондентів (фрагмент результатів опитування наведено в табл. 4).

Респонденти порівнювали конкуруючі мотоблоки «АКТВ-5», «АЛМЛ 6», «СКР 91» та «Vik3T VH 400», та повідомляли, скільки б вони заплатили за «СВ-Nova 25 М».

Таблиця 4 – Фрагмент результатів опитування для ціни мотоблоку «СВ-Nova 25 М»

Ціна	Кількість покупців, що визначили ціну як максимальну	% покупців, що визначили ціну як максимальну	% покупців, що вважають ціну прийнятною	Очікувані продажі, грн.	Загальний дохід, грн.
6000	3	1,20%	100,00%	4000	24000000
6200	5	1,99%	98,80%	3952	24503586
6400	2	0,80%	96,81%	3873	24784064
6600	27	10,76%	96,02%	3841	25348207
6800	42	16,73%	85,26%	3410	23190438

Попит на мотоблоки оцінюється на рівні 4 000 одиниць.

За допомогою розробленого програмного забезпечення отримані дані було оброблено. Побудовано графіки очікуваного попиту та загального доходу (див. рис. 6).

Мотокультиватор «МКП 12» було порівняно з кращими зразками: «РДП 32 У» та «РДП 40».

Параметри культиваторів наведено в табл. 3.

В результаті розрахунків був отриманий інтегральний показник конкурентоздатності нового мотокультиватора рівний 0,79. Оскільки цей показник менший, ніж у моделі «РД 35 У» (0,92), але більший, ніж у моделі «РД 42» (0,78), рекомендується збільшити потужність і ємність паливного баку культиватора «МК 15».

Бачимо, що при збільшенні ціни від 6 600 до 7 000, від 8 000 до 8 400, від 9 000 до 9 200 спостерігається суттєве зменшення очікуваного попиту та об'єму продажів.

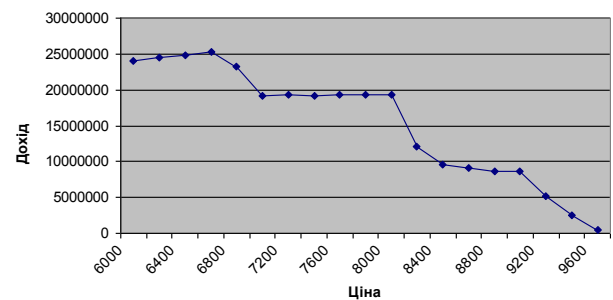


Рис. 6 – Графік загального доходу від продажів мотоблоку «СВ-Nova 25 М» при різних цінах

Існує три цінові категорії: низькі, середні та високі ціни та, відповідно, три цінові точки: 6 600, 8 000 та 9 000 грн. Позиціонування мотоблоку «СВ-Nova 25 М», як дорогого високоякісного, передбачає певні обмеження при визначенні ціни, тому варто обрати 8 000 грн., хоча максимальний дохід можна отримати при ціні 6 600, що сприймається як низька і викликає великий попит.

**Висновки.** В роботі розглянуто задачу розробки програмного забезпечення для маркетингових досліджень продажів, ціни та товару на підприємстві. Розглянута предметна область, зроблено аналітичний огляд програм-аналогів для вирішення маркетингових задач.

Виконана постановка задачі. Наведено методи проведення маркетингових досліджень в обраних напрямках, розроблено алгоритми вирішення комплексу поставлених завдань.

За допомогою розробленого програмного забезпечення було проведено дослідження продажів,

ціни та товару на моторобудівному підприємстві, отримані результати проаналізовані та зроблені висновки.

#### Список літератури

1. Top Marketing Automation Software Products. – Режим доступу : <http://www.capterra.com/marketing-automation-software>. – Дата звертання : 20 вересня 2016.
2. Compare Marketing Resource Management Software – Режим доступу : <http://www.softwareadvice.com/marketing/mrm-comparison>. – Дата звертання : 25 вересня 2016.
3. БЕСТ-Маркетинг. – Режим доступу : <http://www.bestnet.ru/programs/best-marketing>. – Дата звертання : 26 вересня 2016.
4. *Гаркавенко С. С.* Маркетинг : Підруч. для студ. екон. спец. вищ. навч. закл. / С. С. *Гаркавенко*. 4-те вид., доповн. – К. : Лібра, 2006. – 717 с.
5. *Бойко И. И.* Маркетинговые исследования. – К. : Кондор, 2005. – 280 с.

#### References (transliterated)

1. Top Marketing Automation Software Products. Available at: <http://www.capterra.com/marketing-automation-software>. (accessed 20.09.2016)
2. Compare Marketing Resource Management Software. Available at: <http://www.softwareadvice.com/marketing/mrm-comparison>. (accessed 25.09.2016)
3. BEST-Marketing. Available at: <http://www.bestnet.ru/programs/best-marketing>. (accessed 26.09.2016)
4. Garkavenko S. S. *Marketing : Pidruch. dlya stud. ekon. spets. vyshch. navch. zakl.* [Marketing : A textbook for students of economic specialties of higher educational institutions]. Kyiv, Libra Publ., 2006. 717 p.
5. Boyko I. I. *Marketingovie issledovaniya* [Marketing Research]. Kyiv, Kondor Publ., 2005. 280 p.

Надійшла (received) 28.10.2016

#### Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

**Автоматизація маркетингових досліджень продажів, ціни та товару на моторобудівному підприємстві / Н. К. Стратієнко, О. А. Козіна, І. О. Бородіна // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХПІ», 2016. – № 37 (1209). – С. 62–66. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-0023.**

**Автоматизация маркетинговых исследований продаж, цены и товара на моторостроительном предприятии / Н. К. Стратієнко, О. А. Козіна, И. А. Бородіна // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 37 (1209). – С. 62–66. – Библиогр.: 5 назв. – ISSN 2079-0023.**

**Automation of marketing research of sales, price and goods on an engine-building enterprise / N. K. Stratiienko, O. A. Kozina, I. O. Borodina // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov : NTU "KhPI", 2016. – No. 37 (1209). – P. 62–66. – Bibliogr.: 5. – ISSN 2079-0023.**

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Стратієнко Наталія Костянтинівна** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління; тел.: (057) 707-64-74; e-mail: strana@kpi.kharkov.ua.

**Стратієнко Наталія Константиновна** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління; тел.: (057) 707-64-74; e-mail: strana@kpi.kharkov.ua.

**Stratiienko Nataliia Kostiantunivna** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor at the Software Engineering and Management Information Technologies Department; tel.: (057) 707-64-74; e-mail: strana@kpi.kharkov.ua.

**Козіна Ольга Андріївна** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри обчислювальної техніки та програмування; тел.: (050) 526-46-60; e-mail: kozina@kpi.kharkov.ua.

**Козіна Ольга Андреевна** – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», профессор кафедры вычислительной техники и программирования; тел.: (050) 526-46-60; e-mail: kozina@kpi.kharkov.ua.

**Kozina Olga Andriivna** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor at the Department of Computer Equipment and Programming; tel.: (050) 526-46-60; e-mail: kozina@kpi.kharkov.ua.

**Бородіна Інна Олександрівна** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», асистент кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління; тел.: (098) 227-28-55; e-mail: borodina@kpi.kharkov.ua.

**Бородіна Інна Александровна** – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ассистент кафедры программной инженерии и информационных технологий управления; тел.: (098) 227-28-55; e-mail: borodina@kpi.kharkov.ua.

**Borodina Inna Oleksandrivna** – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", lecture assistant at the Software Engineering and Management Information Technologies Department; tel.: (098) 227-28-55; e-mail: borodina@kpi.kharkov.ua.

**М. А. ОМАРОВ, Т. В. ТИХА**

## АНАЛІЗ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ІНТЕРНЕТ-МАРКЕТИНГУ

Об'єктом дослідження є інтернет-маркетингова діяльність. Наведено розбиття користувачів Інтернету на групи за ознакою взаємовідносин. Визначено групу користувачів, на яку доцільно спрямовувати маркетингові кампанії. Проаналізовано етапи та методи, що використовують інтернет-маркетологи для організації, проведення та аналізу результатів інтернет-маркетингових кампаній. Розглянуто методи формування профілю користувача та можливості його використання. Виконано аналіз застосування таргетингу для проведення інтернет-маркетингових кампаній.

**Ключові слова:** інтернет-маркетинг, інтернет-маркетингова кампанія, методи інтернет-маркетингу, профіль користувача, таргетинг, задача оптимізації.

Объектом исследования является интернет-маркетинговая деятельность. Приведено разбиение пользователей Интернета на группы по признаку взаимоотношений. Определена группа пользователей, на которую следует нацеливать маркетинговые кампании. Проанализированы этапы и методы, которые используют интернет-маркетологи для организации, проведения и анализа результатов интернет-маркетинговых кампаний. Рассмотрены методы формирования профиля пользователя и возможности его использования. Выполнено анализ применения таргетинга для проведения интернет-маркетинговых кампаний.

