

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

ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
«ХПІ»

Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології

№ 28 (1250) 2017

Збірник наукових праць

Видання засноване у 1961 р.

Харків
НТУ «ХПІ», 2017

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХПІ». – 2017. – № 28 (1250). – 104 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. та наказом МОН України № 1021 (додаток 11) від 07.10.2015 р.

Координаційна рада:

Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф. (**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.;

Ю. В. ТИМОФІЄВ, 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.;

Б. Карпушевський, д-р техн. наук, проф. (Німеччина); І. В. Кононенко, д-р техн. наук, проф.;

Л. М. Любчик, д-р техн. наук, проф.; Л. Г. Раскін, д-р техн. наук, проф.;

В. П. Северин, д-р техн. наук, проф.; М. В. Ткачук, д-р техн. наук, проф.;

Н. Ф. Хайрова, д-р техн. наук, проф.; А., Хамрол, д-р техн., проф. (Польща);

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)**. Повний перелік див. на сайті <http://samit.khpi.edu.ua/>*

Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ «ХПІ».

Протокол № 6 від 07 липня 2017 р.

УДК 519.2

Д. В. ДМИТРИШИН, А. М. СТОКОЛОС, И. М. СКРЫННИК, Е. Д. ФРАНЖЕВА

ОБОБЩЕНИЕ НЕЛИНЕЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ

Розглядається проблема стабілізації нестійких періодичних орбіт дискретних нелінійних систем. Пропонується нове узагальнення зворотного зв'язку з запізненням, що вирішує задачу стабілізації. Зворотний зв'язок представляється у вигляді опуклої комбінації нелінійного зворотного зв'язку та напівлінійного зворотного зв'язку, введеного О. Morgul. При цьому в статті метод О. Morgul був перенесений зі скалярного випадку у векторний. Показано, що додаткове введення в рівняння напівлінійного зв'язку дозволяє суттєво змінити довжину передісторії, що використовується в управлінні, та підвищити швидкість збіжності збурених рішень до періодичних. Як додаток запропонованої схеми стабілізації наведений можливий алгоритм знаходження рішень систем алгебраїчних рівнянь. Наведені результати чисельного моделювання.

Ключові слова: нелінійні динамічні системи, хаос, цикли, зворотній зв'язок з запізненням.

Рассматривается проблема стабилизации неустойчивых периодических орбит дискретных нелинейных систем. Предлагается новое обобщение запаздывающей обратной связи, решающей задачу стабилизации. Обратная связь представляется в виде выпуклой комбинации нелинейной обратной связи и полулинейной обратной связи, введенной О. Morgul. При этом в статье метод О. Morgul был перенесен со скалярного случая на векторный. Показано, что дополнительное введение в уравнение полулинейной обратной связи позволяет существенно уменьшить длину используемой в управлении предистории и повысить скорость сходимости возмущенных решений к периодическим. Как приложение предложенной схемы стабилизации приведен возможный вычислительный алгоритм нахождения решений систем алгебраических уравнений. Приведены результаты численного моделирования.

Ключевые слова: нелинейные динамические системы, хаос, циклы, запаздывающая обратная связь.

In article considered a problem of stabilization of unstable periodic orbits of nonlinear discrete systems. It is proposed new generalization of delayed feedback, which solves stabilization problem. The feedback represented as a convex combination of nonlinear feedback and semilinear feedback, which O. Morgul introduced. Herein in article O. Morgul method was moved from scalar case to vector ones. It is shown that additional insertion of semilinear feedback in the equation lets substantially decrease prehistory length, which used in the control, and increase the rate of convergence of the perturbed solutions to periodic. As an addition of the suggested scheme of stabilization there is given possible computational algorithm of finding solutions of systems of algebraic equation. There are shown results of the numeric modeling.

Keywords: nonlinear dynamic systems, chaos, cycles, delayed feedback.

Введение. Под управлением хаосом понимают малое внешнее воздействие на систему или малое изменение структуры системы с целью преобразования хаотического поведения системы в регулярное (или хаотическое, но с другими свойствами) [1]. Проблема оптимального воздействия на хаотический режим является одной из фундаментальных в нелинейной динамике [2, 3].

Предполагается, что динамическая система имеет хаотический аттрактор, который содержит счётное множество неустойчивых циклов различных периодов. Если с помощью управляющего воздействия локально стабилизировать какой-то цикл, то траектория системы останется в его окрестности, то есть в системе будут наблюдаться регулярные движения. Отсюда, одним из способов управления хаосом является локальная стабилизация определённых орбит из хаотического аттрактора. Для решения задачи стабилизации предлагались различные схемы управления [4], среди которых достаточно популярны управления, основанные на принципе запаздывающей обратной связи (Delayed Feedback Control – DFC) [5]. Такие управления при определенных условиях позволяют локально стабилизировать положения равновесия или циклы, которые, вообще говоря, не известны наперед. Среди схем DFC наиболее простыми для физической реализации являются линейные схемы. Однако они имеют существенные ограничения: их можно применять только для узкой области пространства параметров, входящих в исходную нелинейную систему. Более точно необходимые условия применимости линейной обратной связи сформулированы в разд. 1.1.

Чтобы расширить класс систем, к которым применима схема DFC, необходимо в управление ввести нелинейные элементы. Впервые нелинейный DFC с одним запаздыванием был рассмотрен в [6], где также отмечены преимущества такой модификации, в частности, управление становится робастным. В [7, 8] концепция нелинейного управления с одним запаздыванием из работы [6] была распространена: на векторный случай; на управление с несколькими запаздываниями; на случай произвольного периода T . Показано, что управление позволяет стабилизировать циклы произвольной длины, если только мультипликаторы не вещественные больше единицы. Установлена связь между размером множества локализации мультипликаторов и величиной запаздывания в нелинейной обратной связи.

В [9, 10] была исследована полулинейная схема DFC с линейными и нелинейными элементами. Несмотря на то, что эта схема содержит только одну разность в управлении, тем не менее, удается стабилизировать циклы длиной $T=1,2$ при достаточно общих предположениях о мультипликаторах цикла. Для $T \geq 3$ ситуация меняется критически, и стабилизация циклов возможна только при выполнении жестких ограничений на мультипликаторы. Схема О. Morgul подробно рассмотрена в разделе 1.3. Она будет обобщена на случай нескольких разностей в управлении, и перенесена со скалярного на векторный случай.

Цель представленной работы состоит в усовершенствовании алгоритмов М. Vieira de Souza, А. J. Lichtenberg, О. Morgul, D. Dmitrishin подавления хаоса в нелинейных дискретных системах путем

локальной стабилизации циклов заданной длины.

Соответственно, задача состоит в выборе структуры и параметров системы управления, при которых наперед не известные циклы заданной длины были бы локально асимптотически устойчивыми.

В работе рассматривается запаздывающая обратная связь в виде выпуклой комбинации нелинейного контроля и обобщенного контроля О. Morgul. Выведен характеристический полином замкнутой системы для цикла длины T , его структура получилась достаточно простой. Как частный случай этот полином содержит в себе характеристические полиномы при нелинейном контроле и обобщенном контроле О. Morgul. Приводится решение задачи для стабилизации циклов длины единица, то есть положений равновесия, и подготавливается теоретическая основа для решения задачи в общей постановке для циклов произвольной длины.

Специальная структура характеристического полинома позволяет применять методы комплексного анализа. Именно поэтому основным методом построения управлений и исследования условий их применимости является геометрическая теория функции комплексной переменной. С позиций этой теории проанализирован подход О. Morgul стабилизации циклов и условия его применимости. Проведен анализ влияния параметров управления на качество управления, указано, почему комбинированное управление оказывается лучше, чем нелинейное или полулинейное управления по отдельности. И, наконец, рассмотрены приложения предложенной схемы комбинированного управления к усовершенствованию итерационных методов решения алгебраических уравнений.

1. Обзор и предварительные результаты. Рассматривается нелинейная дискретная система, которая при отсутствии управления имеет вид

$$x_{n+1} = f(x_n), x_n \in R^m, n = 1, 2, \dots, \quad (1)$$

где $f(x)$ – дифференцируемая векторная функция соответствующей размерности. Предполагается, что система (1) имеет инвариантное выпуклое множество A , то есть, если $\xi \in A$, то и $f(\xi) \in A$. Также предполагается, что в этой системе имеется один или несколько неустойчивых T -циклов (η_1, \dots, η_T) , где все векторы η_1, \dots, η_T различны и принадлежат инвариантному множеству A , то есть $\eta_{j+1} = f(\eta_j)$, $j = 1, \dots, T-1$, $\eta_1 = f(\eta_T)$.

Мультипликаторы рассматриваемых неустойчивых циклов определяются, как собственные значения произведений матриц Якоби $\prod_{j=1}^T f'(\eta_j)$ размерностей $m \times m$. Как правило, циклы (η_1, \dots, η_T) системы (1) априори не известны. Следовательно, не известен и спектр $\{\mu_1, \dots, \mu_m\}$ матрицы $\prod_{j=1}^T f'(\eta_j)$.

Требуется описать множество M , при котором возможно локально стабилизировать T -цикл системы (1) одним управлением из допустимого класса управлений для всех мультипликаторов, локализованных в M , $M \subset \bar{C}$ (\bar{C} – расширенная комплексная плоскость), то есть, чтобы система

$$x_{n+1} = f(x_n) + u_n$$

имела бы локально асимптотически устойчивый T -цикл с мультипликаторами из M , и на этом цикле управление u_n обращалось бы в нуль. Другими словами, считаем, что для заданной длины цикла T нам известна оценка множества локализации мультипликаторов M . Другими словами, считаем, что динамическая система характеризуется не столько самой функцией f (или семейством функций), сколько множеством локализации мультипликаторов цикла (или циклов) известной длины.

1.1 Линейное управление. В качестве управления рассмотрим закон, основанный на линейной обратной связи

$$u_n = -\sum_{j=1}^{N-1} \varepsilon_j (x_{n-jT+T} - x_{n-jT}), \quad (2)$$

где коэффициенты усиления должны быть ограниченными: $|\varepsilon_j| < 1$, $j = 1, \dots, N-1$, $T = 1, 2, \dots$

Соответственно система, замкнутая таким управлением, имеет вид

$$x_{n+1} = f(x_n) - \sum_{j=1}^{N-1} \varepsilon_j (x_{n-jT+T} - x_{n-jT}). \quad (3)$$

Отметим, что при синхронизации состояния $x_{k+T} = x_k$, $k = 1, 2, \dots$, управление (2) обращается в нуль, то есть замкнутая система (3) приобретает вид, как в отсутствие управления. Это означает, что T -циклы системы (1) будут T -циклами системы (3).

Рассмотрим случай $T = 1$. Требуется найти необходимые условия в терминах множества локализации мультипликаторов M , при которых положение равновесия системы (3) будет локально асимптотически устойчиво (или же достаточные условия, при которых это положение равновесия будет неустойчиво). В [11] показано, что множество M локализации мультипликаторов системы (1) не может быть сколь угодно большим ни для какого линейного управления вида (2), точнее, его диаметр не может превышать шестнадцати, а диаметр его каждой связной компоненты – четырех, причем не зависимо от размерности системы m , и от числа N в управлении (2).

Этот вывод накладывает существенные ограничения на практическое применение линейного управления. Отметим также еще один недостаток линейного управления (2): инвариантное выпуклое множество A системы (1) не будет инвариантным для системы (3).

1.2 Нелинейное управление. Другой тип обратной связи – нелинейный – имеет вид

$$u_n = -\sum_{j=1}^{N-1} \varepsilon_j (f(x_{n-jT+T}) - f(x_{n-jT})), \quad (4)$$

а соответствующая замкнутая система –

$$x_{n+1} = \sum_{j=1}^N a_j f(x_{n-jT+T}), \quad (5)$$

где $a_1 = 1 - \varepsilon_1$, $a_j = \varepsilon_{j-1} - \varepsilon_j$, $j = 2, \dots, N-1$, $a_N = \varepsilon_{N-1}$.

Ясно, что $\sum_{j=1}^N a_j = 1$. Допустимыми будем

считать только те управления вида (4), для которых $0 \leq a_j \leq 1$, $j = 1, \dots, N$.

При синхронизации состояния $x_{k+T} = x_k$, $k = 1, 2, \dots$, управление (4) обращается в нуль, и замкнутая система (5) приобретает вид, как в отсутствии управления, следовательно, T -циклы системы (1) будут T -циклами системы (5). Кроме того, инвариантное выпуклое множество A системы (1) остается инвариантным для системы (5).

Как показано в [12], для любого множества M локализации мультипликаторов T -циклов системы (1), не содержащей вещественных чисел, больших единицы, существует управление вида (4), при котором в системе (5) эти T -циклы будут локально асимптотически устойчивыми. Таким образом, указанное управление будет обладать свойством робастности.

Приведем решение задачи выбора коэффициентов a_j , $j = 1, \dots, N$, для частных случаев множеств локализации мультипликаторов:

случай I: $M = \{\mu \in R: \mu \in (-\hat{\mu}, 1)\}$, $\hat{\mu} > 1$;

случай II: $M = \{\mu \in C: |\mu + R| < R\}$, $R > 1/2$.

Алгоритм нахождения минимального N и коэффициентов $\{a_1, \dots, a_N\}$ состоит из таких шагов [12]:

a) вычисляются узлы

$$\psi_j = \pi \frac{\sigma + T(2j-1)}{\sigma + T(N-1)},$$

где $j = 1, 2, \dots, \frac{N-2}{2}$, если N четное;

$j = 1, 2, \dots, \frac{N-1}{2}$, если N нечетное;

при этом в случае I следует полагать $\sigma = 2$, а в случае II полагать $\sigma = 1$;

b) строятся полиномы

$$\eta_N(z) = z(z+1) \prod_{j=1}^{\frac{N-2}{2}} (z - e^{i\psi_j}) (z - e^{-i\psi_j}),$$

если N – четное, и

$$\eta_N(z) = z \prod_{j=1}^{\frac{N-1}{2}} (z - e^{i\psi_j}) (z - e^{-i\psi_j}),$$

если N – нечетное;

c) вычисляются коэффициенты полинома

$$\eta_N(z) = \sum_{j=1}^N c_j z^j \quad (\text{например, по формулам Виета});$$

d) определяются коэффициенты

$$a_j = \frac{\left(1 - \frac{1+(j-1)T}{2+(N-1)T}\right) c_j}{\sum_{k=1}^N \left(1 - \frac{1+(j-1)T}{2+(N-1)T}\right) c_k}, \quad j = 1, \dots, N;$$

e) в случае I вычисляются величины

$$J_N^{(T)} = - \left[\frac{T}{2+(N-1)T} \prod_{k=1}^{\frac{N-2}{2}} \text{ctg}^2 \frac{\pi(2+T(2k-1))}{2(2+(N-1)T)} \right]^T;$$

при N – четном;

$$J_N^{(T)} = - \left[\prod_{k=1}^{\frac{N-1}{2}} \text{ctg}^2 \frac{\pi(2+T(2k-1))}{2(2+(N-1)T)} \right]^T;$$

при N – нечетном;

оптимальное значение N вычисляется, как минимальное натуральное число, удовлетворяющее неравенству

$$\mu^* \leq \frac{1}{|J_N^{(T)}|};$$

f) в случае II вычисляются величины

$$\hat{J}_N^{(T)} = - \left[\frac{T}{1+(N-1)T} \prod_{k=1}^{\frac{N-2}{2}} \text{ctg}^2 \frac{\pi(1+T(2k-1))}{2(1+(N-1)T)} \right]^T;$$

при N – четном;

$$\hat{J}_N^{(T)} = - \left[\prod_{k=1}^{\frac{N-1}{2}} \text{ctg}^2 \frac{\pi(1+T(2k-1))}{2(1+(N-1)T)} \right]^T$$

при N – нечетном; оптимальное значение N вычисляется как минимальное натуральное число, удовлетворяющее неравенству $R \leq \frac{1}{2|\hat{J}_N^{(T)}|}$.

Отметим, что для $\sigma \in \{1, 2\}$ и $T = 1, 2$ полиномы

$F_T(z) = z(a_1 + \dots + a_N z^{N-1})^T$ будут однолиственными в центральном единичном круге $D = \{z \in C: |z| < 1\}$. По-видимому, свойство однолиственности полиномов будет верным для $\sigma \in [0, 2]$ и всех T , и для разных σ множество M локализации мультипликаторов T -циклов системы (1) должна лежать в полуплоскости $\{z \in C: \text{Re } z < 1\}$ (рис. 1, а, б).

1.3. Полулинейное управление. О. Morgul [9, 10] для стабилизации цикла длины $T = 3$ предложил обратную связь, включающую линейные и нелинейные элементы.