**Ключевые слова:** интернет-маркетинг, интернет-маркетинговая кампания, методы интернет-маркетинга, профиль пользователя, таргетинг, задача оптимизации.

The object of the research is the internet-marketing activity. A brief history of the development of internet marketing (online marketing) is given. Partition of internet users into groups on basis of relationships is revealed. That the Internet can be seen as a network of physically connected computers and as network-related sites is show. Site imagines as node of graph which has content and links with other sites is proposed. Define group of users, which should be to target marketing campaigns. Stages and methods that internet-marketers use for the organization, conduct and analysis of results of internet marketing campaigns are analyzed. The methods of user's profile formation and possibility of its use are considered. Using of targeting for conduction of internet marketing campaigns is analyzed.

**Keywords:** internet-marketing, internet marketing campaign, methods of internet marketing campaign, user's profile, targeting, task of optimization.

**Вступ.** Із перших років існування Інтернету він був у володінні вчених та військових, але, починаючи з 1990 року, він став використовуватись для комерційної діяльності (електронна комерція). Як відомо, піонером впровадження Інтернету була Америка з її розвинутою ринковою економікою, де маркетингу відводиться роль рушійної сили для успіху бізнесу. Це різко контрастує з одержавленими та тіньовими економіками, де фактично відсутній маркетинг у його класичному значенні – «діяльність спрямована на досягнення мети підприємств, установ, організацій шляхом формування попиту та максимального задоволення потреб споживачів» [1]. Із самого початку інтернет-маркетинг, що є складовою частиною електронної комерції, використовував такі служби Інтернету, як електронна пошта та World Wide Web (www). Електронна пошта використовувалась для розсилання листів рекламного характеру, до яких згодом стали прикріплювати електронні версії рекламних буклетів. Перші кроки з використання www були копіюванням маркетингових технологій, що використовувались у друкарських виданнях. Це були сайти або окремі сторінки на сайтах корпорацій, де рекламувалися товари та послуги. Ці сторінки містили переважно тексти. Однією з вимог до інтернет-сторінок на початку 90-х років минулого сторіччя була мала «вага» сторінки – її обсяг у байтах. Пропускна здатність каналів у ті роки була невеликою, бо переважна кількість споживачів використовувала модеми та телефонні лінії зв'язку. Тому завантаження сторінки з великого обсягу займало тривалий час і користувачі часто відключали завантаження графіки у браузерах. Крім того, ще

значною була доля комп'ютерів, які мали монохромні дисплеї та не мали звукових карт. Поступове вдосконалення комп'ютерів та впровадження широкосмугових мереж спонукало до переходу від статичних html-сторінок у web до використання динамічного html – формування html з боку сервера за допомогою скриптових мов таких як php, що мають можливість використовувати бази даних, наприклад, MySQL. Разом з цим відбувався розвиток інтернет-маркетингу. Традиційним стало розміщення на web-сторінках рекламних оголошень, банерів. З'являються реферальні системи та незалежні служби рейтингів сайтів. Останнє десятиріччя в галузі інтернет-маркетингу характеризується стрімким зростанням використання соціальних мереж.

Робота класичного маркетолога зазвичай вкладається в схему: спланувати маркетингову кампанію, організувати та провести кампанію, проаналізувати наслідки кампанії. При цьому маркетолог часто є обмежений у впливі на сам процес проведення кампанії, а результативність кампанії визначити інколи буває проблематично. Дуже часто замість об'єктивної оцінки застосовується суб'єктивне задоволення або невдоволення замовника кампанії.

На відміну від класичного маркетингу, у інтернет-маркетолога є можливість оперативно впливати на проведення кампанії і мати оперативні дані з її ефективності і, які можна отримувати навіть у режимі реального часу.

Метою дослідження є моделювання інтернет-маркетингової діяльності, організація, проведення та аналіз інтернет-маркетингових кампаній (ІМК). Цю мету планується досягнути як розв'язання таких

завдань:

- моделювання структури Інтернету як середовища, у якому проводяться ІМК;
- аналіз і моделювання методів формування цільової аудиторії ІМК;
- аналіз формування профілю користувача сучасними веб-браузерами;
- аналіз позитивних особливостей використання таргетингу.

**Аналіз досліджень та публікацій за тематикою Інтернет-маркетингу.**

Інтернет-маркетинг є предметом наукових досліджень багатьох вчених, серед них слід насамперед відзначити Котлера Ф. [2], а також Леві Ж., Хенсона У. та інших. Хенсон У. був піонером викладання Інтернет-маркетингу як навчальної дисципліни (Стенфордський університет у 1996 році). Як відзначає І. Л. Литовченко про курс, прочитаний Хенсоном [3]: «В ньому теоретично обгрунтовано передумови становлення нового напрямку маркетингу, розглянуто його специфічні риси та перспективні напрями розвитку віртуальних локальних ринків, що реально діють, систематизовано та узагальнено досвід провідних американських компаній щодо маркетингової діяльності в Інтернеті». Крім наукових публікацій, слід звернути увагу на навчальні посібники І. Л. Литовченко [3] та Холланд Г. [4]. Але слід зазначити, що всі ці дослідження носять, переважно, економічний характер, як і більшість досліджень у галузі маркетингу.

**Інтернет.** Зазвичай Інтернет ( $I$ ) визначають як мережу мереж [1], тобто сукупність поєднаних один з одним комп'ютерів, що надають доступ до інформації, яку вони зберігають, іншим комп'ютерам на основі використання певних протоколів обміну інформацією. Ми будемо розглядати Інтернет як сукупність об'єктів двох видів – сайти ( $S$ ) та користувачі ( $U$ ):

$$I = \langle S, U \rangle.$$

Об'єкти  $S$  та  $U$  самі є сукупностями, елементами яких є комп'ютери, що використовуються в Інтернеті для надання інформації та для її отримання. Кожен комп'ютер, що належить до  $S$  або до  $U$ , має характеристику, яка робить його унікальним – ір-адресу (4- або 6-байтову). Слід зазначити, що ір-адреса комп'ютера не є сталою, а може змінюватися за певних обставин.

Основна схема користування Інтернетом виглядає так:

$$u \xrightarrow{\text{access}} s,$$

де  $u$  – користувач ( $u \in U$ );

$s$  – сайт ( $s \in S$ ).

Тобто користувач  $u$  отримує доступ до сайту  $s$  (відвідує сайт). При цьому, вживається ціла низка проміжних комп'ютерів. Зазвичай для отримання доступу до сайту на комп'ютері користувача використовується програмне забезпечення, що отримало назву веб-браузер (web browser), але можуть застосовуватися й інші програми. Сукупність

програмно-апаратного забезпечення, яке береться за необхідне для підтримки доступу до сайту та саму послугу з підтримки доступу прийнято називати хостинг (hosting).

Будемо розглядати сайт як вершину графа, що містить контент та має дуги (ребра графа). Ці дуги є посиланнями на інші сайти або посиланнями на самого себе (рис. 1):

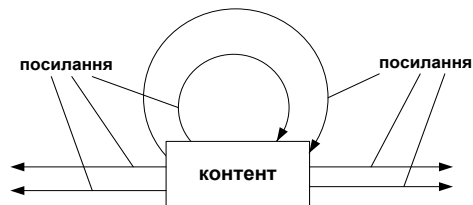


Рис. 1 – Сайт як вершина графа

Крім посилань, зображених на рис. 1, будь-який сайт може мати вхідні дуги, тобто посилання на нього з інших сайтів. Таким чином, сукупність сайтів створює мережу сайтів. Необхідно розрізняти мережу фізично пов'язаних комп'ютерів, що утворюють Інтернет (фізична мережа), та мережу сайтів, що утворена посиланнями одних сайтів на інші (сукупність  $S$  або контентна мережа). Якщо Інтернет перебуває в нормальному стані (відсутні катастрофічні, технічні проблеми), то фізична мережа є однозв'язним графом. Натомість, зазначимо, що сукупність  $S$  не є однозв'язним графом. Докладних досліджень відносно структурованості сукупності  $S$  авторами не знайдено, але, виходячи з досвіду розробки сайтів, можна зробити висновок, що до сукупності  $S$  входять ізольовані елементи, які не мають зв'язків з іншими елементами цієї сукупності.

Учасників Інтернету можна поділити на групи (сектори) за різними ознаками (рис. 2).