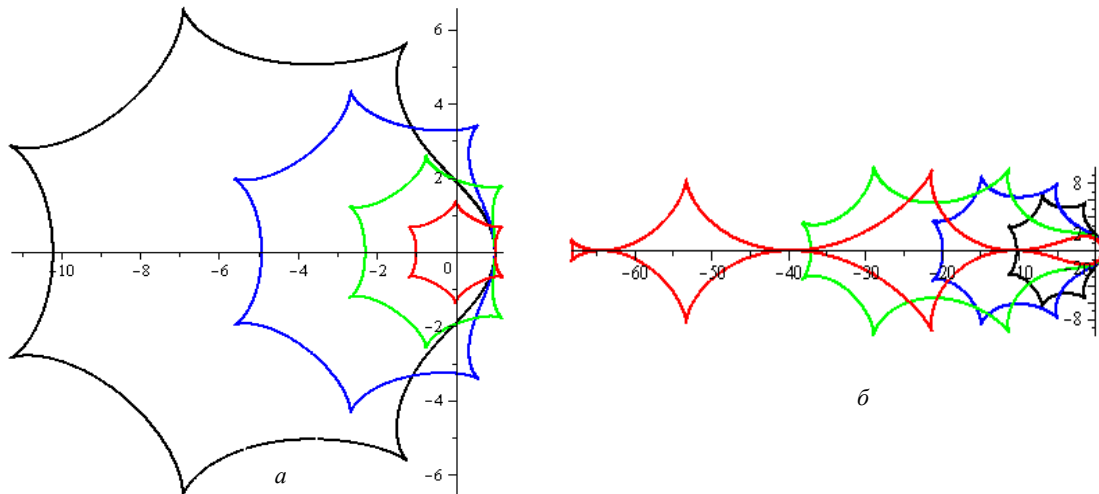


Рис. 1 – Покриття множини M локалізації мультиплікаторів
 а – при $T = 3, N = 7, \sigma \in [0, 1]$: $\sigma = 1$ – black, $\sigma = 0.66$ – blue, $\sigma = 0.33$ – green, $\sigma = 0$ – red;
 б – при $T = 3, N = 7, \sigma \in [1, 2]$: $\sigma = 1$ – black, $\sigma = 1.33$ – blue, $\sigma = 1.66$ – green, $\sigma = 2$ – red

То есть полулинейную обратную связь вида

$$u_n = -\varepsilon(f(x_n) - x_{n-T+1}), \quad (6)$$

соответственно замкнутая система –

$$x_n = (1 - \varepsilon)f(x_n) - \varepsilon x_{n-T+1}, \quad (7)$$

где $\varepsilon \in [0, 1)$. На цикле выполняются условия $f(x_n) = x_{n+1} = x_{n-T+1}$, следовательно, на цикле $u_n \equiv 0$. Отметим, что в [9] рассматривался лишь скалярный случай $f: R \rightarrow R$. Однако схему О. Morgul можно обобщить и на векторный случай, как это сделать будет показано ниже. В такой постановке задачи инвариантное выпуклое множество A системы (1) сохраняется инвариантным и для системы (7). Если же считать, что $\varepsilon \in [0, \infty)$ [9], то выпуклое инвариантное множество может не сохраняться, хотя в этом случае можно стабилизировать положения равновесия с мультипликаторами из полуплоскости $\{z \in C: \operatorname{Re} z > 1\}$. Характеристическое уравнение для T -цикла, в скалярном случае, имеет вид [10]

$$(\lambda - \varepsilon)^T - \mu(1 - \varepsilon)^T \lambda^{T-1} = 0, \quad (8)$$

где μ – мультипликатор цикла. Соответственно, в векторном случае характеристическое уравнение примет вид

$$\prod_{j=1}^m [(\lambda - \varepsilon)^T - \mu_j (1 - \varepsilon)^T \lambda^{T-1}] = 0, \quad (9)$$

где μ_j – мультипликаторы цикла ($j = 1, \dots, m$), вообще говоря, комплексные. Уравнение (9) мы получим как частный случай более общего характеристического уравнения, которое выведем в разделе 2. Если все корни уравнения (9) лежат в открытом центральном единичном круге D , то T -цикл локально асимптотически устойчив [10, 13]. Если мультиплика-

торы $\mu_j, j = 1, \dots, m$, известны точно, то проверить принадлежность корней центральному единичному кругу можно по известным критериям, например, Шура-Кона, Кларка, Джури [14]. Однако циклы не известны, следовательно, не известны и мультипликаторы. В этом случае эффективным оказался геометрический критерий А. Solyanik устойчивости циклов дискретных систем [15]. Сделав замену $\lambda = \frac{1}{z}$, запишем уравнение (9) в виде совокупности уравнений

$$\begin{cases} \frac{1}{z} = \Phi(z), \\ \mu_j \\ j = 1, \dots, m, \end{cases}$$

где $\Phi(z) = (1 - \varepsilon)^T \frac{z}{(1 - \varepsilon z)^T}$. Следующее наблюдение оказывается исключительно полезным в наших условиях.

Лемма 1. Все корни уравнения (9) лежат в центральном единичном круге тогда и только тогда, когда справедливы включения

$$\mu_j \in (\bar{C} \setminus \Phi(\bar{D}))^*, j = 1, \dots, m, \quad (10)$$

где $\bar{D} = \{z \in C: |z| \leq 1\}$ – замкнутый центральный единичный круг, \bar{C} – расширенная комплексная плоскость, звездочкой обозначена операция инверсии: $(z)^* = \frac{1}{\bar{z}}$. Здесь \bar{z} означает число, комплексно сопряженное к z . Заметим, что множество $(\bar{C} \setminus \Phi(\bar{D}))^*$ является инверсией множества исключительных значений образа круга при отображении $\Phi(z)$. Согласно Лемме 1 T -цикл будет локально асимптотически устойчив, если множество $(\bar{C} \setminus \Phi(\bar{D}))^*$ покрывает

множество M локализации мультипликаторов. Условие (10) можно переписать в виде $M \subseteq (\bar{C} \setminus \Phi(\bar{D}))^*$, или в равносильной форме $\Phi(D) \subseteq \bar{C} \setminus (\bar{M})^*$. Это означает, что множество $(\bar{M})^*$ должно быть исключительным для образа круга D при отображении $\Phi(z)$.

Пример 1. Пусть $T=1$. В этом случае множество $(\bar{C} \setminus \Phi(\bar{D}))^* = \left\{ w \in C : w = -\frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} + \frac{1}{1-\varepsilon} z, z \in D \right\}$, т. е. это множество – открытый круг с центром в точке $\left(-\frac{\varepsilon}{1-\varepsilon}, 0\right)$ и радиусом $\frac{1}{|1-\varepsilon|}$ (рис. 2). При $\varepsilon \rightarrow 1-0$ круг переходит в полуплоскость $\{w \in C : w < 1\}$, при $\varepsilon \rightarrow 1+0$ круг переходит в полуплоскость $\{w \in C : w > 1\}$. Следовательно, если множество M лежит в полуплоскости $\{w \in C : w < 1\}$ или $\{w \in C : w > 1\}$, то положение равновесия системы (1) может быть стабилизировано управлением вида (6).

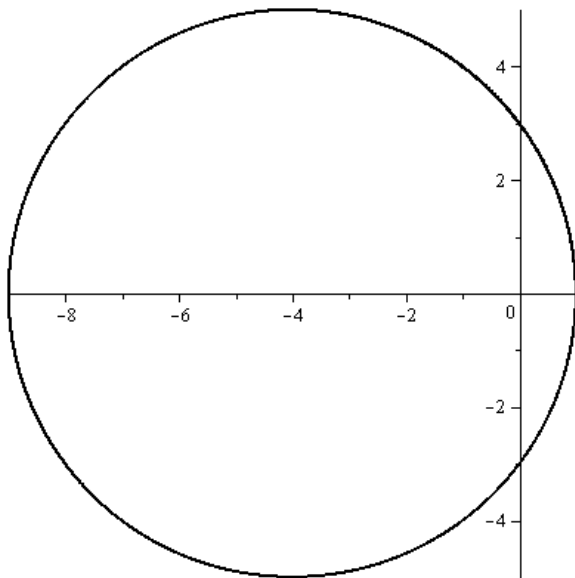


Рис. 2 – Множество $(\bar{C} \setminus \Phi(\bar{D}))^*$ при $T=1, \gamma=0.8$

Пример 2. Пусть $T=2$. Тогда множество $(\bar{C} \setminus \Phi(\bar{D}))^* = \left\{ w \in C : w = \frac{2\varepsilon}{(1-\varepsilon)^2} \left(\frac{1}{2} \left(\frac{1}{\varepsilon z} + \varepsilon z \right) - 1 \right), z \in D \right\}$, то есть это внутренность эллипса с полуосями $\left\{ \frac{1+\varepsilon^2}{(1-\varepsilon)^2}, \frac{1+\varepsilon}{1-\varepsilon} \right\}$ и с центром в точке $\left(-\frac{2\varepsilon}{(1-\varepsilon)^2}, 0\right)$ (рис. 3). Вершины эллипса находятся в точках $\left(-\frac{(1+\varepsilon)^2}{(1-\varepsilon)^2}, 0\right)$ и $(1, 0)$. Следовательно, если множество M лежит в полуплоскости $\{w \in C : w < 1\}$, то 2-цикл системы (1) может быть стабилизирован управлением вида (6).

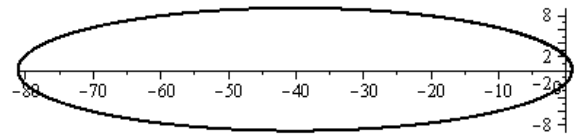


Рис. 3 – Множество $(\bar{C} \setminus \Phi(\bar{D}))^*$ при $T=2, \gamma=0.8$

O. Morgul рассматривал только скалярный случай, а в скалярном случае множество M может состоять только из вещественных чисел. Тогда условие стабилизируемости положения равновесия следующее: $\mu \in \left(-\frac{1+\varepsilon}{1-\varepsilon}, 1\right)$ или $\mu \in \left(1, \frac{1+\varepsilon}{1-\varepsilon}\right)$. Соответственно для 2-цикла условие стабилизируемости будет иметь вид: $\mu \in \left(-\left(\frac{1+\varepsilon}{1-\varepsilon}\right)^2, 1\right)$.

В случае $T=1$ функция $\Phi(z) = (1-\varepsilon) \frac{z}{1-\varepsilon z}$ однолистка при всех $\varepsilon \in (-\infty, \infty)$ во всей комплексной плоскости, за исключением точки $z_0 = \frac{1}{\varepsilon}$. При $T=2$ и $\varepsilon \neq 0$ функция $\Phi(z) = (1-\varepsilon)^2 \frac{z}{(1-\varepsilon z)^2}$ однолистка в открытом центральном круге $\left\{ z \in C : |z| < \frac{1}{|\varepsilon|} \right\}$. В этих случаях функции $\Phi(z)$ при $\varepsilon \in [0, 1)$ однолистки в открытом центральном единичном круге D .

Для $T \geq 3$ ситуация становится иной. Функция $\Phi(z) = (1-\varepsilon)^T \frac{z}{(1-\varepsilon z)^T}$ не будет однолистной в круге D при всех $\varepsilon \in [0, 1)$, а только при $\varepsilon \in \left[0, \frac{1}{T-1}\right)$ [16].

Так как $\Phi(-1) = -\left(\frac{1-\varepsilon}{1+\varepsilon}\right)^T$, то при $\varepsilon \in \left[0, \frac{1}{T-1}\right)$ условие стабилизируемости T -цикла в скалярном случае примет вид $\mu \in \left(-\left(\frac{1-\varepsilon}{1+\varepsilon}\right)^T, 1\right)$. Функция $\left(\frac{1-\varepsilon}{1+\varepsilon}\right)^T$ возрастает по ε , следовательно, максимальный размер для множества локализации мультипликатора будет при $\varepsilon = \frac{1}{T-1}$, то есть $\mu \in \left(-\left(\frac{T}{T-2}\right)^T, 1\right)$. При $\varepsilon > \frac{1}{T-1}$ функция $\Phi(z)$ перестает быть однолистной, и интервал для множества локализации мультипликатора будет уменьшаться (рис. 4).

Функция $\left(\frac{T}{T-2}\right)^T$ убывает при $T \geq 3$, асимптотически стремится к $e^2 \approx 7.389$.

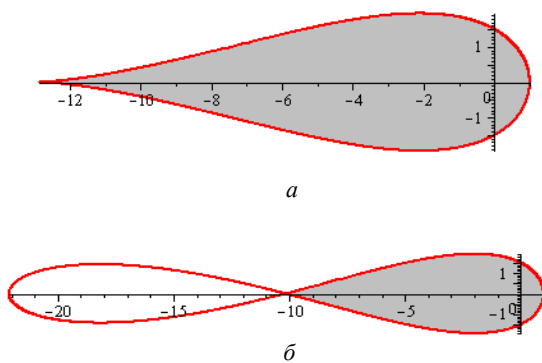


Рис. 4 – Инверсный образ границы круга D (red) и множество $(\bar{C} \setminus \Phi(\bar{D}))$ (grey) при $T = 5$ ($a - \varepsilon = 0.25$; $b - \varepsilon = 0.3$)

2. Обобщенное полулинейное управление

2.1 Постановка задачи. Естественным обобщением запаздывающей обратной связи является совместное использование рассмотренных в разделе 2 линейной, нелинейной и полулинейной обратных связей. Учтём, что линейная обратная связь малоэффективна, и выберем управление в виде выпуклой комбинации нелинейной и обобщенной полулинейной обратных связей, а именно,

$$u_n = -(1-\gamma) \sum_{j=1}^{N-1} \varepsilon_j^{(1)} (f(x_{n-jT+T}) - f(x_{n-jT})) - \gamma \sum_{j=1}^N \varepsilon_j^{(2)} (f(x_{n-jT+T}) - x_{n-jT+1}), \quad (11)$$

где $\gamma \in [0, 1)$.

Отметим, что на цикле длины T управление (11) исчезает. Мотивировка использования управления вида (11) для $T \geq 3$ полностью очевидна. Полулинейное управление не позволяет стабилизировать циклы системы (1) длины три и более в общем случае. Однако совместное использование полулинейного и нелинейного управлений может позволить уменьшить необходимую длину предьстории, используемую в обратной связи. Для $T = 1, 2$ можно также ожидать качественно новых эффектов при стабилизации положения равновесия за счёт большего числа параметров управления: увеличения скорости сходимости возмущенных решений к периодическим, расширения бассейна притяжения локально устойчивого периодического решения и т. п. Другими словами, комбинированное управление должно улучшить свойства как нелинейного, так и полулинейного управления. Систему (1) замкнём управлением (11), тогда получим

$$x_{n+1} = (1-\gamma) \sum_{j=1}^N a_j f(x_{n-jT+T}) + \gamma \sum_{j=1}^N b_j x_{n-jT+1}, \quad (12)$$

где коэффициенты $a_1, \dots, a_N, b_1, \dots, b_N$ связаны с параметрами $\varepsilon_1^{(1)}, \dots, \varepsilon_{N-1}^{(1)}, \varepsilon_1^{(2)}, \dots, \varepsilon_N^{(2)}$ линейной биекцией

$$\begin{cases} a_1 = \frac{1}{1-\gamma} - \varepsilon_1^{(1)} - \frac{\gamma}{1-\gamma} \varepsilon_1^{(2)}, \\ a_j = -(\varepsilon_j^{(1)} - \varepsilon_{j-1}^{(1)}) - \frac{\gamma}{1-\gamma} \varepsilon_j^{(2)}, j = 2, \dots, N-1, \\ a_N = \varepsilon_{N-1}^{(1)} - \frac{\gamma}{1-\gamma} \varepsilon_N^{(2)}, \\ b_j = \varepsilon_j^{(2)}, j = 1, \dots, N. \end{cases}$$

Мы желаем, чтобы инвариантное выпуклое множество A системы (1) сохранялось бы инвариантным и для системы (12). Следовательно, надо требовать выполнения соотношений: $a_j \in [0, 1], b_j \in [0, 1],$

$j = 1, \dots, N, \sum_{j=1}^N a_j = 1, \sum_{j=1}^N b_j = 1$. Для этого на управление (11) следует наложить дополнительные ограничения, а именно, $\sum_{j=1}^N \varepsilon_j^{(2)} = 1; \frac{1}{1-\gamma} - \varepsilon_1^{(1)} \geq \frac{\gamma}{1-\gamma} \varepsilon_1^{(2)} \geq 0,$

$$\varepsilon_{j-1}^{(1)} - \varepsilon_j^{(1)} \geq \frac{\gamma}{1-\gamma} \varepsilon_j^{(2)} \geq 0, j = 2, \dots, N-1,$$

$$\varepsilon_{N-1}^{(1)} \geq \frac{\gamma}{1-\gamma} \varepsilon_N^{(2)} \geq 0.$$

Требуется подобрать параметры $a_1, \dots, a_N, b_1, \dots, b_N$, удовлетворяющие заданным ограничениям, таким образом, чтобы T -цикл системы (12) был локально асимптотически устойчив, а величина N была бы наименьшей.

Если в (12) положить $\gamma = 0$, то получим систему (5), то есть систему (1), замкнутую нелинейной обратной связью. Если же в (12) положить $N = 1$, то $a_1 = b_1 = 1$, следовательно, получим систему (7), то есть, как в случае замыкания полулинейной обратной связью. Таким образом, система (12) содержит в себе, как частные случаи системы (5) и (7).

2.2 Построение характеристического полинома. Исследование устойчивости T -цикла системы (12) начнем с вывода характеристического уравнения для этого цикла. Классический путь – это построение матрицы Якоби специального отображения в окрестности цикла [10], и нахождение характеристического полинома этой матрицы. В итоге этот характеристический полином будет иметь громоздкий вид, а путь его упрощения совсем не очевиден [10].

Этот же полином можно строить, исходя из другого отображения, при этом полином получается в форме очень удобной для дальнейших исследований [17, 18]. В [18] доказана эквивалентность классического метода О. Morgul и альтернативного, который и будет применен ниже.

Решение системы (12) можно представить в виде

$$\begin{cases} x_{Ts} &= \eta_1 + u_s^1, \\ x_{Ts+1} &= \eta_2 + u_s^2, \\ &\dots \\ x_{Ts+T-1} &= \eta_T + u_s^T, \end{cases} \quad (13)$$

$s = 0, 1, \dots$ Подставим решение (13) в (12), считая, что в окрестности цикла нормы векторов u_s^1, \dots, u_s^T малы.

Пусть $n = Ts$. Тогда $x_{n+1} = x_{Ts+1} = \eta_2 + u_s^2$, $x_{n+2} = x_{Ts+2} = \eta_3 + u_s^3, \dots, x_{n+T} = x_{T(s+1)} = \eta_1 + u_{s+1}^1$.

Выделяя линейную часть и учитывая, что $\eta_1 = f(\eta_2), \dots, \eta_T = f(\eta_1)$, получаем

$$\begin{cases} u_s^2 = (1-\gamma) f'(\eta_1) (a_1 u_s^1 + \dots + a_N u_{s-N+1}^1) + \gamma (b_1 u_{s-1}^2 + \dots + b_N u_{s-N}^2), \\ u_s^T = (1-\gamma) f'(\eta_{T-1}) (a_1 u_s^{T-1} + \dots + a_N u_{s-N+1}^{T-1}) + \gamma (b_1 u_{s-1}^T + \dots + b_N u_{s-N}^T), \\ u_{s+1}^1 = (1-\gamma) f'(\eta_T) (a_1 u_s^T + \dots + a_N u_{s-N+1}^T) + \gamma (b_1 u_s^1 + \dots + b_N u_{s-N+1}^1), \end{cases} \quad (14)$$

где $f'(\eta_j)$, $j = 1, \dots, T$, – матрицы Якоби, размерности $m \times m$. Система (14) линейная, поэтому ее решения представляются в виде (15)

$$\begin{pmatrix} -(1-\gamma)q(z)f'(\eta_1) & (1-\gamma p(z))\mathbf{I} & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & -(1-\gamma)q(z)f'(\eta_2) & (1-\gamma p(z))\mathbf{I} & \dots & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \dots & -(1-\gamma)q(z)f'(\eta_{T-1}) & (1-\gamma p(z))\mathbf{I} \\ z^{-1}(1-\gamma p(z))\mathbf{I} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} & -(1-\gamma)q(z)f'(\eta_T) \end{pmatrix},$$

где $\mathbf{0}$ – нулевая матрица, размерности $m \times m$, \mathbf{I} – единичная матрица, размерности $m \times m$, то есть

$$\det \left(z^{-1}(1-\gamma p(z))^T \mathbf{I} - (1-\gamma)q(z)^T \prod_{j=1}^T f'(\eta_j) \right) = 0.$$

Пусть собственные значения произведения матриц Якоби $\prod_{j=1}^T f'(\eta_j)$ равны μ_1, \dots, μ_m . Тогда, заменяя это произведение Жордановой канонической формой, получим окончательный вид характеристического уравнения

$$\prod_{j=1}^m \left(\frac{(1-\gamma p(z))^T}{z(1-\gamma)q(z)^T} - \mu_j \right) = 0. \quad (17)$$

Отсюда, искомым характеристический полином имеет вид

$$\tilde{f}(\lambda) = \prod_{j=1}^m \left([\lambda^N - \gamma \lambda^N p(\lambda^{-1})]^T - (1-\gamma)^T \mu_j \lambda^{T-1} [\lambda^{N-1} q(\lambda^{-1})]^T \right). \quad (18)$$

$$\begin{pmatrix} u_s^1 \\ \dots \\ u_s^T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_1 \\ \dots \\ c_T \end{pmatrix} \lambda^s, \quad (15)$$

где λ – комплексное число, подлежащее определению. Подставляя (15) в (14), получим

$$\begin{cases} -(1-\gamma)(a_1 \lambda^s + \dots + a_N \lambda^{s-N+1}) f'(\eta_1) c_1 + (\lambda^s - \gamma(b_1 \lambda^{s-1} + \dots + b_N \lambda^{s-N})) c_2 = 0, \\ -(1-\gamma)(a_1 \lambda^s + \dots + a_N \lambda^{s-N+1}) f'(\eta_{T-1}) c_{T-1} + (\lambda^s - \gamma(b_1 \lambda^{s-1} + \dots + b_N \lambda^{s-N})) c_T = 0, \\ -(1-\gamma)(a_1 \lambda^s + \dots + a_N \lambda^{s-N+1}) f'(\eta_T) c_T + (\lambda^{s+1} - \gamma(b_1 \lambda^s + \dots + b_N \lambda^{s-N+1})) c_1 = 0. \end{cases} \quad (16)$$

Введём следующие обозначения:

$$z = \frac{1}{\lambda},$$

$$q(z) = a_1 + a_2 z + \dots + a_N z^{N-1},$$

$$p(z) = b_1 z + b_2 z^2 + \dots + b_N z^N.$$

Система (16), рассматриваемая относительно векторов c_1, \dots, c_T , будет иметь нетривиальное решение тогда и только тогда, когда равен нулю определитель матрицы

Полином (18) содержит в себе, как частный случай при $N = 1$, полином (9).

2.3 Геометрический критерий локальной асимптотической устойчивости цикла. Следующий шаг исследования устойчивости циклов состоит в анализе расположения нулей характеристического полинома (18) на комплексной плоскости. Или, что эквивалентно, корней уравнения (17). Локальная устойчивость циклов разностных систем эквивалентна устойчивости по Шуру характеристического полинома, соответствующего этому циклу [см., напр., 13]. Этот факт представим в виде Леммы.

Лемма 2. T -цикл системы (12) локально асимптотически устойчив тогда и только тогда, когда все нули полинома (18) лежат в открытом центральном единичном круге D .

Как было отмечено в разделе 1.3, применить известные критерии проверки устойчивости по Шуру полинома (18) не удастся, так как величины μ_1, \dots, μ_m неизвестны. Поэтому для проверки локальной устойчивости циклов системы (12) применим геометрический критерий устойчивости А. Solyanik.

Обозначим $\Phi(z) = (1-\gamma)^T \frac{z(q(z))^T}{(1-\gamma p(z))^T}$.

Лемма 3. Все корни полинома (18) лежат в открытом центральном единичном круге D тогда и только тогда, когда справедливы включения

$$\mu_j \in (\bar{C} \setminus \Phi(\bar{D}))^*, \quad j=1, \dots, m, \quad (19)$$

где \bar{D} – замкнутый центральный единичный круг, \bar{C} – расширенная комплексная плоскость, звездочкой обозначена операция инверсии: $(z)^* = \frac{1}{\bar{z}}$.

Доказательство. Полином (18) устойчив по Шуру тогда и только тогда, когда $\tilde{f}(\lambda) \neq 0$ для всех $\lambda \in \bar{C} \setminus D$. Это равносильно $\frac{1}{\mu_j} \neq \Phi(z)$, $z \in \bar{D}$, $j=1, \dots, m$. Следовательно, необходимыми и достаточными условиями устойчивости полинома (18) по Шуру будут включения: $\frac{1}{\mu_j} \notin \Phi(\bar{D})$, или

$$\frac{1}{\mu_j} \in \bar{C} \setminus \Phi(\bar{D}), \quad \text{или} \quad \mu_j \in (\bar{C} \setminus \Phi(\bar{D}))^*, \quad j=1, \dots, m.$$

Лемма доказана.

В общем случае мультипликаторы цикла неизвестны, а значит, T -цикл будет локально асимптотически устойчив, если множество $(\bar{C} \setminus \Phi(\bar{D}))^*$ покрывает множество M локализации мультипликаторов. Это означает, что множество $(\bar{M})^*$ должно быть исключительным для образа круга D при отображении $\Phi(z)$. Это свойство будет основным для построения коэффициентов управления $a_1, \dots, a_N, b_1, \dots, b_N$.

2.4 Конструкция управлений, стабилизирующих циклы. Следующий шаг: требуется построить функцию $\Phi(z)$, чтобы множество $(\bar{C} \setminus \Phi(\bar{D}))^*$ накрывало множество M локализации мультипликаторов. При этом необходимо оценить размеры множества $(\bar{C} \setminus \Phi(\bar{D}))^*$ в зависимости от N и γ . Функция $\Phi(z) = (1-\gamma)^T \frac{z(q(z))^T}{(1-\gamma p(z))^T}$ зависит от полиномов $q(z)$, $p(z)$ и параметра $\gamma \in [0, 1)$, причем $q(1) = 1$, $p(0) = 0$, $p(1) = 1$, следовательно $\Phi(0) = 0$, $\Phi(1) = 1$.

Для дальнейшего продвижения в постановке задачи, наложим существенное ограничение на функцию $\Phi(z)$, а именно, будем считать, что полином $q(z)$ нам известен, коэффициенты его вычисляются по формулам, указанным в разделе 1.2 (при некотором $\sigma \in [1, 2]$). Это обеспечивает покрытие множеств $M \subseteq \{\mu \in R : \mu \in (-\hat{\mu}, 1)\}$ ($\hat{\mu} > 1$) или $M \subseteq \{\mu \in C : |\mu + R| < R\}$ ($R > 1/2$) для любых допустимых $\hat{\mu}$ и R , по крайней мере, при достаточно большом N и $\gamma = 0$. Мы хотим выбрать полином $p(z)$ и

параметр γ так, чтобы определенный желаемый линейный размер множества $(\bar{C} \setminus \Phi(\bar{D}))^*$ был максимальным (или множества $\Phi(D)$ минимальным). Линейные размеры зависят от величины $\Phi(-1) = -(1-\gamma)^T \frac{(q(-1))^T}{(1-\gamma p(-1))^T}$. Так как все b_j , $j=1, \dots, N$, не отрицательны, то $|p(-1)| < 1$. Следовательно, сделать величину $\Phi(-1)$ малой за счет полинома $p(z)$ не удастся. Полиному $p(z)$ предназначена весьма специфическая роль: этот полином следует выбирать так, чтобы параметр γ можно было бы варьировать в наиболее широких пределах.

Формализуем это требование. Рассмотрим семейство функций

$$\left\{ \Phi(z) = (1-\gamma)^T \frac{z(q(z))^T}{(1-\gamma p(z))^T} : \gamma \in [0, \gamma^*] \right\}, \quad (20)$$

где полином $q(z)$ задан указанным выше образом. Требуется найти полином $p(z)$ (с заданной степенью и заданными условиями нормировки) так, чтобы семейство функций (20) было бы однолиственным в круге D , а величина γ^* максимальной.

Если необходимо максимизировать линейный размер множества $(\bar{C} \setminus \Phi(\bar{D}))^*$ в направлении отрицательной вещественной оси, то требование однолиственности семейства (20) можно заменить более слабым требованием типичной вещественности. Напомним, что аналитическая в D функция называется типично вещественной по Рогозинскому, если вещественным значениям функции соответствуют вещественные прообразы [19]. Другими словами, типично вещественная в D функция должна отображать открытый верхний полукруг в открытую верхнюю (или нижнюю) полуплоскость.

Приведем решение этой задачи для $T=1$. Функция $\Phi(z) = (1-\gamma) \frac{z}{1-\gamma z}$ однолистка в D при $\gamma \in [0, 1)$. Полином $zq(z)$ также однолистен при $z \in D$. Следовательно, функция $\Phi(z) = (1-\gamma) \frac{zq(z)}{1-\gamma zq(z)}$ однолистка при $\gamma \in [0, 1)$ и $z \in D$, как суперпозиция однолистных функций.

В этом случае множество $(\bar{C} \setminus \Phi(\bar{D}))^* = \left\{ \frac{1}{1-\gamma} \left(\frac{1}{zq(z)} - \gamma \right) : z \in D \right\}$. Это множество получается в результате сдвига множества $\left\{ \frac{1}{zq(z)} : z \in D \right\}$ на величину γ и последующего растяжения в $\frac{1}{1-\gamma}$ раз (рис. 5).

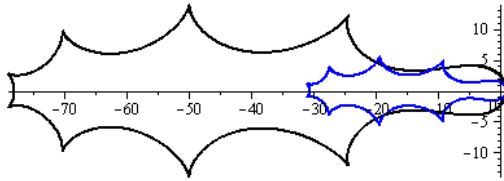


Рис. 5 – Множества $(\bar{C} \setminus \Phi(\bar{D}))^*$ при $N=9$, $\sigma=1.8$, $\gamma=0$ – blue, $\gamma=0.6$ – black

Система (12) примет вид

$$x_{n+1} = (1-\gamma) \sum_{j=1}^N a_j f(x_{n-j+1}) + \gamma \sum_{j=1}^N a_j x_{n-j+1}. \quad (21)$$

Роль параметра γ отчетливо видна на рис. 6. Величина N играет двойственную роль по отношению к параметру γ . Увеличивая N , можно уменьшать γ , оставляя линейные размеры множества $(\bar{C} \setminus \Phi(\bar{D}))^*$ почти неизменными.

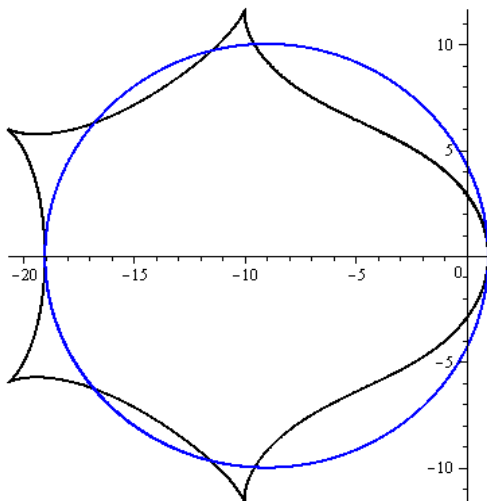


Рис. 6 – Множества $(\bar{C} \setminus \Phi(\bar{D}))^*$ для систем (22) (blue) и (23) (black) при $N=5$, $\sigma=1.0$, $\gamma=0.9$, $\gamma_1 \approx 0.7$

Рассмотрим систему (12) при $N=1$:

$$x_{n+1} = (1-\gamma)f(x_n) + \gamma x_n. \quad (22)$$

Граница множества $(\bar{C} \setminus \Phi(\bar{D}))^*$ – окружность, проходящая через точку $\left(-\frac{1+\gamma}{1-\gamma}, 0\right)$. Рассмотрим систему (12) с другими параметрами усреднения γ_1 , a_1, \dots, a_N

$$x_{n+1} = (1-\gamma_1) \sum_{j=1}^N a_j f(x_{n-j+1}) + \gamma_1 \sum_{j=1}^N a_j x_{n-j+1}. \quad (23)$$

Для этой системы граница множества $(\bar{C} \setminus \Phi(\bar{D}))^*$ проходит через точку $\left(-\frac{q_N^{-1} + \gamma_1}{1-\gamma_1}, 0\right)$, где

$q_N = -\sum_{j=1}^N (-1)^j a_j$, а коэффициенты a_1, \dots, a_N вычисляются по формулам раздела 1.2 при некотором $\sigma \in [1, 2]$. Пусть $q_N^{-1} < \frac{1+\gamma_1}{1-\gamma_1}$. Это означает, что

линейный размер множества $(\bar{C} \setminus \Phi(\bar{D}))^*$ системы (22) больше, чем системы (23).

Для того, чтобы линейные размеры этих множеств были почти равными, второе множество надо растянуть; коэффициент растяжения определяется параметром γ_1 . Нетрудно установить связь между параметрами γ и γ_1 :

$$\gamma_1 = \frac{1-q_N^{-1}}{2} + \frac{1+q_N^{-1}}{2} \gamma.$$

Пусть, например, $\gamma=0.9$, $N=5$, $\sigma=1.0$. Вычислим $q_N^{-1} \approx 5.0$. Тогда $\gamma_1 \approx 0.7$. На этом примере видно, насколько параметр γ_1 можно сделать меньше по сравнению с γ . Множества $(\bar{C} \setminus \Phi(\bar{D}))^*$ для систем (22), (23) изображены на рис. 6.

Приведем еще несколько примеров для $\sigma=1.4$, $\sigma=1.8$, $\sigma=2.0$ и $N=5$ (рис. 7).

Если $\sigma=1.4$, то $q_N^{-1} \approx 7.856$ и $\gamma_1 \approx 0.557$. Если $\sigma=1.8$, то $q_N^{-1} \approx 11.640$ и $\gamma_1 \approx 0.368$. Если $\sigma=2.0$, то $q_N^{-1} \approx 13.928$ и $\gamma_1 \approx 0.254$.