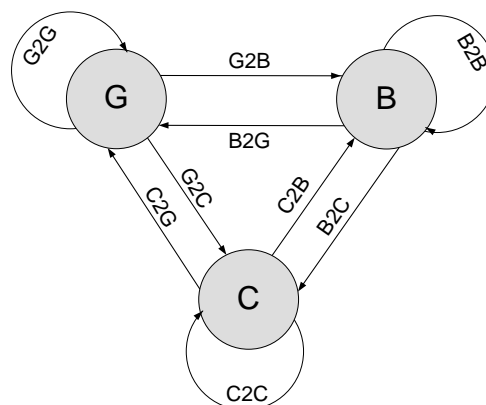


Рис.2 – Групи G, B, C та відносини між ними

На рис. 2 наведено поділ учасників Інтернету на три групи: G (government) – уряд, адміністрація; B (business) – бізнес, юридичні особи; C (customers) – споживач, фізичні особи, домогосподарства.

Відносини між учасниками позначають як B2B (business-to-business), G2C, G2B і т.п.

Розглянемо відносини між цими групами, включаючи само відносини, з точки зору їх ємності у інтернет-маркетингу. Найбільш ємними ділянками для

інтернет-маркетингу є B2B та B2C. Саме відносини «бізнес-бізнес» та «бізнес-клієнт» є основною нішею для інтернет-маркетингу, як і для традиційного маркетингу взагалі. Якщо провести аналіз ринку інтернет-маркетингу, то на думку авторів, перше місце посідає B2C, другим буде B2B, а на третьому місці, швидше за ймовірно, опиниться G2C. Чому B2C посідає першу позицію? Тому що до групи С реально належать всі користувачі Інтернету. Навіть люди, що стоять за корпоративними та урядовими порталами (сайтами), самі також як фізичні особи належать до групи С. Тому це найчисельніша група. Тепер проаналізуємо, хто може дозволити собі фінансувати ІМК. Безумовно, це учасники груп В та Г.

Розглянемо, як учасники групи В мають ділові відносини з учасниками груп Г, В та С. Великий бізнес використовує лобювання як основний метод для побудови відносин з учасниками групи Г. Середній і малий бізнес беруть участь у тендерах та використовують інші форми отримання урядових замовлень. Таким чином, кількість ІМК, які потрібні державним установам, незначна, учасники бізнес-групи самостійно активно шукають можливість отримати урядові замовлення.

Натомість, B2C є найбільш ємною ділянкою для ІМК. Учасники групи В намагаються залучити до переліку своїх клієнтів якнайбільше учасників групи С. Саме для цього учасники групи В використовують ІМК. Організація та проведення ІМК вимагає використання ресурсів, в першу чергу, фінансових, часових та кадрових. Таким чином, постає оптимізаційне завдання досягнення максимального ефекту за наявних ресурсів, або, кажучи мовою математичної дисципліни «дослідження операцій», знаходження оптимального рішення. Оптимальним рішенням  $x_{opt}$  прийнято називати такий план дій (послідовність виконання операцій з використання ресурсів), при якому, за умови дотримання сукупності обмежень  $\Omega = \{l_i \leq \omega_i \leq h_i\}$ , де  $l_i$  та  $h_i$  – нижня та верхня межа використання  $i$ -го ресурсу ( $i \in [1, n]$ ), досягає максимуму (або мінімуму) цільова функція:

$$F(x_{opt}) \rightarrow \max(\min).$$

В економічних завданнях (до яких ми відносимо оптимізацію ІМК) найчастіше як цільову функцію використовують максимізацію прибутків або мінімізацію витрат.

ІМК може бути здійснена двома основними способами:

- розробка власного цільового сайту або розширення вже існуючого;
- використання інформаційних майданчиків на інших сайтах.

Той чи інший спосіб обирається залежно від мети, масштабів, термінів та фінансового забезпечення ІМК.

Розглянемо методи оптимізації ІМК, що використовуються для другого способу.

Визначення цільової аудиторії (таргетинг) як метод оптимізації ІМК.

Із класичного маркетингу відомо, що маркетингова кампанія повинна бути спрямована на конкретну цільову аудиторію, а не проводитися взагалі. У колах інтернет-маркетологів для позначення процесу виділення цільової аудиторії прийнято вживати слово «таргетинг», яке є калькою англійського слова *target* – ціль або мета.

Таргетинг є першим оптимізаційним методом ІМК. Таргетинг дозволяє побудувати маркетингову кампанію так, що вона концентрується на певній частині аудиторії, і, тим самим, підвищується ефективність взаємодії з аудиторією. Це дає можливість показати рекламу саме цільовій аудиторії, що веде до підвищення ефективності рекламного повідомлення. Застосування таргетингу в Інтернеті дає право показувати рекламні банери відповідно до інтересів відвідувачів інформаційного майданчика на конкретному сайті (особливо, коли на сайті застосовується реєстрація користувачів).

Таргетинг починається з етапу збору інформації про цільову аудиторію. На цьому рівні відстежують смаки споживачів, дізнаються, які веб-сторінки та магазини вони відвідують, що роблять в Інтернеті, чим цікавляться тощо. Зібрані таким чином дані про користувача можна надалі використати у маркетингових цілях. Тобто для кожного користувача  $u_k \in U$  можна сформувати інформаційну структуру (профіль)  $p_k$ , яка описує користувача за набором атрибутів. Задамо набір атрибутів  $A$ , як кортеж:

$$A = \langle A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n \rangle, \quad (1)$$

де  $A_i$  –  $i$ -й атрибут набору атрибутів  $A$ ;  
 $n$  – кількість атрибутів.

Тепер профіль  $p_k$  користувача  $u_k$ , можна представити як кортеж значень за кожним з атрибутів  $A$ :

$$p_k = \langle p_{k,1}, \dots, p_{k,n} \rangle. \quad (2)$$

Етап аналізу інформації дозволяє із значного обсягу даних про велику кількість користувачів зробити висновок про уподобання цільової аудиторії, способи комунікації, покупки тощо. Відповідно, для рекламної кампанії відбирають тільки тих користувачів, яким доцільно показувати рекламу. Для цього необхідно оцінити профіль, тобто сформувати функцію (функція залучення), наприклад, булеву, що дозволить залучити конкретного користувача до цільової аудиторії або ні. Розглянемо простий приклад побудови такої функції залучення  $Q(p)$ . Будемо вважати, що кожне значення атрибуту профілю  $p_{k,i} \in p_k$ , де  $i \in [1, n]$  – це дійсне число у діапазоні від нуля до одного (нормалізоване значення). Виразуємо оцінку профілю  $q$  як середньозважену:

$$q = \frac{\sum_{i=1}^n w_i p_{k,i}}{\sum_{i=1}^n w_i}, \quad (3)$$

де  $w_i$  – вага  $i$ -го атрибуту.

Тоді булева функція залучення  $Q(p)$  може бути заданою таким чином:

$$Q(p) = \begin{cases} \text{true}, & q > 0,5 \\ \text{false}, & q \leq 0,5. \end{cases}$$

Тобто, користувача доцільно залучати до цільової аудиторії, якщо оцінка його профілю більша за 0,5, і ні в іншому разі. На практиці значення атрибутів профілю не завжди можна задати як нормалізоване число.

Можна ввести таке визначення цільової аудиторії:

Цільова аудиторія  $T$  – це сукупність користувачів, для яких значення функції залучення для їх профілю є істинним:

$$T = \{u\}, \quad u : Q(p) = \text{true}.$$

Після визначення цільової аудиторії подальшим етапом є створення рекламно-інформаційного повідомлення (реклами), яка зорієнтована саме на цю аудиторію.

Реклама розміщується тільки на тих інформаційних ресурсах, які відвідує потенційна аудиторія (певні сайти, сторінки, розділи магазинів, розділи в журналах, телевізійні передачі, тобто рекламування виконується цілеспрямовано на визначену аудиторію, що значно ефективніше, ніж розміщення реклами без урахування профілю користувача.

У сучасному таргетингу виділяють такі види:

– *тематичний таргетинг* (показ рекламно-інформаційних повідомлень на інформаційних майданчиках, що відповідають певній тематиці);

– *націлювання за контекстом* (демонстрація інформаційно-рекламного повідомлення відповідно до інтересів відвідувачів рекламного майданчика);

– *географічний таргетинг або геотаргетинг* (показ повідомлення цільовій аудиторії з обмеженням за географічним принципом, обмеженою відповідним географічним регіоном, обраним рекламодавцем);

– *таргетинг за часовими параметрами* (показ повідомлення цільовій аудиторії, скажімо, тільки під час обідньої перерви або ввечері, в будні або вихідні, дозволяє обмежити показ реклами і сконцентруватися на часових перевагах цільової аудиторії);

– *соціально-демографічний таргетинг* (концентрація на певних соціально-демографічних параметрах, таких як стать, дохід, соціальний статус, вік і тому подібне);

– *поведінковий таргетинг* (використовується процедура збору інформації про дії користувача: улюблені місця відвідування, маршрути пересування, способи здійснення покупок тощо).