Таким образом, введение запаздывания в обратную связь позволяет уменьшить величину усредняющего параметра γ .

Преимущества такого подхода обсуждаются ниже.

Пусть параметры управления γ, a_1, \dots, a_N выбраны так, что область $(\bar{C} \setminus \Phi(\bar{D}))^*$ покрывает множество M , где $\Phi(z) = (1-\gamma) \frac{zq(z)}{1-\gamma zq(z)}$, и

$q(z) = a_1 + a_2 z + \dots + a_N z^{N-1}$. В этом случае положение равновесия будет локально асимптотически устойчивым. Это означает, что для начальных векторов x_1, \dots, x_N , лежащих в достаточно малой окрестности положения равновесия, решение системы (22), определяемое этими начальными векторами, стремится к положению равновесия. Такая окрестность называется бассейном притяжения положения равновесия системы (22) в пространстве начальных векторов. Оценка бассейна притяжения – задача, вообще говоря, очень сложная, и не является предметом рассмотрения данной статьи.

Заметим, что даже, когда будут выполнены все условия притяжения возмущенного решения к положению равновесия, поведение возмущенного решения может оказаться сложным, а стремление его к положению равновесия – очень медленным.

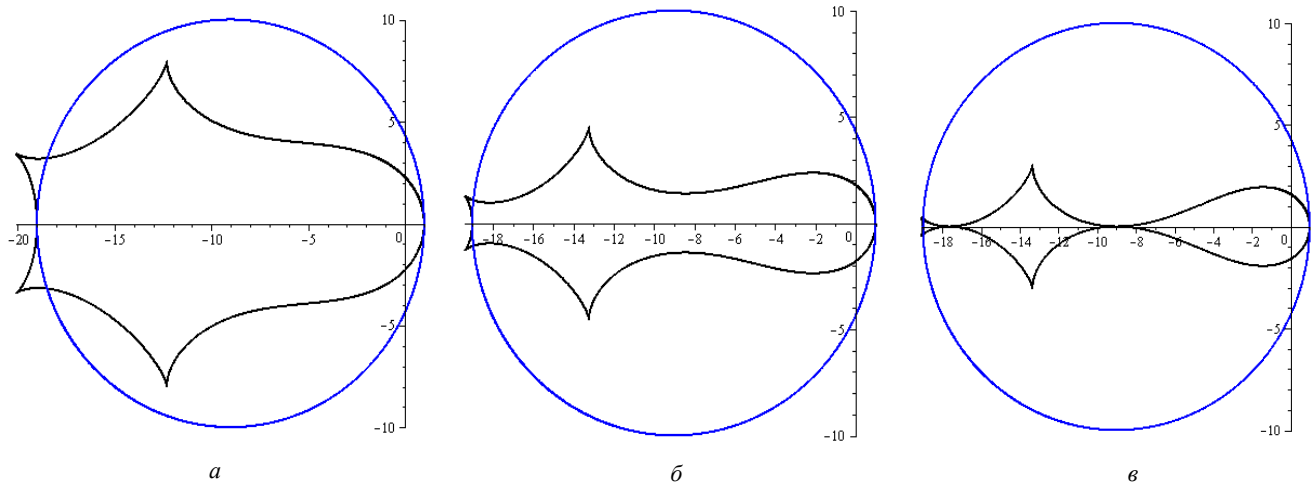


Рис. 7 – Множества $(\bar{C} \setminus \Phi(\bar{D}))^*$ для систем (22) (blue) и (23) (black) при а – $N = 5, \sigma = 1.4, \gamma = 0.9, \gamma_1 \approx 0.557$;
б – $N = 5, \sigma = 1.8, \gamma = 0.9, \gamma_1 \approx 0.368$; в – $N = 5, \sigma = 2.0, \gamma = 0.9, \gamma_1 \approx 0.254$.

Это будет в том случае, когда мультипликатор системы окажется вблизи границы множества $(\bar{C} \setminus \Phi(\bar{D}))^*$. Скорость стремления возмущенного решения к положению равновесия определяется максимумом λ^* среди модулей нулей характеристического полинома (18) (при $q(z) = a_1 + a_2 z + \dots + a_N z^{N-1}, p(z) = z q(z), z = \lambda^{-1}$).

Строя отображения $\Phi\left(\frac{1}{\rho} e^{it}\right)$ при $\rho \leq 1$, можно

получить линии уровня $\lambda^* = \rho$. На рис. 8 и 9 изображены эти линии уровня для полинома (9) при $\gamma = 0.9$ и полинома (18) при $\gamma = 0.9, N = 5, \sigma \in \{1.4, 1.8, 2\}$. Более темным цветом изображены линии уровня, соответствующие большему значению ρ .

На рис. 8, 9 более темные области отвечают тем значениям мультипликаторов μ , для которых максимум λ^* среди модулей нулей характеристического полинома ближе к единице.

Рассмотрим подробнее диаграммы, представленные на рис. 8 и 9.

Светлые области определяют эффективное покрытие множества локализации мультипликаторов положения равновесия системы (1).

Если использовать полулинейное управление О. Morgul, то множество $(\bar{C} \setminus \Phi(\bar{D}))^*$ теоретически можно сделать как угодно большим, устремляя γ к единице, и покрывая сколь угодно большую области локализации мультипликаторов. Однако при этом область эффективного покрытия сдвигается в окрестность точки $\left(-\frac{\gamma}{1-\gamma}, 0\right)$, то есть значительно удаляется от нуля.

Таким образом, если надо покрыть мультипликаторы, один из которых в единичном круге, а другой – на отрицательной вещественной оси и на значи-

тельном расстоянии от нуля, то первый из них окажется в «темной» области, а значит, собственное значение, которое ему соответствует, лежит близко к границе единичного круга.

Это, в свою очередь, означает очень медленное стремление возмущенного решения к положению равновесия.

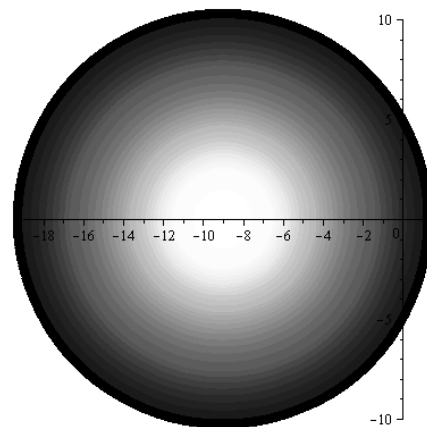


Рис. 8 – Множество $(\bar{C} \setminus \Phi(\bar{D}))^*$, где $\Phi(z) = (1-\gamma) \frac{z}{1-\gamma z}$, $\gamma = 0.9$

При использовании обобщенного полулинейного управления область эффективного покрытия множества локализации мультипликаторов достаточно близко к нулю и растягивается в сторону отрицательной вещественной полуоси при $\gamma \rightarrow 1$ или $N \rightarrow \infty$. Также из рис. 9 видна роль параметра σ .

Таким образом, использование обобщенного полулинейного управления позволяет ускорить стремление возмущенных решений к положению равновесия по сравнению с управлением О. Morgul. Особенно в случае большого разброса мультипликаторов положения равновесия системы (1).

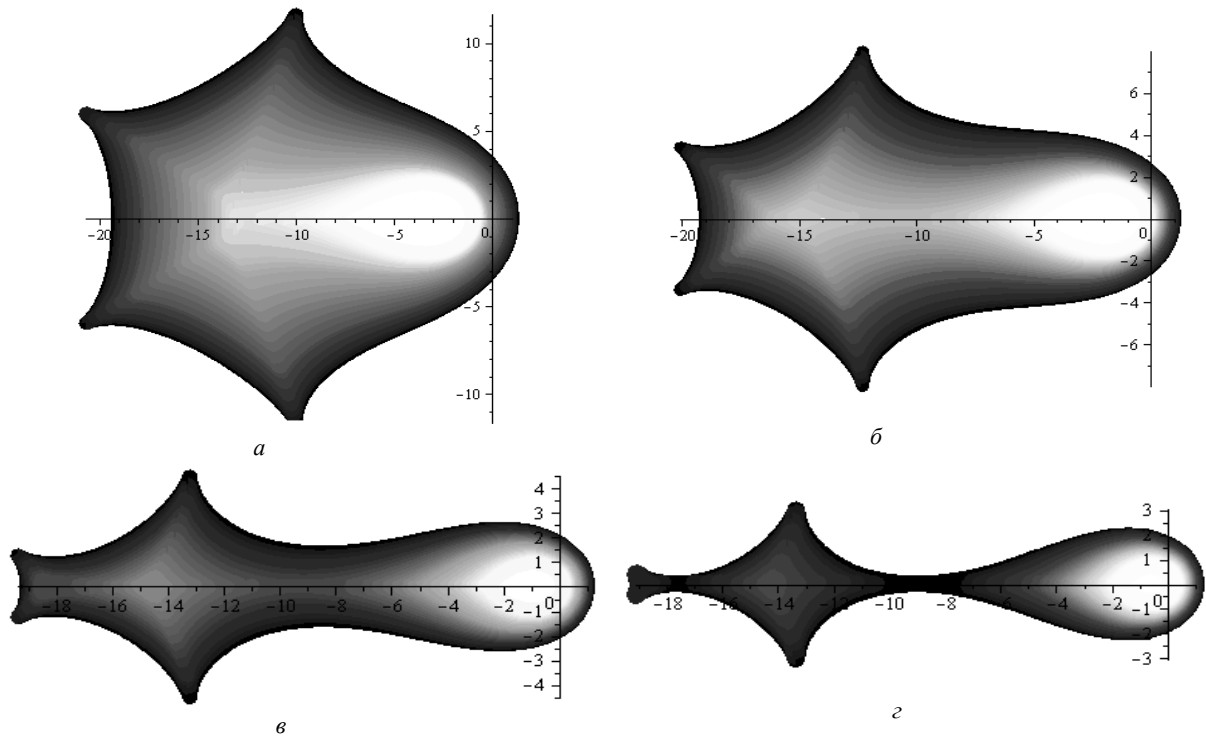


Рис. 9 – Множество $(\bar{C} \setminus \Phi(\bar{D}))^*$, где $\Phi(z) = (1-\gamma) \frac{zq(z)}{1-\gamma zq(z)}$, $N=5$, при а – $\gamma=0.7$, $\sigma=1$; б – $\gamma \approx 0.557$, $\sigma=1.4$;
в – $\gamma \approx 0.368$, $\sigma=1.8$; г – $\gamma \approx 0.254$, $\sigma=2$

3. Приложения к вычислительным методам решения систем уравнений. В этом разделе рассмотрим несколько примеров применения метода стабилизации положения равновесия системы (1) управлением (11) к возможности обобщения известных итерационных процессов решения систем линейных и нелинейных уравнений [20].

3.1 Нелинейные уравнения. Рассмотрим вычислительную схему метода простых итераций (или метода Richardson) решения системы алгебраических уравнений, вообще говоря, комплексных

$$F(x) = 0, \quad (24)$$

Для решения системы (24) строится вспомогательная разностная система

$$x_{n+1} = x_n + G(x_n)F(x_n), \quad (25)$$

где $G(x_n)$ – матрица, подлежащая выбору. Положения равновесия системы (25) совпадают с решениями системы (24). В классической схеме простых итераций матрица $G(x_n)$ выбирается из условий принадлежности мультипликаторов положения равновесия системы (25) интервалу $(-1, 1)$. Это условие можно ослабить: матрицу $G(x_n)$ следует выбирать так, чтобы мультипликаторы положения равновесия системы (25) были бы вещественными и меньше единицы. Можно взять, например, $G(x_n) = -[F'(x_n)]^*$, где $F(x)$ – матрица Якоби, а знак

"*" означает Эрмитово транспонирование. Тогда система (25) примет вид

$$x_{n+1} = x_n - [F'(x_n)]^* F(x_n). \quad (26)$$

Пусть $F(\xi) = 0$. Если матрица $F'(\xi)$ не вырождена, то матрица $[F'(\xi)]^* F'(\xi)$ положительно определена, то есть все ее собственные значения больше нуля. Следовательно, все собственные значения матрицы $(I - [F'(\xi)]^* F'(\xi))$, где I – единичная матрица, вещественные и меньше единицы. Пусть эти собственные значения лежат в интервала $(-\hat{\mu}, 1)$.

Организуем итерационный процесс для системы (26) по схеме (12):

$$x_{n+1} = \sum_{j=1}^N a_j x_{n-j+1} - (1-\gamma) \sum_{j=1}^N a_j [F'(x_{n-j+1})]^* F(x_{n-j+1}), \quad (27)$$

где $0 < \gamma < 1$, коэффициенты a_1, \dots, a_N вычисляются по формулам раздела 1.2 (при некотором $\sigma \in [1, 2]$).

Обозначим $q_N = -\sum_{j=1}^N (-1)^j a_j$. Тогда γ и N

следует выбирать из условий: $\frac{q_N^{-1} + \gamma}{1 - \gamma} > \hat{\mu}$, $0 < \gamma < 1$.

Например, если $\sigma = 2$, то $a_j = 2 \tan \frac{\pi}{2(N+1)} \left(1 - \frac{j}{N+1}\right) \sin \frac{\pi j}{N+1}$, $j = 1, \dots, N$

$q_N = \tan^2 \frac{\pi}{2(N+1)}$, и должно выполняться нера-

венство $\frac{\cot^2 \frac{\pi}{2(N+1)} + \gamma}{1-\gamma} > \hat{\mu}$. Если $\sigma = 1$, то

$a_j = \frac{2}{N} \left(1 - \frac{j}{N+1}\right)$, $j=1, \dots, N$, $q_N = \frac{1}{N}$, и должно

выполняться неравенство $\frac{N+\gamma}{1-\gamma} > \hat{\mu}$. Итерационный

процесс будет сходиться к положению равновесия, если только начальные векторы лежат в области притяжения этого положения равновесия. Отметим, что схему (27) можно заменить аналогичной, более экономной с вычислительной точки зрения

$$\begin{cases} \hat{x}_n = \sum_{j=1}^N a_j x_{n-j+1}, \\ x_{n+1} = \hat{x}_n - (1-\gamma)[F'(\hat{x}_n)]^* F(\hat{x}_n), \quad n > N. \end{cases}$$

3.2 Обобщенный метод простой итерации решения систем линейных уравнений. Если система (24) линейная, то есть $Ax - b = 0$, то система (26) примет вид $x_{n+1} = (I - A^*A)x_n + A^*b$, соответственно, система управления (27) –

$$\begin{cases} \hat{x}_n = \sum_{j=1}^N a_j x_{n-j+1}, \\ x_{n+1} = (I - (1-\gamma)A^*A)\hat{x}_n + (1-\gamma)A^*b, \quad n > N. \end{cases} \quad (28)$$

В случае, если матрица A симметрическая положительно определенная, итерационная схема упрощается

$$\begin{cases} \hat{x}_n = \sum_{j=1}^N a_j x_{n-j+1}, \\ x_{n+1} = (I - (1-\gamma)A)\hat{x}_n + (1-\gamma)b, \quad n > N. \end{cases} \quad (29)$$

Аналогичная схема пригодна и для обращения матриц

$$\begin{cases} \hat{X}_n = \sum_{j=1}^N a_j X_{n-j+1}, \\ X_{n+1} = (I - (1-\gamma)A^*A)\hat{X}_n + (1-\gamma)A^*, \quad n > N, \end{cases} \quad (30)$$

или для симметрической положительно определенной матрицы A

$$\begin{cases} \hat{X}_n = \sum_{j=1}^N a_j X_{n-j+1}, \\ X_{n+1} = (I - (1-\gamma)A)\hat{X}_n + (1-\gamma)I, \quad n > N, \end{cases} \quad (31)$$

где X_n – матрицы. Теоретически итерационные процессы (28), (29), (30), (31) сходятся при любых начальных значениях в отличие от обычных схем простой итерации. Преимущества этих схем перед другими методами решения линейных уравнений – это отсутствие в вычислительных процессах операций

деления, что позволяет проводить вычисления с плохо обусловленными матрицами. Заметим, что при $\gamma = 0$, $N = 1$ обобщенный метод простой итерации совпадает с классическим методом простой итерации.

3.3 Обобщенный метод Seidel решения систем линейных уравнений.

Предположим, что диагональные элементы матрицы A отличны от нуля. Матрицу A представим в виде $A = L + \hat{D} + U$, где матрица \hat{D} – диагональная матрица, матрицы L и U – нижняя и верхняя треугольные матрицы с нулевыми диагоналями. Классический метод Seidel состоит в задании начального вектора x_0 и последовательного вычисления векторов x_n : $(L + \hat{D})x_{n+1} = -Ux_n + b$, тогда $x_{n+1} = -(L + \hat{D})^{-1}Ux_n + (L + \hat{D})^{-1}b$. Разумеется, при реализации этого метода не требуется строить матрицу $(L + \hat{D})^{-1}$. Метод Seidel сходится, если все собственные значения матрицы $(L + \hat{D})^{-1}U$ лежат в центральном единичном круге комплексной плоскости. Это условие выполняется, например, если матрица A симметрическая положительно определенная. Обобщим метод Seidel. Применим к системе $x_{n+1} = -(L + \hat{D})^{-1}Ux_n + (L + \hat{D})^{-1}b$ вычислительную схему (21). Получим

$$\begin{cases} \hat{x}_n = \sum_{j=1}^N a_j x_{n-j+1}, \\ x_{n+1} = (\gamma I - (1-\gamma)(L + \hat{D})^{-1}U)\hat{x}_n + (1-\gamma)(L + \hat{D})^{-1}b, \quad n > N. \end{cases}$$

После простых преобразований обобщенный метод P.L. Seidel приводится к итерационной схеме

$$\begin{cases} \hat{x}_n = \sum_{j=1}^N a_j x_{n-j+1}, \\ (L + \hat{D})x_{n+1} = (-U + \gamma A)\hat{x}_n + (1-\gamma)b, \quad n > N. \end{cases} \quad (32)$$

При $\gamma = 0$, $N = 1$ обобщенный метод Seidel совпадает с классическим. Если матрица A симметрическая положительно определенная, то в (32) достаточно брать $N = 1$. Изучим вопрос сходимости итерационной схемы (32). Пусть μ_1, \dots, μ_m – собственные значения матрицы $-(L + \hat{D})^{-1}U$. Рассмотрим полином (18) при $p(\lambda^{-1}) = a_1 \lambda^{-1} + \dots + a_N \lambda^{-N}$, $q(\lambda^{-1}) = a_1 + \dots + a_N \lambda^{-N+1}$. Если все нули этого полинома лежат в центральном единичном круге, то итерационная схема (32) сходится. При подходящем выборе N , a_1, \dots, a_N схема (32) сходится, если собственные значения матрицы $-(L + \hat{D})^{-1}U$ лежат, например, в множестве $M \subseteq \{\mu \in C : |\mu| < 1\} \cup \{\mu \in R : \mu \in (-\hat{\mu}, 1)\}$, $\hat{\mu} > 1$, или в $M \subseteq \{\mu \in C : |\mu| < 1\} \cup \{\mu \in C : |\mu + R| < R\}$, $R > 1/2$. Для обращения матрицы $A = L + \hat{D} + U$ применяем схему

$$\begin{cases} \hat{X}_n = \sum_{j=1}^N a_j X_{n-j+1}, \\ (L + \hat{D})X_{n+1} = (-U + \gamma A)\hat{X}_n + (1 - \gamma)I, \quad n > N \end{cases} \quad (33)$$

Отметим, что сложность обобщенных методов по сравнению с классическими возрастает незначительно, на каждой итерации дополнительно необходимо выполнить несколько операций сложения и умножения. Аналогично, можно обобщать и другие стационарные, и даже нестационарные, итерационные методы решения систем алгебраических уравнений.

4. Численное моделирование

Пример 1. Рассмотрим систему нелинейных уравнений

$$\begin{cases} f_i(x, y, z) = 0, \\ i = 1, 2, 3, \end{cases} \quad (34)$$

где $f_1(x, y, z) = -x + x^3 + y^2 + 7z^4 - 1$, $f_2(x, y, z) = x - y + 2z$, $f_3(x, y, z) = (x - y - 8z)^4 - z$. Эта система изучалась в курсе www.youtube.com/watch?v=S5hevRtjMI8, для ее решения применялись методы простой итерации и Newton. Этими методами были найдены решения

$(1, 1, 0)$ и $(-1, -1, 0)$, причем отмечалось, что для сходимости методов начальное приближение (x_0, y_0, z_0) должно быть близко к решению. Особенно это относится к z_0 . Для решения системы (34) применим итерационный процесс (27). Вычислим

$$[F'(x, y, z)]^* = \begin{pmatrix} -1 + 3x^2 & 1 & 4(x - y - 8z)^3 \\ 2y & -1 & -4(x - y - 8z)^3 \\ 28z^3 & 2 & -32(x - y - 8z)^3 - 1 \end{pmatrix}.$$

Положим в (27) $N = 3$, $\gamma = 0.91$, $\sigma = 1.4$. Тогда $a_1 \approx 0.46798$, $a_2 \approx 0.37603$, $a_3 \approx 0.15600$. В качестве начальных приближений возьмем три точки: $(x_0, y_0, z_0) = (1.55, 0.74, 0.12)$, $(x_0, y_0, z_0) = (0.84, 0.8, -0.01)$, $(x_0, y_0, z_0) = (-0.91, -1.1, -0.005)$.

Далее, для каждой из этих точек положим $(x_i, y_i, z_i) = (x_0, y_0, z_0)$, $i = 1, 2$. Тогда итерационный процесс (27) будет сходиться, причем для каждой начальной точки к различному решению: для первой к $(0.95134, 1.04417, 0.04642)$, для второй к $(1, 1, 0)$, для третьей к $(-1, -1, 0)$.

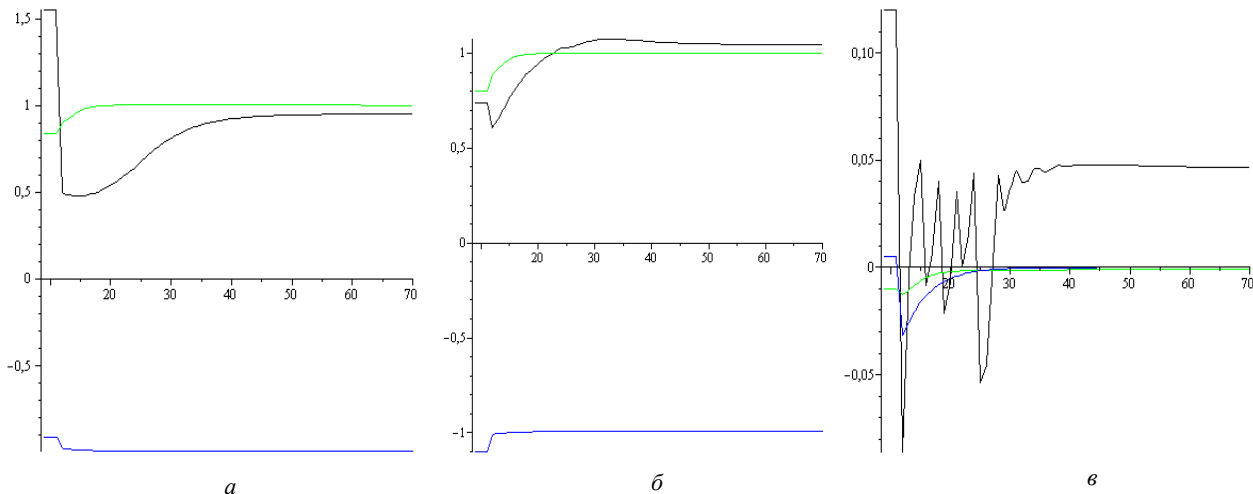


Рис. 10 – Графики $a - (n, x_n)$, $b - (n, y_n)$, $e - (n, z_n)$ итерационного процесса (27) решения системы (34) для разных начальных точек

На рис. 11 представлены графики невязки, где $\varepsilon_n = |f_1(x_n, y_n, z_n)| + |f_2(x_n, y_n, z_n)| + |f_3(x_n, y_n, z_n)|$.

Приведем значения первых итераций и график невязки для итерационного процесса (26) и начального вектора (рис. 12): $(x_0, y_0, z_0) = (1.00001, 0.99999, 0)$; $(x_7, y_7, z_7) = (1.086, 0.91, 0.246)$; $(x_8, y_8, z_8) = (234.865, -233.087, -1867.571)$.

По сравнению с методом простой итерации и методом Newton, предложенный метод оказался более эффективным, позволил найти дополнительно еще одно решение, и бассейн притяжения положений равновесия оказался заметно больше.

Графики (n, x_n) , (n, y_n) , (n, z_n) для разных начальных точек представлены на рис. 10 (для первой – black, для второй – green, для третьей – blue).

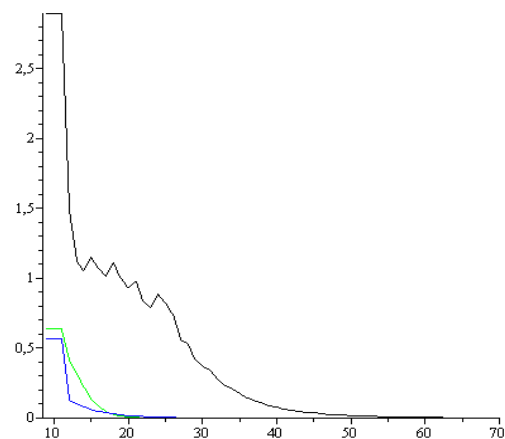


Рис. 11 – Графики невязки (n, ε_n) итерационного процесса (27) решения системы (34) для разных начальных точек

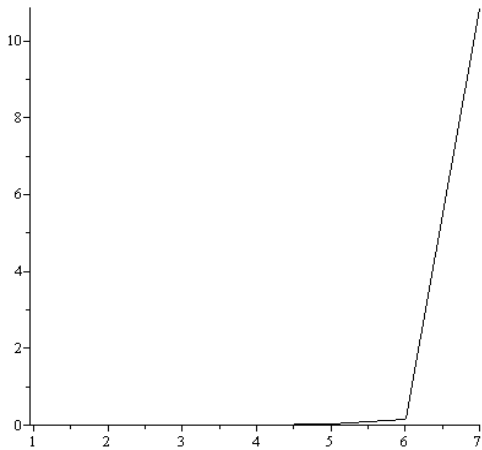


Рис. 12 – График невязки (n, ε_n) итерационного процесса (26) решения системы (34)

Пример 2. Рассмотрим матрицу

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 2 & -2 & -10 \\ 3 & -10 & 1 \end{pmatrix} \quad (35)$$

и применим итерационный процесс (33) для ее обращения. Так как собственные значения матрицы A равны $\{-11.58, 1.85, 9.73\}$, то метод простых итераций обращения этой матрицы будет расходиться.

Разложим матрицу A

$$A = L + \hat{D} + U = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 \\ 3 & -10 & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 2 & 3 \\ 0 & 0 & -10 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

и найдем собственные значения матрицы $-(L + \hat{D})^{-1}U$: $\{0, -0.41, -72.59\}$. Так как эти собственные значения не лежат в центральном единичном круге, то для обращения матрицы (35) метод Seidel не применим. Но эти собственные значения меньше единицы, следовательно, применим обобщенный метод Seidel. В формуле (33) возьмем $N=7$, $\gamma=0.743$, $\sigma=1.8$. Тогда $a_1 \approx 0.14722$, $a_2 \approx 0.21348$, $a_3 \approx 0.22286$, $a_4 \approx 0.19052$, $a_5 \approx 0.13372$, $a_6 \approx 0.07116$. В качестве начальных приближений возьмем матрицы: $X[1]$ – единичная, $X[2], \dots, X[7]$ – нулевые. Тогда

$$X[250] = \begin{pmatrix} 0.490 & 0.154 & 0.067 \\ 0.154 & 0.038 & -0.077 \\ 0.067 & -0.077 & 0.029 \end{pmatrix}.$$

Обозначим $\varepsilon_n = \|X[n]A - I\|_1$, где норма $\varepsilon_n = \|\bullet\|_1$ – сумма абсолютных значений компонент матрицы. Вычислим $\varepsilon_{250} \approx 3 \cdot 10^{-9}$. Сходимость процесса обращения матрицы показана на графике невязки (рис. 13). Из-за плохого начального приближения невязка резко возросла, однако, уже через десять шагов эта невязка стала быстро убывать, что подтверждает практическую эффективность предло-

женной схемы. Отметим, что, как при увеличении γ , так и при уменьшении N , скорость сходимости будет уменьшаться.

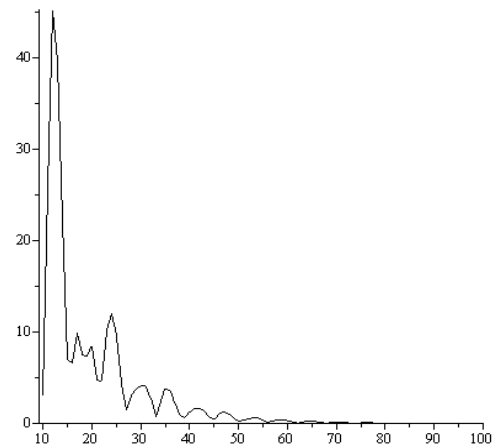


Рис. 13 – График невязки (n, ε_n) итерационного процесса (33) обращения матрицы (35)

Для сравнения приведем расчеты, используя схему О. Morgul, то есть в формуле (33) возьмем $N=1$. Для этого случая наилучшее значение $\gamma=0.974$. Нужная точность достигается на 800 шагах. Приведем графики невязки предыдущей схемы и схемы О. Morgul для первых 80 итераций (рис. 14).

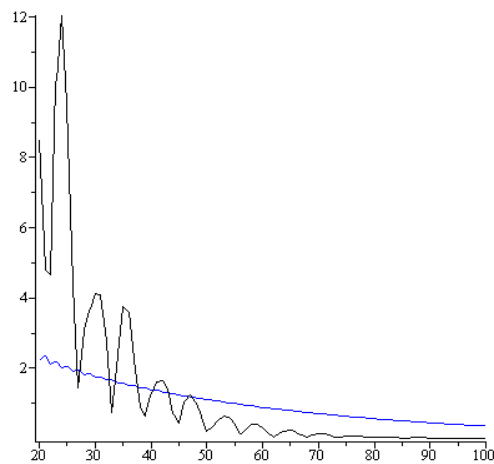


Рис. 14 – Графики невязки (n, ε_n) итерационного процесса (33) обращения матрицы (35) при $N=7$ (black) и $N=1$ (blue)

Видно, что невязка в методе О. Morgul убывает монотонно, но значительно медленнее невязки обобщенного полулинейного контроля.

Выводы. В статье рассмотрена проблема стабилизации неустойчивых и априори неизвестных периодических орбит нелинейных систем с дискретным временем. Предложен новый подход к конструированию запаздывающей обратной связи, решающей задачу стабилизации. Обратная связь представляется в виде выпуклой комбинации нелинейной обратной связи и полулинейной обратной связи, введенной О. Morgul. Тем самым сохраняются преимущества обоих видов обратной связи.

Для построения коэффициентов усиления нелинейной обратной связи и получения условий применимости такого управления были использованы методы геометрического комплексного анализа. В статье этими методами проанализирована возможность применения схемы О. Morgul. Получены необходимые и достаточные условия стабилизации в виде геометрического критерия локальной асимптотической устойчивости. Также метод О. Morgul был перенесен со скалярного случая на векторный.

Важно отметить, что характеристические полиномы для периодических орбит в нелинейном и полунелинейном случаях имеют очень простую структуру, хотя, естественно, различную. Именно это обстоятельство явилось стимулом объединить два упомянутых выше подхода. Полученный характеристический полином также имеет достаточно простую структуру и содержит в себе, как частные случаи, полиномы нелинейного и полунелинейного схем управления.

Геометрический критерий устойчивости в нелинейном и полунелинейном случаях состоял в анализе образов центрального единичного круга при специальном полиномиальном отображении. В комбинированном нелинейно-полунелинейном методе управления вместо полиномиальных отображений приходится изучать дробно-рациональные отображения. В статье приведено решение построения квазиоптимальных дробно-рациональных отображений для случая $T=1$, то есть для стабилизации положений равновесия. Дополнительное введение в управление полунелинейной обратной связи позволяет существенно уменьшить длину используемой в запаздывающей обратной связи предыстории и повысить скорость сходимости возмущенных решений к периодическим.

Как приложение предложенной схемы стабилизации приведен возможный вычислительный алгоритм нахождения решений систем алгебраических уравнений, основанный на модификации известных итерационных схем. В этих схемах используются значения переменных, вычисленные на предыдущих шагах. При этом трудоемкость новых итерационных схем практически не возрастает. Приведенные результаты численного решения систем линейных и нелинейных уравнений подтверждают это суждение и эффективность предложенных схем стабилизации положения равновесия.