Кожен із перелічених видів таргетингу співвідноситься з одним або кількома атрибутами набору атрибутів  $A$  (1). Як видно з наведеного переліку видів таргетингу, значення багатьох атрибутів не є числовими. Тому оцінювання профілю  $p_k$  користувача  $u_k$

не повинно обмежуватися наведеною вище середньозваженою (3).

**Формування та використання профілю користувача.** Переміщення користувачів між сайтами та відвідування ними певних сайтів відстежується за допомогою механізму cookie-файлів. Інформація про виконану навігацію в Інтернеті збирається в профілях і містить дані про переглянуті сайти, пошукові запити. Особливо цінною є інформація про покупки в інтернет-магазинах, бо вона свідчить про фінансові можливості користувача та наявність досвіду купівлі через Інтернет. Отримавши такий профіль, інтернет-маркетолог може чітко уявити собі користувача, дізнатися його звички й уподобання, стати власником контактних даних.

Профіль користувача, що створюється веб-браузером за своєю структурою не співпадає з  $p_k$  (2). Більшість користувачів використовують тільки один веб-браузер – свій улюблений, але деякі користувачі використовують кілька веб-браузерів для різної мети. І кожен із цих веб-браузерів формує свій профіль користувача. Сайт, який зчитує профіль, має доступ тільки до профілю сформованого тим веб-браузером, у якому відкрита сторінка сайту. Якщо користувач одночасно відкриє сайт у кількох веб-браузерах, то сайт отримає всі ці профілі і вони не будуть співпадати. Тобто для одного користувача  $u_k$  на сайті може сформуватися кілька профілів  $p_k$ .

Профіль користувача, що створюється веб-браузером (cookie-файли), змінюється з часом. Cookie-файли мають термін придатності (час життя). Якщо cookie-файл вичерпав свій час життя, то веб-браузер його вилучає з комп'ютера. Під час виконання дій на сайтах, в тому числі, при відкритті сайту веб-браузер може створювати нові cookie-файли або модифікувати існуючі. Тобто профіль користувача  $p_k$  необхідно розглядати не як сталий, а як функцію від часу  $p_k(t)$ .

Під час проведення ІМК необхідно також використовувати обмеження кількості показів інформаційно-рекламного повідомлення одному користувачеві. Це дозволяє регулювати кількість показів рекламного повідомлення одному унікальному користувачу в процесі його взаємодії з рекламним майданчиком. Цей механізм найчастіше застосовується для банерної реклами з оплатою за кількість показів.

Крім таргетингу, у інтернет-маркетингу використовують процедуру ретаргетингу.

Ретаргетинг – повторне націлювання рекламно-інформаційного повідомлення на тих, хто вже був охоплений на попередніх етапах рекламної кампанії та виконав певні дії, які сигналізують про його готовність до покупки.

**Використання механізму таргетингу.** Таргетинг як метод інтернет-маркетингу набуває все більшої популярності. Як показує аналіз [5], це обумовлено, в першу чергу, такими факторами:

– відносна дешевизна інтернет-маркетингу у порівнянні з offline маркетингом;

– легкість прогнозування та вимірювання ефективності;

– доступність для широкого кола замовників;

– оперативність: можливість запустити кампанію практично будь-якого масштабу і складності протягом декількох годин після постановки завдання.

При прийнятті рішення про запуск ІМК інтернет-маркетологи стикаються з проблемою вибору способу реклами. Дослідження показують, що найбільш перспективним сектором інтернет-маркетингу сьогодні вважаються соціальні мережі: зростання рекламних майданчиків цього типу очікується в межах 55% протягом року, що перевищує прогноз по будь-яких інших майданчиках інтернет-маркетингу [6]. Такий прогноз традиційно пояснюється місцем соціальних мереж в житті сучасної людини та їхньою природою. Так, згідно з проведеними дослідженнями [6], в Росії 89% росіян мають акаунти в соціальних мережах і 23% з них залишаються online протягом 20 годин кожного дня [6]. Ця статистика близька до загальносвітової: наприклад, в США 6% користувачів соціальних мереж залишаються online цілодобово. При цьому середні цифри утримуються на рівні 3-4х годин online для 22% користувачів. Пікова активність припадає на вечірні та обідні години. Для маркетолога це означає перетворення соціальних мереж в найбільш ймовірне місце зустрічі з потенційним покупцем: перебуваючи online протягом третини дня, майбутній клієнт швидше за все побачить рекламу і, будучи розслаблений після робочого дня, цілком можливо, перейде по потрібному посиланню і зробить всі необхідні дії. Така традиційна логіка бізнесменів, зацікавлених в клієнтах по всьому світу. Ця логіка вже отримала безліч практичних підтверджень, й інтернет-маркетинг в секторі B2C зарекомендував себе як ефективний напрямок.

**Аналіз результатів ІМК.** Сучасні Інтернет-технології дозволяють відстежити кількість переходів (відвідувань сайту), здійснених з кожного розміщеного інформаційно-рекламного повідомлення. Так, можна зібрати статистику, скільки користувачів прийшло з конкретного інформаційного майданчика, як довго вони перебували на цільовому сайті, які дії вони виконали на сайті, географію відвідувачів, за якими ключовими словами відвідувачі знаходять сайт у пошукових системах і тому подібне. Всі ці дані можна використовувати для оцінки ефективності ІМК і для формування звітності для замовника ІМК.

Для накопичення статистичних даних на сайт, крім програмного забезпечення, що надається хостером, можна встановлювати додаткове програмне забезпечення – лічильники та лог-аналізатори.

Сукупність методів аналізу цих статистичних даних прийнято називати веб-аналітика (*Web analytics*) – новий напрям у аналітичній діяльності, який Вікіпедія [1] визначає як «вимір, збір, аналіз, подання та інтерпретація інформації про відвідувачів веб-сайтів з метою її поліпшення та оптимізації». Однею з задач веб-аналітики є «оцінка ефективності рекламних кампаній в інтернеті».

На теперішній момент інструментом номер один

у веб-аналітиці є Google Analytics [7]. Одним з чинників цього лідерства є його безкоштовність. Аналітичне порівняння «10 найпопулярніших інструментів веб-аналітики» наведено у [8].

Але інструменти, що наведені [8] не задовольняють всім вимогам інтернет-маркетологів. Для надання цим інструментам функціональності, що потрібна інтернет-маркетологам, необхідна розробка математичного та інфонологічного забезпечення, яке дозволить створити більш ефективні аналітичні інформаційні системи інтернет-маркетингу.

**Висновки.** Виконано моделювання структури Інтернету як середовища проведення ІМК. У цій моделі об'єкти Інтернету розглядаються як елементи трьох груп (секторів): G(government) – уряд, адміністрація; B(business) – бізнес, юридичні особи; C(customers) – споживач, фізичні особи, домогосподарства. Показано, що організація та проведення ІМК належить до оптимізаційних задач. Подано формалізацію поняття «профіль користувача», «функція залучення» та «цільова аудиторія».

Автори вважають, що актуальним питанням є розробка математичного та інфонологічного забезпечення, яке дозволить створити більш ефективні аналітичні інформаційні системи інтернет-маркетингу.

#### Список літератури

1. *Вікіпедія*. Режим доступу : <https://uk.wikipedia.org>. – Дата звертання : 10 серпня 2016.
2. *Котлер Ф.* Маркетинг в третьем тысячелетии: Как создать, завоевать и удержать рынок / *Ф. Котлер* – М. : ООО «Издательство АСТ», 2001. – 272 с.
3. *Литовченко І. Л.* Інтернет-маркетинг / *І. Л. Литовченко* – К. : Центр учбової літератури, 2011. – 332 с.
4. *Холланд Г.* Директ-маркетинг / *Г. Холланд*. – М. : Вершина, 2006. – 365 с.
5. *Беленький А. С.* Куда движется рынок интернет-рекламы / *А. С. Беленький, А. Д. Найдич* – Режим доступу : <http://compress.ru/article.aspx?id=23163#2> – Дата звертання : 10 серпня 2016.
6. *Исследование социальных медиа в России* / Режим доступу : <http://www.cossa.ru/articles/149/2467/> – Дата звертання : 10 серпня 2016.
7. *Офіційний веб-сайт Google Analytics – Веб-аналітика та звітування – Google Analytics* / Режим доступу : [https://www.google.com/intl/uk\\_ua/analytics/](https://www.google.com/intl/uk_ua/analytics/) – Дата звертання : 10 серпня 2016.
8. *10 инструментов веб-аналитики, на которые стоит обратить внимание* / Режим доступу : <https://www.seonews.ru/analytics/10-instrumentov-veb-analitiki-na-kotorye-stoit-obratit-vnimanie/> – Дата звертання : 10 серпня 2016.