Список литературы

1. Jackson E. A. Perspectives of Nonlinear Dynamics. Vol. I, II / E. A. Jackson // Cambridge Univ. Press, Cambridge. – 1989, 1990. – p. 495, 632.
2. Ott E. Controlling chaos / E. Ott, C. Grebodgi, J. A. Yorke // Phys. Rev. Lett. 64. – 1990. – P. 1196–1199.
3. Chen G. From chaos to order: Methodologies, Perspectives and Application / G. Chen, X. Dong // World Scientific series on Nonlinear Science A. – World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.: Singapore. – 1998. – Vol. 24. – P. 598–614.
4. Andrievsky B. R. Control of Chaos: Methods and Applications / B. R. Andrievsky, A. L. Fradkov // I. Methods, Avtomat. i Telemekh. – 2003. – no. 5. – P. 3–45.
5. Pyragas K. Continuous control of chaos by self controlling feedback. Phys. Rev. Lett. A 170. 1992, pp. 421–428.
6. Vieira de S. M., Lichtenberg A. J. Controlling chaos using nonlinear feedback with delay. Phys. Rev. E 54. 1996, pp. 1200–1207.
7. Dmitrishin D. and Khamitova A. Methods of harmonic analysis in nonlinear dynamics. Comptes Rendus Mathematique. 2013, vol. 351, issues 9–10, pp. 367–370.
8. Dmitrishin D., Skrinnik I., Stokolos A. From chaos to order through mixing. arXiv:1607.05493 [nlin.CD]. 2016, p. 15.
9. Morgul O. On the stability of delayed feedback controllers. Phys. Lett. A., 2003, pp. 278–285.
10. Morgul O. Further stability results for a generalization of delayed feedback control. Nonlinear Dynamics. 2012, pp. 1–8.
11. Dmitrishin D., Khamitova A., Stokolos A. On the generalized linear and non-linear DFC in non-linear dynamics. arXiv:1407.6488 [math.DS], 2014, p. 19.
12. Khalil H. K. Nonlinear Systems, 3rd edn. Prentice-Hall, Upper Saddle River. 2002, 750 p.
13. Elaydi S. N. An Introduction to Difference Equations. New York, Springer-Verlag, 1996, 539 p.
14. Solyanik A. A-Stabilization and the ranges of complex polynomials on the unit disk. arXiv:1701.04784v [math.NA]. 2017, p. 37.
15. Titchmarsh E. The theory of functions. London, Oxford University press, 1939, p. 454.
6. Vieira de S. M. Controlling chaos using nonlinear feedback with delay / S. M. Vieira de, A. J. Lichtenberg // Phys. Rev. E 54. – 1996. – P. 1200–1207.
7. Dmitrishin D. Methods of harmonic analysis in nonlinear dynamics / D. Dmitrishin, A. Khamitova // Comptes Rendus Mathematique, Volume 351, Issues 9–10. – 2013. – P. 367–370.
8. Dmitrishin D. From chaos to order through mixing / D. Dmitrishin, I. Skrinnik, A. Stokolos // arXiv:1607.05493 [nlin.CD]. – 2016. – p. 15.
9. Morgul O. On the stability of delayed feedback controllers / O. Morgul // Phys. Lett. A. – 2003. – P. 278–285.
10. Morgul O. Further stability results for a generalization of delayed feedback control / O. Morgul // Nonlinear Dynamics. – 2012. – P. 1–8.
11. Dmitrishin D. On the generalized linear and non-linear DFC in nonlinear dynamics / D. Dmitrishin, A. Khamitova, A. Stokolos // arXiv:1407.6488 [math.DS]. – 2014. – p. 19.
12. Khalil H. K. Nonlinear Systems, 3rd edn / H. K. Khalil // Prentice-Hall, Upper Saddle River. – 2002. – 750 p.
13. Elaydi S. N. An Introduction to Difference Equations / S. N. Elaydi // New York : Springer-Verlag, – 1996. – 539 p.
14. Solyanik A. A-Stabilization and the ranges of complex polynomials on the unit disk / A. Solyanik // arXiv:1701.04784v [math.NA]. – 2017 – p. 37.
15. Titchmarsh E. The theory of functions / E. Titchmarsh // London, Oxford University press. – 1939 – p. 454.

References

1. Jackson E. A. Perspectives of Nonlinear Dynamics. Vol. I, II. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1989, 1990, p. 495, 632.
2. Ott E., Grebodgi C., Yorke J. A. Controlling chaos. Phys. Rev. Lett. 64. 1990, pp. 1196–1199.
3. Chen G., Dong X. From chaos to order: Methodologies, Perspectives and Application. World Scientific series on Nonlinear Science A, Singapore, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 1998, Vol. 24, pp. 598–614.
4. Andrievsky B. R., Fradkov A. L. Control of Chaos: Methods and Applications. I. Methods, Avtomat. i Telemekh. 2003, no. 5, pp. 3–45.
5. Pyragas K. Continuous control of chaos by self controlling feedback. Phys. Rev. Lett. A 170. 1992, pp. 421–428.
6. Vieira de S. M., Lichtenberg A. J. Controlling chaos using nonlinear feedback with delay. Phys. Rev. E 54. 1996, pp. 1200–1207.
7. Dmitrishin D. and Khamitova A. Methods of harmonic analysis in nonlinear dynamics. Comptes Rendus Mathematique. 2013, vol. 351, issues 9–10, pp. 367–370.
8. Dmitrishin D., Skrinnik I., Stokolos A. From chaos to order through mixing. arXiv:1607.05493 [nlin.CD]. 2016, p. 15.
9. Morgul O. On the stability of delayed feedback controllers. Phys. Lett. A., 2003, pp. 278–285.
10. Morgul O. Further stability results for a generalization of delayed feedback control. Nonlinear Dynamics. 2012, pp. 1–8.
11. Dmitrishin D., Khamitova A., Stokolos A. On the generalized linear and non-linear DFC in non-linear dynamics. arXiv:1407.6488 [math.DS], 2014, p. 19.
12. Khalil H. K. Nonlinear Systems, 3rd edn. Prentice-Hall, Upper Saddle River. 2002, 750 p.
13. Elaydi S. N. An Introduction to Difference Equations. New York, Springer-Verlag, 1996, 539 p.
14. Solyanik A. A-Stabilization and the ranges of complex polynomials on the unit disk. arXiv:1701.04784v [math.NA]. 2017, p. 37.
15. Titchmarsh E. The theory of functions. London, Oxford University press, 1939, p. 454.

16. Khamitova A. Characteristic polynomials for a cycle of non-linear discrete systems with time delays. *Vestnik S.-Peterburg. un-ta. Ser. 10.: Prikl. matem. Inform. Proc. upr.* [Bulletin of the St. Petersburg State University. Series 10: Applied Mathematics, Computer Science, Control Processes]. St. Petersburg, 2016, no. 4, pp. 104–115.
17. Dmitrishin D., Hagelstein P., Khamitova A., Stokolos A. On the stability of cycles by delayed feedback control. *Linear and Multilinear Algebra* 64. 2016, pp. 1538–1549.
18. Rogosinski W. W. Uber positive harmonische sinusentwicklungen. *Jber.Deutsch. Math. Ver.*, 40. 1931, pp. 33–35.
19. Kelley C. T. Iterative methods for linear and nonlinear equations. *SIAM*, Philadelphia, 1995, p. 172.

Поступила (received) 02.04.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Узагальнення нелінійного контролю для нелінійних дискретних систем / Д. В. Дмитришин, О. М. Стоколос, І. М. Скринник, О. Д. Франжева // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 28 (1250). – С. 3–18. – Бібліогр.: 19 назв. – ISSN 2079-0023.

Обобщение нелинейного управления для нелинейных дискретных систем / Д. В. Дмитришин, А. М. Стоколос, И. М. Скринник, Е. Д. Франжева // Вестник НТУ «ХПИ». Серія: Системный анализ, управление и информационные технологии. – Харків : НТУ «ХПИ», 2017. – № 28 (1250). – С. 3–18. – Библиогр.: 19 назв. – ISSN 2079-0023.

Generalization of nonlinear control for nonlinear discrete systems / D. V. Dmitrishin, A. M. Stokolos, I. M. Skrinnik, E. D. Franzheva // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No. 28 (1250). – P. 3–18. – Bibliogr.: 19. – ISSN 2079-0023.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Дмитришин Дмитро Володимирович – доктор технічних наук, професор, Одеський національний політехнічний університет; тел.: (048) 705-83-04; e-mail: dmitrishin@opu.ua.

Дмитришин Дмитрій Владимирович – доктор технических наук, профессор, Одесский национальный политехнический университет; тел.: (048) 705-83-04; e-mail: dmitrishin@opu.ua.

Dmitrishin Dmitriy Vladimirovych – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Odessa National Polytechnic University; tel.: (048) 705-83-04; e-mail: dmitrishin@opu.ua.

Стоколос Олександр Михайлович – професор, Південний університет штату Джорджія; тел.: (912) 478-52-98; e-mail: astokolos@georgiasouthern.edu.

Стоколос Александр Михайлович – профессор, Южный университет штата Джорджия; тел.: (912) 478-52-98; e-mail: astokolos@georgiasouthern.edu.

Stokolos Alexander Mychalovych – Full Professor, Georgia Southern University; tel.: (912) 478-52-98; e-mail: astokolos@georgiasouthern.edu.

Скринник Іван Михайлович – Одеський національний політехнічний університет, аспірант; тел.: (067) 485-36-14; e-mail: skrynnyk@opu.ua.

Скринник Іван Михайлович – Одесский национальный политехнический университет, аспирант; тел.: (067) 485-36-14; e-mail: skrynnyk@opu.ua.

Skrinnik Ivan Mychalovych – Odessa National Polytechnic University, Postgraduate Student; tel.: (067) 485-36-14; e-mail: skrynnyk@opu.ua.

Франжева Олена Дмитрівна – Одеський національний політехнічний університет, магістрант; тел.: (050) 582-71-59; e-mail: franjeva.lena@gmail.com.

Франжева Елена Дмитриевна – Одесский национальный политехнический университет, магистрант; тел.: (050) 582-71-59; e-mail: franjeva.lena@gmail.com.

Franzheva Elena Dmitrievna – Odessa National Polytechnic University, Master Student; tel.: (050) 582-71-59; e-mail: franjeva.lena@gmail.com.

УДК 681.5

А. С. КУЦЕНКО, В. И. ТОВАЖНЯНСКИЙ, Н. А. ОДАРЧЕНКО

ОБРАЩЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ В КЛАССЕ ПОЛИНОМИАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ

Предложен метод и алгоритм решения задачи обращения линейных динамических систем в среде полиномиальных сигналов. Решение задачи получено на основе матричных представлений полиномиальных вектор - функций входа, выхода и состояния и статических матричных преобразований, что позволило свести поставленную задачу к решению линейной системы алгебраических уравнений. Предложен метод анализа робастности полученных результатов. Разработано соответствующее программное обеспечение.

Ключевые слова: обращение динамических систем, линейная система, полиномиальный сигнал, матричное уравнение, число обусловленности, программное обеспечение.

Запропоновано метод і алгоритм розв'язання задачі обернення лінійних динамічних систем в середовищі поліноміальних сигналів. Рішення задачі отримано на основі матричних уявлень поліноміальних вектор - функцій входу, виходу і стану і статичних матричних перетворень, що дозволило звести поставлену задачу до вирішення лінійної системи алгебраїчних рівнянь. Запропоновано метод аналізу робастності отриманих результатів. Розроблено відповідне програмне забезпечення.

Ключові слова: обернення динамічних систем, лінійна система, поліноміальний сигнал, матричне рівняння, число обумовленості, програмне забезпечення.

There has been proposed a method, algorithm and software solving the problem of inversion of linear dynamical systems in the polynomial signal environment. The solution of the problem was obtained on the basis of matrix representations of polynomial input, output, and state vector functions and static matrix transformations, which made it possible to reduce the problem posed to the solution of a linear system of algebraic equations. Also, there has been proposed a method for analyzing the robustness of the results obtained. There has been developed the software for implementing the proposed methods. The software includes the approximation of the initial information by polynomials of a given degree by the method of least squares, the formation of matrix analogs of the polynomial task by the output of the system, the formation of a matrix of a system of linear algebraic equations, and its solution. The maximum degree of approximating polynomials is corrected on the basis of estimation of the number of conditionality. The software contains a block for estimating the accuracy of the result of the call.

Keywords: inversion of dynamical systems, linear system, polynomial signal, matrix equation, condition number, software.

Введение. Одним из эффективных методов теории управления, играющим одну из ключевых ролей при синтезе комбинированных регуляторов, является метод обратных операторов, детально исследованный в работах [1–5]. По существу решение задачи программного управления динамической системой эквивалентно решению обратной задачи: нахождения управляющего воздействия, обеспечивающего заданную цель управления. Таким образом, метод обратных операторов является одной из форм постановки и решения основной задачи управления. Принципиальной особенностью метода является поиск решения на основе построения оператора, на вход которого подается требуемая функция выхода объекта управления, а на выходе формируется соответствующая управляющая функция времени. Как известно из [2, 6, 7] при реализации метода обратных операторов возникает множество проблем, среди которых следует особо выделить проблемы устойчивости, физической реализуемости, грубости и корректности обратных операторов. Перечисленные проблемы не позволяют в общем случае найти практически реализуемое решение задачи нахождения обратного оператора в задаче управления.

В то же время представляется естественным рассмотреть некоторые приближенные математические модели объекта управления и сигналов на его входах и выходах, для которых задача обращения имеет корректное решение.

Постановка задачи. Пусть задана линейная устойчивая динамическая система (ЛДС) математическая модель которой в пространстве состояний

имеет вид

$$\dot{x} = Ax + Bu, \quad (1)$$

$$y = Cx, \quad (2)$$

где $x \in R^n$ – вектор состояния, $u \in R^m$ – вектор управления, $y \in R^s$ – вектор выхода, A, B, C – матрицы соответствующих размерностей.

Будем рассматривать управляемый процесс $u(t)$, $x(t)$, $y(t)$ на некотором, достаточно большом временном интервале $[t_0, t_1]$ при нулевых начальных условиях $x(t_0) = 0$.

Рассмотрим линейное пространство Z непрерывных функций $z(t)$, удовлетворяющих условию

$$\frac{dz}{dt} \in Z. \quad (3)$$

К таким D -функциям можно отнести функцию

$$z(t) = \sum_{k=1}^N e^{a_k t} (R_k(t) \sin \omega_k t + Q_k(t) \cos \omega_k t), \quad (4)$$

где a_k и ω_k ($k = \overline{1, N}$) – некоторые постоянные величины, а $R_k(t)$ и $Q_k(t)$ – векторные многочлены степени не более l . Нетрудно простой проверкой убедиться, что функция вида (4) удовлетворяет условию (3). При различных значениях параметров N , a_k , ω_k , $R_k(t)$, $Q_k(t)$ могут быть получены различ-

ные частные виды D -функций. Рассмотрим случай, когда $N=1$, $\alpha_k = \mathbf{0}$, $\omega_k = \mathbf{0}$. Тогда формула (4) примет вид

$$z(t) = Q(t), \quad (5)$$

В дальнейшем будем рассматривать в качестве моделей сигналов подмножество полиномов

$$Q^l(t) \subset Z. \quad (6)$$

Следует отметить, что использование полиномов в качестве аппроксимаций входных сигналов в системе (1), (2) можно обосновать, опираясь на известную теорему Вейерштрасса [8]. Кроме того, для аппроксимации функций можно воспользоваться кусочной сплайн-аппроксимацией полиномами 3-й степени.

Поскольку соотношения (1), (2) содержат только операции сложения, умножения на матрицу и дифференцирование сигналов вида (4), то (1), (2) можно интерпретировать как оператор L , преобразующий входные сигналы $\mathbf{u}(t)$ в выходные $\mathbf{y}(t)$ в классе D -функций

$$\mathbf{y}(t) = L(\mathbf{u}(t)). \quad (7)$$

Задачу (7) будем называть прямой задачей.

При решении многих практических задач синтеза систем управления значительно больший интерес представляет обратная задача нахождения управления

$$\mathbf{u}(t) = L^{-1}(\mathbf{y}(t)), \quad (8)$$

реализующего заданный выход $\mathbf{y}(t)$ в классе полиномов степени не выше l . Это и составляет цель данного исследования.

Реакция ЛДС на полиномиальное воздействие. Будем искать вынужденную составляющую решения уравнения (1) в виде бесконечного ряда

$$\mathbf{x}(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \mathbf{C}_k \mathbf{u}^{(k-1)}(t), \quad (9)$$

где \mathbf{C}_k – некоторые $n \times m$ -матрицы, в дальнейшем подлежащие определению.

Подставляя (9) в (1) получим

$$\sum_{k=1}^{\infty} \mathbf{C}_k \mathbf{u}^{(k)} = \sum_{k=1}^{\infty} \mathbf{A} \mathbf{C}_k \mathbf{u}^{(k-1)} + \mathbf{B} \mathbf{u}. \quad (10)$$

Приравнявая матричные коэффициенты при производных $\mathbf{u}^{(k)}$ одного порядка в левой и правой частях (10) получим систему рекуррентных соотношений для определения матрицы \mathbf{C}_k :

$$\mathbf{A} \mathbf{C}_1 + \mathbf{B} = \mathbf{0}, \quad \mathbf{A} \mathbf{C}_{k+1} = \mathbf{C}_k, \quad k = \overline{1, \infty}, \quad (11)$$

из которых непосредственно следует

$$\mathbf{C}_1 = -\mathbf{A}^{-1} \mathbf{B}, \quad \mathbf{C}_2 = -\mathbf{A}^{-2} \mathbf{B}, \quad \dots, \quad \mathbf{C}_k = -\mathbf{A}^{-k} \mathbf{B}, \quad \dots \quad (12)$$

Таким образом, искомое решение прямой задачи в соответствии с (9) примет вид

$$\begin{aligned} \mathbf{x}(t) &= -\sum_{k=1}^{\infty} \mathbf{A}^{-k} \mathbf{B} \mathbf{u}^{(k-1)}(t), \\ \mathbf{y}(t) &= \mathbf{C} \mathbf{x}(t). \end{aligned} \quad (13)$$

Из последнего соотношения следует, что решение прямой задачи принадлежит тому же D -классу функций, что и входное воздействие $\mathbf{u}(t)$.

В случае полиномиального векторного воздействия решение прямой задачи можно представить как

$$\begin{aligned} \mathbf{x}(t) &= -\sum_{k=1}^{l+1} \mathbf{A}^{-k} \mathbf{B} \mathbf{u}^{(k-1)}(t), \\ \mathbf{y}(t) &= \mathbf{C} \mathbf{x}(t), \end{aligned} \quad (14)$$

где l – максимальная степень полиномов компонент вектора $\mathbf{u}(t)$. Таким образом, соотношения (14) представляют собой точное решение прямой задачи управления при полиномиальном воздействии.

Матричное представление полиномиальных воздействий. Поставим в соответствие векторному полиному $\mathbf{u}(t)$ матрицу \mathbf{U} размерности $m \times (l+1)$ каждая строка которой представляет собой последовательность коэффициентов компонент полинома $\mathbf{u}(t)$. Тогда вектор полиномиальных сигналов можно представить как

$$\mathbf{u}(t) = \mathbf{U} \mathbf{T}, \quad (15)$$

где $\mathbf{T} = \left(1, t, \frac{t^2}{2!}, \dots, \frac{t^l}{l!} \right)^T$ – $(l+1)$ -мерный вектор.

Представление полиномиальных сигналов в матричной форме (15) позволяет эффективно применять методы теории матриц к решению различных задач теории управления.

Основные операции с матричным представлением сигналов следующие:

- сложение: $\mathbf{u}_1(t) + \mathbf{u}_2(t) = (\mathbf{U}_1 + \mathbf{U}_2) \mathbf{T}$;
- умножение на число: $\alpha \mathbf{u}(t) = (\alpha \mathbf{U}) \mathbf{T}$;
- умножение на матрицу слева: $\mathbf{B} \mathbf{u}(t) = \mathbf{B} \mathbf{U} \mathbf{T}$;
- дифференцирование:

$$\frac{d\mathbf{u}(t)}{dt} = \mathbf{U} \mathbf{\Lambda} \mathbf{T}. \quad (16)$$

Элементы λ_{ij} матрицы $\mathbf{\Lambda}$ размерности $(l+1) \times (l+1)$ имеют вид

$$\lambda_{ij} = \delta_{i, j+1}, \quad i, j = \overline{1, l+1},$$

где δ_{ij} – символ Кронекера.

В соответствии с (16) k -ю производную сигнала $\mathbf{u}^{(k)}(t)$ можно представить как

$$\frac{d^k \mathbf{u}(t)}{dt^k} = \mathbf{U} \mathbf{\Lambda}^k \mathbf{T}, \quad (17)$$

где оператор Λ^k k -кратного дифференцирования матричного полинома представляет собой k -ю степень матрицы Λ и имеет структуру

$$\lambda_{ij}^k = \delta_{i,j+k}, \quad i, j = \overline{1, l+1}; \quad k = \overline{1, l}.$$

С учетом введенных операций с матричными полиномами решение прямой задачи (14) можно записать как

$$\begin{aligned} X &= -\sum_{k=1}^{l+1} A^{-k} B U \Lambda^{k-1}, \\ Y &= C X, \end{aligned} \quad (18)$$

где X и Y прямоугольные матрицы соответствующих полиномиальных векторов состояния $x(t)$ и выхода $y(t)$. Исключая матрицу X из (18), получим окончательное аналитическое решение прямой задачи управления в среде полиномиальных сигналов

$$Y = -\sum_{k=1}^{l+1} C A^{-k} B U \Lambda^{k-1}, \quad (19)$$

имеющее структуру линейного оператора в пространстве прямоугольных матриц.

Решение задачи обращения. Полученный результат для прямой задачи управления в среде полиномиальных сигналов (19) позволяет легко решить соответствующую обратную задачу путем решения матричного уравнения (19) относительно U при заданной Y . Поскольку система (19) по сути является системой линейных алгебраических уравнений, то необходимым условием единственности ее решения является равенство размерностей векторов входа и выхода исходной динамической системы $m = s$. Этот случай «квадратной» системы будем рассматривать в дальнейшем.

Решение матричного уравнения (19) можно получить путем векторизации матриц Y и U и построений на основе кронекеровского произведения матриц [9]:

$$\left[\sum_{k=1}^{l+1} C A^{-k} B \otimes (\Lambda^{k-1})^T \right] \text{vec} U + \text{vec} Y = 0, \quad (20)$$

где векторы-столбцы $\text{vec} U$ и $\text{vec} Y$ составлены из транспонированных строк матриц U и Y . Решение $m \times (l+1)$ -мерной линейной системы (20) осуществляется любым стандартным численным методом.

Характерной особенностью решения многих обратных задач является отсутствие робастности результатов. С точки зрения линейной алгебры для нашей задачи степень робастности эквивалентна степени обусловленности матрицы системы (20). В связи с этим предложенный алгоритм обращения ЛДС в качестве одной из компонент содержит оценку числа обусловленности матрицы системы уравнений (20).

Программный комплекс для обращения динамических систем. Содержит следующие основные структурные блоки:

1. Блок ввода исходной информации – ввод матриц A , B , C и размерностей m , n .

2. Блок формирования задания, включающий случайный или с фиксированным шагом выбор N значений компонент требуемого вектора выхода $y^*(t)$ на заданном временном интервале $[t_0, t_1]$. Задание степени l аппроксимирующих полиномов и вычисление их коэффициентов на основе метода наименьших квадратов.

3. Формирование матрицы Φ линейной системы уравнений (20), и вычисление числа обусловленности $\text{cond}(\Phi)$ на основе евклидовой нормы. Если $\text{cond}(\Phi) \leq 100$, то следует решение системы (20) методом Гаусса. В противном случае степень аппроксимирующих полиномов l увеличивается на единицу.

4. Правильность решения задачи обращения контролируется путем численного интегрирования системы дифференциальных уравнений (1), (2) при нулевых начальных условиях и сравнения полученных значений вектора $y(t)$ с соответствующими значениями исходной функции $y^*(t)$.

Выводы. Предложено и обосновано матричное представление полиномиальных сигналов, что позволило моделировать динамические процессы как статические линейные преобразования в пространстве прямоугольных матриц. Получен достаточно простой и эффективный алгоритм решения задачи инверсии линейных управляемых динамических систем в условиях полиномиальных воздействий, а также метод оценки степени робастности результатов для конкретных задач синтеза систем управления.

Список литературы

1. Ильин А. В. Методы робастного обращения динамических систем / А. В. Ильин, С. К. Коровин, В. В. Фомичев. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 219 с.
2. Костенко Ю. Т. Системы управления с динамическими моделями / Ю. Т. Костенко, Л. М. Любчик. – Х. : Основа, 1996. – 212 с.
3. Пухов Г. Е. Синтез многосвязных систем управления по методу обратных операторов / Г. Е. Пухов, К. Д. Жук. – К. : Наукова думка, 1966. – 218 с.
4. Крутько П. Д. Обратные задачи динамических управляемых систем. Линейные модели / П. Д. Крутько. – М. : Наука, 1987. – 304 с.
5. Борухов В. Т. Критерии обратимости линейных стационарных многомерных систем / В. Т. Борухов // Автоматика и телемеханика. – 1978, вып. 11. – С. 5–11.
6. Гудвин Г. К. Проектирование систем управления / Г. К. Гудвин, С. Ф. Граббе, М. Э. Сальгадо. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. – 911 с.
7. Trentelman H. Control Theory for Linear Systems / H. Trentelman, A. Stoorvogel, M. Hautus. – Режим доступа: <http://www.math.rug.nl/trentelman/psfiles/book> – Дата обращения : 10 апреля 2017.
8. Микеладзе Ш. Е. Численные методы математического анализа / Ш. Е. Микеладзе. – М. : Гостехиздат, 1953. – 527 с.
9. Ланкастер П. Теория матриц / П. Ланкастер. – М. : Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1978. – 280 с.

References (transliterated)

1. Il'in A. V., Korovin S. K., Fomichev V. V. *Metody robastnogo obrashcheniya dinamicheskikh sistem* [Methods of robust inversion of dynamical systems]. Moscow, FIZMATLIT Publ., 2009. 219 p.

2. Kostenko Yu. T., Lyubchik L. M. *Systemy upravleniya s dinamicheskimi modelyami* [Methods of robust inversion of dynamical systems]. Kharkiv, Osnova Publ., 1996. 212 p.
3. Puhov G. E., Zhuk K. D. *Sintez mnogosvyaznykh sistem upravleniya po metodu obratnykh operatorov* [Synthesis of multiply connected control systems by the method of inverse operators]. Kyiv, Naukova Dumka Publ., 1996. 218 p.
4. Krut'ko P. D. *Obratnyye zadachi dinamicheskikh upravlyayemykh sistem. Lineynyye modeli* [Inverse problems of dynamical control systems. Linear models]. Moscow, Nauka Publ., 1987. 218 p.
5. Borukhov V. T. *Kriterii obratimosti lineynykh statsionarnykh mnogomernykh sistem* [Criteria for the reversibility of linear stationary multidimensional systems]. *Avtomatika i telemekhanika* [Automation and telemechanics], 1978, no. 2. pp. 5–11.
6. Goodwin G. C., Graebe S. F., Salgado M. E. *Proyektirovaniye sistem upravleniya* [Design of control systems]. Moscow, Binom Publ., 2004. 911 p.
7. Trentelman H., Stoorvogel A., Hautus M. *Control Theory for Linear Systems*. Available at: <http://www.math.rug.nl/trentelman/psfiles/book> (accessed: 10.04.2017.)
8. Mikeladze Sh. E. *Chislennyye metody matematicheskogo analiza* [Numerical methods of mathematical analysis]. Moscow, Gostekhizdat Publ., 1953. 527 p.
9. Lankaster P. *Teoriya matrits* [Matrix Theory]. Moscow, Nauka Publ. 1973. 280 p.

Поступила (received) 17.05.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Обернення лінійних динамічних систем в класі поліноміальних сигналів / О. С. Куценко, В. І. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, М. А. ОДАРЧЕНКО // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 28 (1250). – С. 19–22. – Бібліогр.: 9 назв. – ISSN 2079-0023.

Обращение линейных динамических систем в классе полиномиальных сигналов / А. С. Куценко, В. И. ТОВАЖНЯНСКИЙ, Н. А. ОДАРЧЕНКО // Вестник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 28 (1250). – С. 19–22. – Библиогр.: 9 назв. – ISSN 2079 0023.

Inversion of linear dynamical systems in the polynomial signals class / O. S. Kutsenko, V. I. Tovagnyansky, M. A. Odarchenko // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No. 28 (1250). – P. 19–22. – Bibliogr.: 9. – ISSN 2079-0023.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Куценко Олександр Сергійович – др. техн. наук, професор, завідувач каф. системного аналізу та інформаційно-аналітичних технологій, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: kuzenko@kpi.kharkov.ua.

Куценко Александр Сергеевич – др. техн. наук, професор, заведуючий каф. системного аналізу та інформаційно-аналітичних технологій, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина, e-mail: kuzenko@kpi.kharkov.ua.

Kutsenko Oleksandr Sergijovych – head of computer science department, National Technical University «Kharkiv Politechnic Institute», Kharkiv, Ukraine. e-mail: kuzenko@kpi.kharkov.ua.

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

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

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

Одарченко Микита Андрійович – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», магістр; тел.: (057) 707-61-03; e-mail: odarchenko.na21@gmail.com.

Одарченко Никита Андреевич – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», магистр; тел.: (057) 707-61-03; e-mail: odarchenko.na21@gmail.com.

Odarchenko Mykyta Andriyovych – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", master; тел.: (057) 707-61-03; e-mail: odarchenko.na21@gmail.com.

УДК 004: 519.876

В. В. БЕЗКОРОВАЙНИЙ, А. С. МОСКАЛЕНКО

МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ ТОПОЛОГІЧНИХ СТРУКТУР У ПРОЕКТАХ РЕІНЖИНІРИНГУ ВЕЛИКОМАСШТАБНИХ ОБ'ЄКТІВ

Знайшла подальшого розвитку математична модель задачі реінжинірингу топологічних структур централізованих великомасштабних об'єктів за показником витрат у частині врахування їх багаторівневості. Цільову функцію моделі деталізовано до рівня явної залежності від параметрів топологічної структури об'єкта. На основі аналізу особливостей цільової функції запропоновано модифікації методу спрямованого перебору варіантів, які дозволяють отримувати розв'язки задачі для систем з великою кількістю структурних елементів.

Ключові слова: великомасштабний об'єкт, системне проектування, реінжиніринг, модель, структура, топологія, оптимізація.

Нашла дальнейшее развитие математическая модель задачи реинжиниринга топологических структур централизованных крупномасштабных объектов по показателю затрат в части учета их многоуровневости. Целевая функция модели детализирована до явной зависимости от параметров топологической структуры объекта. На основе анализа особенностей целевой функции предложены модификации метода направленного перебора вариантов, которые позволяют получать решения задачи для систем с большим количеством структурных элементов.

Ключевые слова: крупномасштабный объект, системное проектирование, реинжиниринг, модель, структура, топология, оптимизация.

She found further development of the mathematical model of the task of reengineering topological structures of large centralized facilities in terms of costs in consideration of multires. The objective function models detailed to the level of explicit parameters depending on the topological structure of the object, which takes into account the cost of upgrading and dismantling of its components. Based on analysis of the characteristics of the objective function proposed modification of directional sorting options using different procedures for determining placement units. As the base used combinatorial procedure that implements exhaustive search all possible variants of the units. To reduce the time complexity of solving the problem of reengineering Topological centralized large scale multi objects in terms of cost, based on the procedures for placing units coordinate-wise optimization methods, simulated annealing and search the prohibitions. They allow for decoupling problem for systems with a large number of structural elements.

Keywords: large-scale object, system design, re-engineering, model, structure, topology optimization.

Вступ. У процесах проектування великомасштабних об'єктів (ВМО), при їх реорганізації або плануванні розвитку неминує виникають задачі оптимізації їх структур. При цьому здійснюється синтез нової або оптимізація існуючої організаційної, топологічної, функціональної структур. Важливість подібних задач зростає для територіально розподілених, великомасштабних об'єктів. Врахування топології дозволяє суттєво покращувати вартісні та функціональні характеристики подібних об'єктів, проте вимагає разом з традиційними задачами структурного синтезу розв'язувати задачі їх топологічної оптимізації [1–5].

Важливість проблеми вибору обґрунтованих рішень на всіх етапах життєвих циклів ВМО, необхідні при цьому значні матеріальні, часові та фінансові витрати роблять актуальними задачі вдосконалення методології формування та вибору ефективних рішень в проектах їх оптимізації з урахуванням множин різнорідних чинників і умов, що з часом змінюються.

Аналіз сучасного стану проблеми реінжинірингу великомасштабних об'єктів. Традиційно проблема синтезу систем складається із сукупності неповністю визначених задач проектування, для яких не сконструйовані схеми та не синтезовані моделі проектування [6].

Сучасна методологія структурного синтезу ВМО базується на ідеях агрегативно-декомпозиційного та блочно-ієрархічного підходів, які передбачають розбиття опису об'єкта за ступенем деталізації на ієрархічні рівні й аспекти, а процесу проектування – на групи проектних процедур, пов'язаних з отриманням і

перетворенням описів (рішень) із подальшим їх об'єднанням для отримання на відповідному рівні рішень щодо системи у цілому [7].

Проблему реінжинірингу можна подати як метазадачу, що складається із множини задач, які відносяться до різних ієрархічних рівнів декомпозиції з їх взаємозв'язками за вхідними, вихідними даними та результатами розв'язання.

Базовими задачами системного реінжинірингу ВМО є задачі [8–9]: вибору принципів побудови системи, оптимізації структури та топології елементів і зв'язків, вибору технології функціонування, визначення параметрів елементів і зв'язків, оцінки ефективності варіантів і вибору найбільш ефективного серед них.

З урахуванням характерних особливостей задач системного проектування ВМО, існуючих вимог до процедур їх розв'язання, визначеної раціональної послідовності розв'язання задач, а також аксіом системного проектування [5–6] формування розв'язків задачі реінжинірингу здійснюється за ітераційними схемами. Це дозволяє у процесі проектування ВМО, виходячи з часових та технічних обмежень, отримувати поступове покращення розв'язку загальної задачі *MetaTask*.

Унаслідок невирішеності задач за даними у послідовності $Task_i^2$, $i = \overline{2, 5}$ формування вхідних даних та обмежень для них на початковій ітерації здійснюється на основі експертних даних. На наступних ітераціях як вхідні дані та обмеження будуть використовуватися розв'язки попередніх задач ітераційної схеми.

Розв'язання задачі реінжинірингу ВМО за ітера-

ційною схемою передбачає розв'язання множини комбінаторних задач структурної, топологічної, параметричної та технологічної оптимізації. Виходячи із того, що потужності множин допустимих технологій функціонування, параметрів елементів і зв'язків ВМО незначні, основну складність становлять задачі оптимізації їх структур і топологій.