#### References (transliterated)

1. *Wikipediya*. [Wikipedia]. Available at: <https://uk.wikipedia.org> (accessed: 10.08.2016)
2. *Kotler F. Marketing v tret'em tysjacheletii: Kak soz-dat', zavoevat' i uderzhat' rynek* [Marketing in the third millennium]. Moscow, AST Publ., 2001. 272 p
3. *Lytovchenko I. L. Internet-marketynh* [Internet-marketing]. Kyiv, Center of educational literature Publ., 2011. 332 p.
4. *Holland G. Direkt-marketing* [Direct marketing]. Moscow, Vershina Publ., 2006. 365 p.
5. *Belen'kij A.S. Kuda dvizhetsja rynek internet-reklamy* [Wich moves internet-advertising market]. Available at: <http://compress.ru/article.aspx?id=23163#2> (accessed: 10.08.2016)
6. *Issledovanie social'nyh media v Rossii* / [Research of social media in Russia]. Available at: <http://www.cossa.ru/articles/149/2467/> (accessed: 10.08.2016)

7. Ofitsiynyy veb-sayt Google Analytics – Veb-analytika ta zvituvannya – Google Analytics. [Web analytics and reporting – Google Analytics]. Available at: [https://www.google.com/intl/uk\\_ua/analytics/](https://www.google.com/intl/uk_ua/analytics/) (accessed: 10.08.2016)
8. 10 instrumentov veb-analitiki, na kotorye stoit obratit' vnimanie [10 tools of web analytics are worth paying attention] . Available at: <https://www.seonews.ru/analytics/10-instrumentov-veb-analitiki-na-kotorye-stoit-obratit-vnimanie/> (accessed: 10.08.2016)

Надійшла (received) 09.09.2016

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Аналіз та моделювання інтернет-маркетингу / М. А. Омаров, Т. В. Тиха** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХПІ», 2016. – № 37 (1209). – С. 67–72. – Бібліогр.: 8 назв. – ISSN 2079-0023.

**Анализ и моделирование интернет-маркетинга / М. А. Омаров, Т. В. Тихая** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 37 (1209). – С. 67–72. – Бібліогр.: 8 назв. – ISSN 2079-0023.

**Analysis and modeling of Internet Marketing / M. A. Omarov, T. V. Tikhaya** // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2016. – No. 37 (1209). – P. 67–72. – Bibliogr.: 8. – ISSN 2079-0023.

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Омаров Мурад Анверович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри природознавчих наук Харківського національного університету радіоелектроніки, м. Харків; тел.: (057) 702-15-24; e-mail: [murad.omarov@nure.ua](mailto:murad.omarov@nure.ua).

**Омаров Мурад Анверович** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры естественных наук Харьковского национального университета радиоэлектроники, г. Харьков; тел.: (057) 702-15-24; e-mail: [murad.omarov@nure.ua](mailto:murad.omarov@nure.ua).

**Omarov Murad Anverovich** – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Professor at Department of Natural Science; tel.: (057) 702-15-24; e-mail: [murad.omarov@nure.ua](mailto:murad.omarov@nure.ua).

**Тиха Тетяна Вікторівна** – старший викладач кафедри природознавчих наук Харківського національного університету радіоелектроніки, м. Харків; тел.: (057) 702-15-24; e-mail: [tetiana.tykha@nure.ua](mailto:tetiana.tykha@nure.ua).

**Тихая Татьяна Викторовна** – старший преподаватель кафедры естественных наук Харьковского национального университета радиоэлектроники, г. Харьков; тел.: (057) 702-15-24; e-mail: [tetiana.tykha@nure.ua](mailto:tetiana.tykha@nure.ua).

**Tikhaya Tatyana Victorivna** – Kharkiv National University of Radio Electronics, Senior Lecturer at Department of Natural Science; tel.: (057) 702-15-24; e-mail: [tetiana.tykha@nure.ua](mailto:tetiana.tykha@nure.ua).



УДК 681.518 +37.013.32

**В. Х. МУРАДОВА**

## МОДЕЛЬ УСТОЙЧИВОЙ ДЕТЕРМИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Аналізується дистанційна освіта та виконана розробка моделі, для використання її в якості теоретичної основи для розробки інформаційного забезпечення управління процесом дистанційного навчання. Проведено порівняльний аналіз видів моделювання та проаналізовано методологія побудови моделей. Для досягнення мети було використано інформаційне та імітаційне моделювання. Проведено історико-аналітичне дослідження побудови моделей дистанційного навчання. Побудована інформаційна (інформаційно-ресурсна) модель дистанційного навчання.

**Ключові слова:** модель, моделювання, детермінована система, дистанційна освіта, дистанційне навчання, платформа MOODLE, тьютор, інформаційна модель.

Анализируется дистанционное образование и выполнена разработка модели, для использования ее в качестве теоретической основы для разработки информационного обеспечения управления процессом дистанционного обучения. Проведен сравнительный анализ видов моделирования и проанализирована методология построения моделей. Для достижения цели было использовано информационное и имитационное моделирование. Проведено историко-аналитическое исследование построения моделей дистанционного обучения. Построена информационная (информационно-ресурсная) модель дистанционного обучения.

**Ключевые слова:** модель, моделирование, детерминированная система, дистанционное образование, дистанционное обучение, платформа MOODLE, тьютор, информационная модель, информационно-ресурсная модель.

Analyzes the model, to use it as a theoretical basis for the development of information of management of distance learning process. A comparative analysis of the kinds of simulations (mathematical, informational, computer, logical, pedagogical, structural and etc.) and analyzed the methodology of constructing models. Information and simulations were used to achieve the goal. A historical and analytical study of the construction of distance learning models. Built information (Information Resource) model of distance learning. The analysis of distance learning platform MOODLE platform and selected as the most promising for use in the system of distance education in higher educational institutions.

**Keywords:** model, modeling, deterministic system, distance education, distance learning, tutor, MOODLE platform, information model.

**Введение.** Платформа дистанционного обучения (ДО) – это набор технологий и информационных ресурсов, позволяющих организовать и проводить дистанционное обучение. На данный момент существует большое количество таких платформ, а также разработок претендующих на это звание. Некоторые из них уже не используются, другие, наоборот, успешно применяются и развиваются [1].

Как отмечают некоторые авторы, платформа Moodle позволяет организовать продуктивную самостоятельную работу студента по овладению учебной дисциплиной, способствует формированию профессиональных компетенций, мобильности, умению искать и овладеть новыми знаниями. Эта платформа обеспечивает следующее: а) придает новое качество обучению, обеспечивая постоянный доступ к информации в любой момент времени; б) способствует формированию гибкого обучения на основе новых возможностей информационно-телекоммуникационных услуг по доставке учебных текстов, графических материалов и проведению видеоконференций; в) благодаря автоматизации и компьютеризации изменяет методы обучения; г) позволяет обеспечить эффективную обратную связь. Использование этой платформы в обучении студентов способствует реализации принципов сознательности и активности в обучении, развитию самосознательности.

**Целью исследования** является разработка модели дистанционного образования для использования ее в качестве теоретической основы при разработке информационного обеспечения управления процессом дистанционного обучения.

**Постановка задачи.** Сегодня в литературе можно встретить множество определений понятия «модель». Например, Штерензон В. А. [2] под моделью понимает такой материальный или мысленно представляемый объект, который в процессе познания (изучения) замещает объект-оригинал, сохраняя некоторые важные для данного исследования типичные его черты.

Моделирование – это один из теоретических методов научного исследования, своего рода логика упрощения. Само понятие модели в нашем понимании – это упрощенное, но содержащее существо явления, описание действительности, сделанное с какой-либо целью. Описываемые ниже модели элементов системы дистанционного обучения относятся к идеальным моделям описательного порядка. Для их построения начиная с 1994 года многими специалистами непрерывно собиралась и обобщалась информация, полученная в результате изучения деятельности образовательных учреждений дистанционного обучения, научно-технических и научно-практических конференций по проблемам ДО учебно-методических разработок преподавателей, реализующих технологии ДО в этих учреждениях, изучения документов, отчетов, рекламных материалов, статей в периодической печати, научной литературы, учебных пособий по ДО; бесед и интервью со специалистами. Разработчики моделей принимали непосредственное участие в подготовке и проведении реального учебного процесса ДО в вузах в качестве преподавателя и, наоборот, проходили обучение в качестве слушателя в некоторых из них. В результате удалось осуществить систематизацию основных вариантов организации прове-

дения ДО.

Историко-аналитическое исследование литературных источников показало, что построению моделей дистанционного обучения было уделено внимание рядом авторов. В частности, в работе коллектива специалистов под руководством Е. С. Полат [3]. В этой монографии рассматриваются шесть моделей:

1. Обучение по типу экстерната.
2. Обучение на базе одного университета.
3. Обучение, основанное на сотрудничестве нескольких учебных заведений.
4. Обучение в специализированных образовательных учреждениях.
5. Автономные обучающие системы.
6. Неформальное, интегрированное обучение на основе мультимедийных программ.

С нашей точки зрения в данной типологии моделей нет строгого основания (признака), по которому авторы проводили типологизацию, так как модели взаимодействия нескольких образовательных учреждений ДО для предоставления образовательных услуг, не разведены с вариантами проведения учебного процесса обучения в конкретном образовательном учреждении.

Другая известная разработка моделей проведена Р. Танингой и И. Сейненом (R. S. J. Tuninga и I. V. J. Seinen). Они ставили следующие задачи [4]:

- проанализировать особенности, отличающие дистанционную форму образования от очной (традиционной) формы образования;
- рассмотреть различные методы моделирования и выбрать из них метод, наиболее эффективный для поставленной цели;
- разработать модель, которую можно использовать как основу для проектирования и разработки информационного обеспечения управления процессом дистанционного обучения.

В результате были разработаны следующие модели ДО [4]:

- консультационная модель;
- модель корреспонденции (переписки);
- модель регулируемого самообучения.

#### **Обоснование выбора метода моделирования.**

Моделирование применяется в тех случаях, когда проведение реального эксперимента сопряжено с опасностью, высокими экономическими и временными затратами или когда он неудобен в масштабе пространства и времени.

В науке и технике не существует единой классификации видов моделирования – классификацию можно проводить по характеру моделей и моделируемых объектов, по сферам приложения моделирования (в технике, физических науках, кибернетике и т. д.).

Выделим следующие виды моделирования:

- информационное моделирование;
- компьютерное моделирование;
- математическое моделирование;
- логическое моделирование;
- педагогическое моделирование;
- психологическое моделирование;

- структурное моделирование;
- физическое моделирование;
- имитационное моделирование;
- эволюционное моделирование.

**Информационное моделирование** (informational computation) связано с формализацией данных об объекте моделирования [5]. Построение информационной модели начинается с определения целей моделирования и анализа объекта моделирования как сложной системы, в которой требуется выделить отражаемые в модели свойства и отношения между ними. Информационные модели различаются по форме представления информации об объекте моделирования.

**Компьютерное моделирование** (computer modeling). С помощью компьютерного моделирования решаются многие научные и производственные задачи [6]. Компьютерное моделирование – это разновидность математического моделирования. Оно обладает рядом известных преимуществ перед другими методами исследований (универсальность, гибкость, экономичность) и позволяет в значительной мере разрешить одну из основных проблем современной науки – проблему сложности.

**Математические модели** (mathematical modeling) используют язык математики для представления объекта моделирования. Отдельной разновидностью математических моделей являются *статистические модели* – ориентированные на обработку *массовых данных* (например, опросов населения), в которых имеется элемент случайности [5]. Данные об объекте моделирования, организованные в табличной форме, составляют *табличную модель*. В настоящее время широко применяется следующие виды математического моделирования: аналитическое и имитационное.

**Методы логического моделирования** (logical modeling) используются для качественного описания развития прогнозируемого объекта на основе выявления причинно-следственной зависимости, взаимосвязи единичного и общего, использования общих приемов логики (анализа, синтеза, дедукции, индукции, умозаключения по аналогии и т. д.) [7].

**Педагогическое моделирование** (pedagogical modeling) – это разработка целей (общей идеи) создания педагогических систем, процессов или ситуаций и основных путей их достижения [8]. Любая педагогическая деятельность начинается с цели. Поставленная цель заставляет задуматься о том, где и когда воспитываемые у учащихся качества будут востребованы, в каких условиях и как реализованы. Поставленная цель способствует возникновению идей, с помощью которых ее можно осуществить. Это позволяет спрогнозировать педагогический процесс.

**Моделирование в психологии** (modeling in psychology) применение метода моделирования в психологических исследованиях. Оно развивается в двух направлениях [9]:

- знаковая или техническая имитация механизмов, процессов и результатов психической деятельности – моделирование психики;

– организация того или иного вида человеческой деятельности путем искусственного конструирования среды этой деятельности – моделирование ситуаций, связывающих изучаемые психические процессы (последнее принято называть *психологическим моделированием*).

**Структурное моделирование** (structural modeling) – это методология для проверки огромного количества параллельных гипотез о наличии причинно-следственных связей. Эта методология особенно эффективна при работе с данными, полученными в условиях корреляционного дизайна [10].

**Физическое моделирование** (physical modeling) осуществляется путем воспроизведения исследуемого процесса на модели, имеющей в общем случае отличную от оригинала природу, но одинаковое математическое описание процесса функционирования. Физическое моделирование позволяет провести исследование процессов и систем, непосредственный анализ которых затруднен или невозможен [11].

**Имитационное моделирование** (simulation) – это создание компьютерной программы, которая описывает структуру и воспроизводит поведение реальной системы во времени. Имитационная модель позволяет получать подробную статистику о различных аспектах функционирования системы в зависимости от входных данных. Преимуществом имитационных моделей является возможность замены масштабов процесса и масштабов временных интервалов [12].

**Эволюционное моделирование** (evolutionary modeling) – направление в искусственном интеллекте, в основе которого лежат принципы и понятийный аппарат, заимствованные из эволюционной биологии и популяционной генетики и объединяющие компьютерные методы (генетические алгоритмы, генетическое программирование, эволюционное программирование и эволюционные стратегии) моделирования эволюционных процессов в искусственных системах [13].

### Сравнительный анализ видов моделирования.

Автор считает, что для достижения поставленной цели следует использовать, в первую очередь, информационное и имитационное моделирование.

Можно выделить две разновидности имитации:

– метод Монте-Карло (метод статических испытаний);

– метод имитационного моделирования (статистическое моделирование).

Метод Монте Карло – это общее название группы численных методов, основанные на получении большого числа реализаций стохастического (случайного) процесса, который формируется таким образом, чтобы его вероятностные характеристики совпадали с аналогичными величинами решаемой задачи. Он используется для решения задач в различных областях физики, химии, математики, экономики, оптимизации, теории управления и др.

Статистическое и эконометрическое моделирование – исследование объектов познания на их статистических моделях: построение и изучение моделей реально существующих предметов, процессов или явлений (например, экономических процессов в эконометрике) с целью получения объяснений этих явлений, а также для предсказания явлений или показателей, интересующих исследователя.

**Методология построения моделей.** Методология построения моделей выступает в форме описаний и предписаний, в которых фиксируются содержание свойств или требований к модели и последовательность определённых видов построения моделей. В. П. Савиных в своей работе [14] рассматривает следующие свойства модели: интерпретируемость, структурность, отражение, соответствие, представление.

Также в своей работе В.П. Савиных применяет три типа информационных моделей (рис. 1), а именно информационно-описательные, ресурсные, интеллектуальные [14].



Рис. 1 – Классификация информационных моделей

*Информационно-описательным классом моделей* называют класс моделей, которые построены как описание некоего процесса, явления, объекта, сущности, факта и т. д. Модели этого класса выполняют функции информационного сообщения. Для информационно-описательных моделей характерны следующие признаки: внутренняя интерпретируемость, структурированность, связность. Внутренняя интерпретируемость достигается использованием тезаурусов или словарей, связность достигается на основе контекста. Примерами таких моделей могут служить: файл, текстовый документ, речевое сообщение, рисунок и пр. [14].

*Информационно-ресурсным классом моделей* называют класс моделей, включающих свойства моделей информационно-описательного класса и обладающих свойствами накопления информации и совершенствования. Это свойство называют актуализацией, т. е. возможностью обновления части информации, содержащейся в модели при сохранении модели как таковой. Основные функции этих моделей это описание объекта, хранение информации о нем, получение дополнительной информации с помощью запросов к хранимой информации [14].

*Интеллектуальные модели* – модели, обладающих способностью к накоплению информации, самосовершенствованию и осуществлению действий независимо от субъекта, создавшего эти модели [14].

В [1] авторами была предложена тривиальная модель обучения (рис. 2), которая включает в себя минимальный набор элементов:

- тьютор;
- обучаемый;
- платформа дистанционного обучения.

Все эти элементы находятся в окружении (образовательная среда), которое включает в себя социальные, законодательные и другие факторы, влияющие на процесс обучения. В [1] авторами была предложена тривиальная модель обучения (рис. 2), которая включает в себя минимальный набор элементов:

- тьютор;
- обучаемый;
- платформа дистанционного обучения.

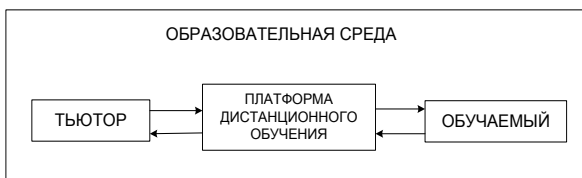


Рис. 2 – Тривиальная модель дистанционного обучения

Все эти элементы находятся в окружении (образовательная среда), которое включает в себя социальные, законодательные и другие факторы, влияющие на процесс обучения.

В результате было выяснено что, в информационных технологиях модель должна иметь следующие свойства:

- целенаправленность;
- конечность;

- адекватность;
- технологичность;
- информативность;
- устойчивость;
- замкнутость;
- адаптивность;
- управляемость (имитационность);
- эволюционируемость.

Моделирование может быть детерминированным и стохастическим. Детерминированное моделирование отображает детерминированные процессы, то есть процессы, в которых предполагается отсутствие всяких случайных воздействий. Стохастическое же моделирование отображает вероятностные процессы и события.

**Процесс построение и использование модели устойчивой детерминированной системы дистанционного образования.** При разработке модели устойчивой детерминированной дистанционного образования были учтены требования к такой системе, выдвинутые в работе [15], а именно, что система дистанционного образования должна включать такие подсистемы как финансово-экономическая, нормативно-правовая и другие. На рис. 3 приведена разработанная информационно-ресурсная модель устойчивой детерминированной системы дистанционного образования. Под устойчивостью в данном случае понимается стабильность интересов участников образовательного процесса, то есть стабильной является мотивация участников.

На рис. 3 номера связей имеют следующее значение:

**для преподавателя:**

- 1 – подготовка и размещение материалов;
- 2 – использование нормативных документов;
- 3 – финансовые отношения;
- 4 – ведение отчетности выполненной работы;
- 5 – участие в разработке рекламно-маркетинговых кампаний;

**для тьютора:**

- 6 – рассылка материалов;
- 7 – проведение консультаций (в on-line режиме);
- 8 – обратная связь с обучаемым;
- 9 – использование нормативных документов;
- 10 – финансовые отношения;
- 11 – ведение отчетности выполненной работы;
- 12 – участие в разработке рекламно-маркетинговых кампаний;

**для администрации:**

- 13 – формирование нагрузки преподавателей и тьюторов;
- 14 – управление финансовыми потоками;
- 15 – анализ выполнения работы преподавателей и тьюторов, контроль успеваемости студентов;
- 16 – планирование и управление маркетинговыми компаниями;

**для студентов:**

- 17 – получение и изучение материала;
- 18 – выполнение контрольных работ и тестовых заданий;
- 19 – on-line консультирование;

20 – исполнение нормативных документов;  
21 – финансовые отношения;

22 – регистрация и выбор (формирование) плана,  
получение документов о результатах обучения;  
23 – получение реклам.

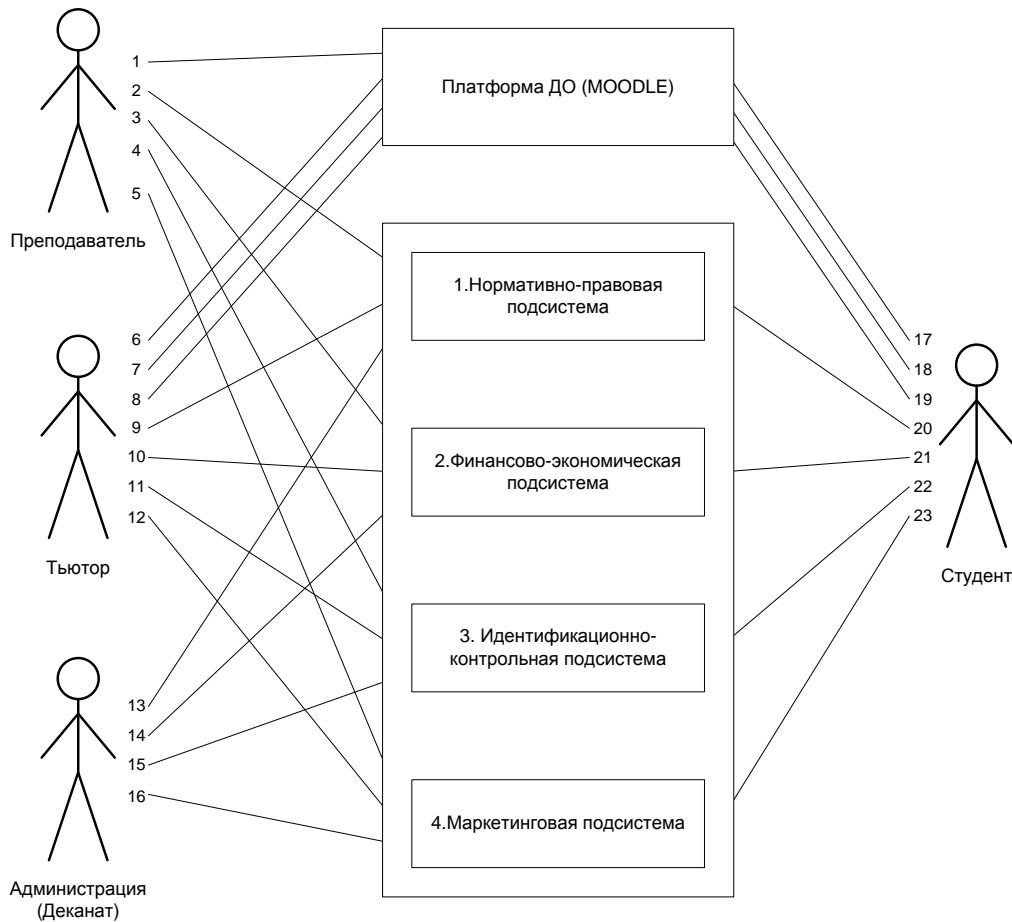


Рис. 3 – Модель устойчивой детерминированной системы ДО (информационно-ресурсная модель)

На основе предложенной модели (см. рис. 3) предполагается выполнить проектирование информационной системы управления процессом дистанционного обучения в учреждении высшего образования.

**Выводы.** В результате проведенного анализа были выявлены особенности дистанционной формы

образования, которые отличают ее от очной формы обучения. Была разработана модель дистанционной формы образования, которую предполагается использовать в качестве теоретической основы для разработки информационного обеспечения управления процессом дистанционного обучения.

#### Список литературы

1. Омаров М. А. О функционировании системы дистанционного образования в современном образовательном пространстве / М. А. Омаров, В. Х. Мурадова // Ученые записки Азербайджанского Технического Университета. – 201. – Т. 1. – № 3. ( в печати).
2. Штерензон В. А. Моделирование технологических процессов: конспект лекций / В. А. Штерензон // Екатеринбург : Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2010. – 66 с.
3. Теория и практика дистанционного обучения: Учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений / ред. Е. С. Полат. – М. : Академия, 2004. – 416 с.
4. Модели дистанционного обучения [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://edunews.ru/onlajn/info/klassifikacija-modelej-do.html> – Дата обращения: 2 сентября 2016.
5. Лекционный материал для работы учителей информатики (раздел из энциклопедии для учителя информатики) [Электронный ресурс] // «Проблемы предметной области. Информатика». – Режим доступа : [http://www.orenipk.ru/kp/distant\\_vk/docs/2\\_1\\_1/inf/inf\\_mod.html](http://www.orenipk.ru/kp/distant_vk/docs/2_1_1/inf/inf_mod.html) – Дата обращения: 2 сентября 2016.
6. Энциклопедия учителя информатики. IV. Информационное моделирование [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://inf.1september.ru/2007/13/01.html> – Дата обращения: 7 сентября 2016.
7. Засыпкина Е. В. Педагогическое моделирование как фактор перспективы модернизации образования / Засыпкина Елена Викторовна // Сургут : МОУ СОШ № 46. [Электронный ресурс] Режим доступа : <http://school46.admsurgut.ru/win/download/1179/> – Дата обращения: 7 сентября 2016.
8. Методы логического моделирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://pravostory.ru/finansy-2/marketologu/9600-metody-logicheskogo-modelirovaniya.html> – Дата обращения: 11 октября 2016.
9. Большая психологическая энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://psychology.academic.ru/5452> – Дата обращения: 11 октября 2016.
10. Бентлер П. Структурное моделирование: история, приложения и возможности // Сборник международной конференции «Современные методы психологии». [Электронный ресурс] Режим доступа : [http://psyjournals.ru/modern\\_psychological\\_methods/issue/30680.shtml](http://psyjournals.ru/modern_psychological_methods/issue/30680.shtml) – Дата обращения: 14 сентября 2016.

11. Большая энциклопедия нефти и газа [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.ngpedia.ru/id159002p1.html> – Дата обращения: 16 сентября 2016.
12. Многоподходное имитационное моделирование [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.anylogic.ru/use-of-simulation> – Дата обращения: 20 сентября 2016.
13. Аверченков В. И. Эволюционное моделирование и его применение / В. И. Аверченков, П. В. Казаков // М. : ФЛИНТА, 2011. – 200 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://books.google.com.ua/books?id=nV1IAAAAQBAJ&pg=PA8&lpg=PA8&dq#v=onepage&q&f=false> – Дата обращения: 20 сентября 2016.
14. Савиных В. П. Информационные модели в дистанционных исследованиях Земли / Виктор Петрович Савиных // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. – № 1 (13). С. 109–121. [Электронный ресурс] Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/informatsionnye-modeli-v-distantsionnyh-issledovaniyah-zemli> – Дата обращения: 28 сентября 2016.
15. Андреев А. А. Дистанционное обучение: сущность, технология, организация. / А. А. Андреев, В. И. Солдаткин // М. : МЭСИ, 1999. – 196 с.
6. Jenciklopedija učitelja informatiki. IV. Informacionnoe modelirovanie [Encyclopedia of Computer Science teachers. IV. Information modeling]. Available at: <http://inf.1september.ru/2007/13/01.html> (accessed 07.09.2016)
7. Zasypkina Elena Viktorovna. Pedagogicheskoe modelirovanie kak faktor perspektivy modernizacii obrazovanija [Pedagogical modeling as a factor in the prospects of modernization of education]. Surgut, MOU SOSH № 46 Publ. Available at: <http://school46.admsurgut.ru/win/download/1179/> (accessed 07.09.2016)
8. Metody logicheskogo modelirovanija [Methods of logic simulation]. Available at: <http://pravostory.ru/finansy-2/marketologu/9600-metody-logicheskogo-modelirovanija.html> (accessed 11.10.2016)
9. Modelirovanie v psihologii [Modeling in psychology]. Available at: <http://psychology.academic.ru/5452> (accessed 11.10.2016)
10. Bentler P. Strukturnoe modelirovanie: istorija, prilozhenija i vozmozhnosti Sbornik mezhdunarodnoj konferencii «Sovremennye metody psihologii» [Structural modeling: history, applications and opportunities]. Available at: [http://psyjournals.ru/modern\\_psychological\\_methods/issue/30680.shtml](http://psyjournals.ru/modern_psychological_methods/issue/30680.shtml) (accessed 14.09.2016)
11. Bol'shaja jenciklopedija nefiti i gaza. Fizicheskoe modelirovanie [Great Encyclopedia of Oil and Gas. Physical modeling]. Available at: <http://www.ngpedia.ru/id159002p1.html> (accessed 16.09.2016)
12. Mnogopodhodnoe imitacionnoe modelirovanie [Simulation]. Available at: <http://www.anylogic.ru/use-of-simulation> (accessed 20.09.2016)
13. Averkhenkov V. I., Kazakov P. V. Jevoljucionnoe modelirovanie i ego primenenie [Evolutionary modeling and its application]. Moscow, FLINTA Publ., 2011. 200 p. Available at: <https://books.google.com.ua/books?id=nV1IAAAAQBAJ&pg=PA8&lpg=PA8&dq#v=onepage&q&f=false> (accessed 20.09.16)
14. Savinyh V. P. Informacionnye modeli v distantsionnyh issledovaniyah Zemli [Information models in remote research of the Earth]. *Obrazovatel'nye resursy i tehnologii netika*. 2016, no. 1 (13), pp. 109–121. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/informatsionnye-modeli-v-distantsionnyh-issledovaniyah-zemli> (accessed 28.09.2016)
15. Andreev A. A., Soldatkin V. I. Distantsionnoe obuchenie: sushhnost', tehnologija, organizacija. [Distance Learning essence, technology, organization]. Moscow, MESI Publ., 1999. 196 p.

Поступила (received) 01.11.2016

#### References (transliterated)

#### Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

**Модель стійкої детермінованих системи дистанційного освіти / В. Х. Мурадова** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – X. : НТУ «ХПІ», 2016. – № 37 (1209). – С. 73–78. – Бібліогр.: 15 назв. – ISSN 2079-0023.

**Модель устойчивой детерминированной системы дистанционного образования / В. Х. Мурадова** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 37 (1209). – С. 73–78. – Библиогр.: 15 назв. – ISSN 2079-0023.

**Sustainable model deterministic systems distance education / V. X. Muradova** // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov : NTU "KhPI", 2016. – No. 37 (1209). – P. 73–78. – Bibliogr.: 15. – ISSN 2079-0023.

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Мурадова Вюсалья Худаширин кызы** – аспірантка, старший преподаватель кафедри естественних наук, Харківський національний університет радіоелектроніки, г. Харків; тел.: (050) 859-62-62; e-mail: viusalia.muradova@nure.ua.

**Мурадова Вюсалья Худаширін кизи** – аспірантка, старший викладач кафедри природознавчих наук, Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків; тел.: (050) 859-62-62; e-mail: viusalia.muradova@nure.ua.

**Muradova Vyusala Xudasirin kizi** – graduate student, senior lecturer Department of Natural Sciences, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv; tel.: (050) 859-62-62; e-mail: viusalia.muradova@nure.ua.

## ЗМІСТ

<b>Куценко А. С., Коваленко С. В., Товажнянский В. И.</b> Оптимальная стабилизация теплового состояния здания .....	3
<b>Severin V. P., Nikulina E. N., Buriakovskiy V. S.</b> Development of the controller for the quadcopter Finken in simulation enviroment VRep.....	9
<b>Пиротти Е. Л., Олейник В. И.</b> Моделирование энергопотока на конечном временном отрезке .....	13
<b>Dvukhglavov D. E., Muzyka O. V., Hlazkov S. O.</b> Model of the situations recognition in conditions dissimilar and incomplete data.....	17
<b>Гужва В. А., Соколова А. Г., Косталан В. О.</b> Скоринг ценных бумаг с использованием программного продукта «Stock Exchange DSS» .....	22
<b>Раскин Л. Г., Карпенко В. В.</b> Расчет рационального числа каналов системы обслуживания множества территориально распределённых клиентов .....	28
<b>Стадник Г. А.</b> Система підтримки прийняття рішень, що функціонує в режимі автоматичної класифікації.....	35
<b>Левыкин В. М., Чалая О. В.</b> Иерархическая модель контекста знание-емкого бизнес-процесса .....	43
<b>Нескорородева Т. В.</b> Методология создания и применения информационной технологии обобщенного многомерного анализа данных синтетического учета по направлениям преобразований подчиненным предпосылкам бухгалтерского учета.....	48
<b>Левыкин И. В.</b> Алгоритм выбора и корректировки модели прецедента аналога в задачах управления бизнес процессами.....	52
<b>Стратієнко Н. К., Бородіна І. О.</b> Розв'язання задачі сегментування ринку комп'ютерної техніки на основі кластерного аналізу.....	57
<b>Стратієнко Н. К., Козіна О. А., Бородіна І. О.</b> Автоматизація маркетингових досліджень продажів, ціни та товару на моторобудівному підприємстві.....	62
<b>Омаров М. А., Тиха Т. В.</b> Аналіз та моделювання інтернет-маркетингу.....	67
<b>Мурадова В. Х.</b> Модель устойчивой детерминированной системы дистанционного образования.....	73

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ВІСНИК  
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
«ХПІ»**

**Збірник наукових праць**

Серія:  
Системний аналіз, управління  
та інформаційні технології

№ 37 (1209) 2016

Наукові редактори д-р техн. наук, проф. М. Д. Годлевський,  
д-р техн. наук, проф. О. С. Куценко  
Технічний редактор канд. техн. наук, проф. М. І. Безменов

Відповідальний за випуск канд. техн. наук Г. Б. Обухова

**АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ:** 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21, НТУ «ХПІ».  
Кафедра системного аналізу і управління.  
Тел.: (057) 707-61-03, (057) 707-66-54; e-mail: bezmenov@kpi.kharkov.ua

Обл.-вид № 34–16.

Підп. до друку 25.11.2016 р. Формат 60×84 1/8. Папір офсетний.  
Друк офсетний. Гарнітура Таймс. Умов. друк. арк. 9,3.  
Тираж 100 пр. Зам. № 739. Ціна договірна.

---

Видавничий центр НТУ «ХПІ». Свідоцтво про державну реєстрацію  
суб'єкта видавничої справи ДК № 3657 від 24.12.2009 р.  
61002, Харків, віл Фрунзе, 21

---

Друкарня «ФОП Пісня О. В.»  
Свідоцтво про державну реєстрацію ВО2 № 248750 від 13.09.2007 р.  
61002, Харків, вул. Гіршмана, 16а, кв. 21, тел. (057) 764-20-28

---