Для їх розв'язання використовуються точні комбінаторні та наближені методи [1, 5, 10]. Найбільш ефективними серед точних методів вважаються методи обмеженого або спрямованого перебору. Точні методи дозволяють гарантовано знаходити оптимальні розв'язки, однак, з огляду на NP-складність задачі, вони застосовуються тільки для оптимізації найпростіших систем з невеликою кількістю елементів.

Серед наближених методів найбільшого поширення набули методи покоординатної оптимізації (COM – coordinatewise optimization method), імітації відпалу (SA – Simulated annealing), пошуку із заборонами (TS – Tabu Search), еволюційного синтезу на основі генетичних алгоритмів (GA – Genetic algorithm) кластеризації на основі k-means [10].

При цьому найбільших успіхів досягнуто при розв'язанні задач структурно-топологічної оптимізації централізованих тривірневих ВМО, які побудовані на однотипних компонентах та зв'язках.

На практиці існує необхідність оптимізації топологічних структур у процесі реінжинірингу ВМО, що мають різні види структур, за різними показниками, із використанням різних цільових функцій, в умовах різної розмірності та ступеня визначеності вхідних даних, часових і ресурсних обмежень. Це потребує розробки множини методів, які б суттєво розрізнялись за показниками точності та складності, мали меншу часову складність, ніж комбінаторні методи та більшу точність, ніж наближені методи.

Метою роботи є модифікація методу спрямованого перебору для зниження часової складності розв'язання задачі реінжинірингу топологічних структур централізованих багаторівневих ВМО за показником витрат.

Постановка та математична модель задачі. Великомасштабна система складається з центру, множини проміжних вузлів та елементів, кожен із яких зв'язаний з центром через один із вузлів. Вузли системи створюються на базі її елементів.

Задача реінжинірингу топологічної структури великомасштабної системи розглядається у такій постановці. Задані: множина елементів системи $I = \{i\}$, $i = \overline{1, n}$; існуючий варіант топологічної структури $s' \in S$, що заданий місцями розташування елементів, вузлів, центру (S – множина допустимих варіантів топологічних структур), а також зв'язками між елементами, вузлами та центром $[s'_{ij}]$, $i, j = \overline{1, n}$ ($s'_{ij} = 1$, якщо між елементами (вузлами) i та j існує безпосередній зв'язок та $s'_{ij} = 0$ – у протилежному випадку); витрати на створення або модернізацію вузлів c_i , $i = \overline{1, n}$ і зв'язків c_{ij} , $i, j = \overline{1, n}$.

Необхідно визначити найкращий за показником витрат варіант реінжинірингу топологічної структури системи $s' \in S$. Де без втрати загальності будемо вважати, що центр (центральный вузол) розміщується на базі елемента $i = 1$ ($s'_{i1} = 1$). З урахуванням цього:

$$S = \{s\} = \begin{cases} [s_{ij}], s_{ij} \in \{0,1\}, i, j = \overline{1, n}, s_{11} = 1; \\ \sum_{i=1}^n s_{ij} \geq 1 \forall j = \overline{1, n}; \\ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n s_{ij} = 2(n-1) + 1; \\ \forall i = \overline{1, n} : s_{ii} = 1 \vee \exists j : s_{ij} = 1 \wedge s_{jj} = 1; \\ s_{ij} = 1 \rightarrow ij = \arg \min_{\substack{1 \leq j \leq n \\ i \neq j}} c_{ij}, i, j = \overline{1, n}, \end{cases} \quad (1)$$

де $[s_{ij}]$, $i, j = \overline{1, n}$ – матриця зв'язків ($s_{ij} = 1$, якщо між елементами (вузлами) i та j існує безпосередній зв'язок та $s_{ij} = 0$ – інакше; $s_{ii} = 1$, якщо на базі елемента i розміщується вузол системи).

Витрати на s -й варіант реінжинірингу топологічної структури s' складаються із витрат на центр $C_C(s)$, вузли $C_U(s)$, елементи $C_E(s)$, зв'язки між вузлами $C_{UU}(s)$, вузлами та центром $C_{UC}(s)$, елементами та вузлами $C_{EU}(s)$:

$$C(s', s) = C_C(s) + C_U(s) + C_E(s) + C_{UU}(s) + C_{UC}(s) + C_{EU}(s). \quad (2)$$

Витратний критерій задачі реінжинірингу, побудований на основі (2), який враховує топологічну реалізацію структури, можна подати у вигляді:

$$C(s', s) = \sum_{i=1}^n [c_i(1-s'_{ii})s_{ii} + d_{ij}s'_{ii}s_{ii} + e_i(1-s_{ii})s'_{ii}] + \sum_{i,j=1}^n [c_{ij}(1-s'_{ij})s_{ij} + d_{ij}s'_{ij}s_{ij} + e_{ij}(1-s_{ij})s'_{ij}] - \sum_{i,j=1}^n [g_{ij}(1-s_{ij})s'_{ij}] \rightarrow \min_{s \in S}, \quad (3)$$

де c_i , $i = \overline{1, n}$ – витрати на створення або модернізацію i -го компонента системи;

s'_{ij} , s_{ij} , $i, j = \overline{1, n}$ – елементи матриць суміжності (зв'язків) між компонентами i та j в існуючій структурі та структурі після реінжинірингу;

c_{ij} , $i, j = \overline{1, n}$ – витрати на створення або модернізацію зв'язку між i -м та j -м компонентами системи;

d_i , e_i , g_i , $i = \overline{1, n}$ – витрати на модернізацію, демонтаж та вартість ресурсів, які можуть бути реалізовані після демонтажу обладнання i -го вузла;

d_{ij} , e_{ij} , g_{ij} , $i, j = \overline{1, n}$ – витрати на модернізацію, демонтаж та вартість ресурсів, які можуть бути реалізовані після демонтажу зв'язку між i -м та j -м компонентами системи.

Методи розв'язання задачі. Аналіз залежності витрат на реінжиніринг $C(s', s)$ (3) від кількості вузлів у системі u дозволив встановити, що вона має мінімум на відрізьку $1 \leq u \leq n$. З урахуванням цього для розв'язання задачі за критерієм мінімуму витрат пропонується базовий метод. Він базується на комплексному використанні ідей спрямованого перебору, оптимізації розміщення вузлів та побудови найкоротших остовних дерев. Суть методу полягає у такому. Визначити початкове значення допустимої кількості вузлів u_{\min} , необхідних для обслуговування всієї множини елементів (наприклад, $u_{\min} = 1$).

Для заданої кількості вузлів $u = u_{\min}$ за показником мінімуму витрат вирішити задачу найкращого розміщення вузлів і розподілу множини елементів між вузлами. Шляхом побудови найменшого основного дерева на множині вузлів визначити схему взаємозв'язків вузлів і витрати на реалізацію отриманого варіанту $C(s', s)$ (3).

Змінюючи кількість вузлів у системі $u := u + 1$ розв'язувати задачу розміщення вузлів, розподілу множини елементів між вузлами, схему взаємозв'язків вузлів до отримання найкращого у заданих умовах розв'язку.

З урахуванням можливої багатоекстремальності функції витрат (3) від кількості вузлів у мережі $C(s', s, u)$ для пошуку глобального оптимального розв'язку задачі пропонується використовувати ідею методу, запропонованого в [10].

Суть її полягає у визначенні відрізьку $[u_{\min}, u_{\max}]$, який гарантовано містить оптимальне рішення. Як нижню межу кількості вузлів у мережі оберемо $u_{\min} = 1$. Для визначення верхньої межі u_{\max} необхідно визначити значення мінімуму максимальних витрат на реінжиніринг $C_{\max}(u)$. Воно є розв'язком задачі синтезу оптимальної топологічної структури без урахування компонентів і зв'язків існуючої системи.

Пошук розв'язку задачі здійснюється на відрізьку $[1, u_{\max}]$, змінюючи кількість вузлів у системі за правилом $u := u + 1$. Таким чином, необхідно знайти розв'язки двох задач: пошуку мінімуму максимальних витрат і пошуку мінімуму функції витрат на реінжиніринг.

Обидві задачі мають часову складність порівняну зі складністю традиційної задачі проектування КМО – його структурно-топологічного синтезу.

У прийнятих позначеннях загальна кількість можливих варіантів розміщення вузлів у задачі реінжинірингу топологічної структури системи для $1 \leq u \leq n$ складає:

$$N_u(n) = \sum_{u=1}^n C_n^u = \sum_{u=1}^n \frac{n!}{u!(n-u)!} \approx 2^n. \quad (4)$$

При цьому для кожного із варіантів розміщення вузлів необхідно розв'язати задачу побудови оптимального остовного дерева. Часова складність точного

алгоритму Прима для побудови таких дерев без обмежень складає $O[n^2]$.

На сучасному етапі розвитку обчислювальної техніки занадто висока часова складність комбінаторних методів (4) не дозволяє використовувати їх для розв'язання задач реінжинірингу ВМО з кількістю елементів n більше ніж 60–80. Як вихід пропонується модифікації методу спрямованого перебору варіантів з евристичними процедурами розміщення вузлів [10].

Виходячи з цього, запропоновано ряд модифікацій методу спрямованого перебору із використанням різних процедур визначення місць розміщення вузлів. Як базова використана комбінаторна процедура, як альтернативні використані процедури на основі методів покоординатної оптимізації, імітації відпалу та пошуку із заборонами.

Алгоритм методу покоординатної оптимізації [10]. Суть полягає у поліпшенні початкового розміщення вузлів шляхом почергової оптимізації для кожного вузла при фіксованих розміщеннях $(u-1)$ вузла. Повторюється до досягнення локального екстремуму цільової функції.

Алгоритм.

1. Задати вхідні дані: множину місць можливого розміщення вузлів; кількість вузлів u ; індекс поточного вузла – $j := 1$; значення поточної ітерації – $i := 1$; значення лічильника проходу по всіх точках l ; початковий варіант розміщення вузлів w^0 ; краще поточне значення критерію $C(w_i^l) = \infty$.

2. Сформувати початкове розміщення вузлів w_i^l , розрахувати значення критерію $C(w_i^l)$.

3. Збільшити значення лічильника кількості ітерацій $i := i + 1$; для вузла j в w_i^l змінити місце його розміщення при фіксованих значеннях для $(u-1)$ вузлів.

4. Розрахувати значення критерію. Якщо $C(w_i^l) \leq C(w_{i-1}^l)$, то $C(w^l) \leq C(w_i^l)$, $w^0 := w_i^l$ і перейти до кроку 5.

5. Збільшити значення $j := j + 1$. Якщо $j < u$ перейти до кроку 3, в іншому випадку – до кроку 6.

6. Якщо $l = 0$, то $w_i^{l+1} := w_i^l$, $l := l + 1$, $j := 1$ і перейти до кроку 3, в іншому випадку – до кроку 7.

7. Якщо $C(w^l) \leq C(w_i^{l-1})$, то $w_i^{l+1} = w_i^l$, $l := l + 1$, $j := 1$ і перейти до кроку 3, інакше – до кроку 8.

8. Закінчення алгоритму: отримано розв'язок w^0 , який має найменше з розглянутих значення витрат $C(w^0)$.

Алгоритм методу імітації відпалу [10]. Метод імітує фізичний процес кристалізації речовини. Основна ідея полягає у тому, щоб для виходу з локальних мінімумів дозволити рух алгоритму у напрямку погіршення розв'язку. Імовірність виконати такий крок зменшується по ходу пошуку. У процесі розв'язання задачі здійснюється розрахунок значення

зміни енергії процесу ΔE , ймовірності переходу до отриманого значення $p(\Delta E)$, функції зниження температури T :

$$\Delta E = C(w_i) - C(w_{i-1}), \quad (5)$$

де w_i, w_{i-1} – множини місць розміщення вузлів, визначених на i -й та $(i-1)$ -й ітераціях.

Ймовірність переходу до отриманого варіанту визначається за співвідношенням:

$$p(\Delta E) = e^{-\Delta E/t_i}, \quad (6)$$

де t_i – «температура» процесу на i -й ітерації.

У найпростішому випадку використовується лінійна функція зниження температури:

$$T(i) = \frac{t_1}{i}, \quad (7)$$

де t_1 – початкова температура процесу;

i – номер ітерації.

Алгоритм.

1. Завдання вхідних даних: множини місць можливого розміщення вузлів; мінімальної t_{\min} , максимальної t_{\max} та початкової $t_1 = t_{\max}$ температур відпалу; значення поточної ітерації $i := 0$; кількості вузлів $u := u_{\max}$; кількості обраних вузлів $k := u_{\max}$.

2. Формування початкового рішення: множини місць розміщення вузлів $w_o, w^o := w_o$; матриці зв'язків елементів, вузлів і центру $s = [s_{ij}]$, $i, j = \overline{1, n}$.

3. Перевірка умови закінчення: якщо $t_1 \leq t_{\max}$ перейти до кроку 9, інакше – до кроку 4.

4. Зміна значення $i := i + 1$ і генерація $w_i(k)$.

5. Визначення зміни енергії ΔE (5).

6. Якщо $\Delta E \leq 0$, тоді краще рішення $w^o := w_i$ та перейти до кроку 3, інакше – до кроку 7.

7. Розрахувати ймовірність $p(\Delta E)$ (6) та перейти із визначеною можливістю до отриманого варіанту.

8. Знизити температуру процесу $t_{i+1} := T(i)$, зменшити значення k та перейти до кроку 3.

9. Закінчення роботи алгоритму: отримано розв'язок w^o із мінімальним значенням витрат $C(w^o)$.

Алгоритм методу Tabu Search [10]. В основу методу Tabu Search покладена процедура аналізу матриці найближчих сусідів. Для виходу із локального оптимуму використовується список заборон, до якого входить передісторія пошуку. У процесі реалізації методу необхідне розв'язання додаткової задачі формування списку «найближчих сусідів».

Алгоритм.

1. Завдання вхідних даних: множини місць можливого розміщення вузлів; списку заборон $T := \emptyset$; околиці пошуку «найближчих сусідів»; кількості ітерацій $i := 0$; краще поточне значення критерію $\Delta C(w_i^1) = \infty$.

2. Сформувати список «найближчих сусідів».

3. Сформувати рішення $w^o := w_o$.

4. Якщо виконується умова зупинки, перейти до кроку 8, інакше – до кроку 5.

5. Сформувати рішення w_i на підставі матриці «найближчих сусідів» і списку заборон T .

6. Якщо $C(w_i) < C(w_{i-1}^1)$ то $w^o := w_i$, додати елементи множини T до списку заборон.

7. Змінити значення $i := i + 1$ та перейти до кроку 4.

8. Закінчення роботи алгоритму: отримано рішення w_o із мінімальним значенням показника витрат $C(w_o)$.

Для прогнозування часу розв'язання задач розміщення вузлів із використанням запропонованих модифікацій методу спрямованого перебору $t(n)$ експериментальні дані апроксимовані поліномами із достовірністю R :

$$- \text{COM: } t(n) = 1.54n^2 - 4.05n; R = 0.99;$$

$$- \text{SA: } t(n) = 0.09n^2 - 0.22n; R = 0.99;$$

$$- \text{TS: } t(n) = 0.51n^2 - 1.68n; R = 0.99.$$

При цьому відносні похибки методів розв'язання задачі розміщення вузлів мають практично лінійну залежність від кількості вузлів у системі.

Висновки. На основі аналізу проблеми оптимізації великомасштабних об'єктів сформульована постановка задачі реінжинірингу їх топологічних структур. Для багаторівневих централізованих об'єктів знайшла подальшого розвитку математична модель задачі реінжинірингу за показником мінімуму витрат, цільова функція якої подана у вигляді явної залежності від параметрів топологічної структури об'єкта та дозволяє враховувати витрати на модернізацію, демонтаж і реалізацію його компонентів.

Для розв'язання задачі запропоновано модифікації методу спрямованого перебору варіантів, які дозволяють отримувати її розв'язки для систем з великою кількістю елементів.

Запропоновані математична модель та модифікації методу спрямованого перебору можуть бути використані для розв'язання задач проектування та оптимізації інформаційних, логістичних, транспортних систем і систем обслуговування.

Список літератури

1. Макаров В. Л. Управление развитием крупномасштабных систем (Современные проблемы. Выпуск 2) / В. Л. Макаров, С. Н. Васильев, А. А. Макаров, Н. А. Махутов и др.; под ред. А. Д. Цвиркуна. – М. : Изд-во физ.-мат. литературы, 2015. – 477 с.
2. Ткаченко В. І. Інформаційні системи та мережі військ. Ч. 1 / В. І. Ткаченко, Є. Б. Смірнов, І. О. Романенко та ін.; за ред. І. В. Рубана. – Х. : ХУПС, 2013. – 328 с.
3. Чеботарева Д. В. Многокритериальная оптимизация проектных решений при планировании сотовых сетей мобильной связи / Д. В. Чеботарева, В. М. Безрук. – Харьков : Компания СМІТ, 2013. – 148 с.
4. Андришкевич С. К. Построение информационной модели крупномасштабных объектов технологического управления с применением аспектно-ориентированного подхода /

- С. К. Андрюшкевич // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. – 2010. – Т. 8. – Вып. 3. – С. 34–45.
- Петров Э. Г. Территориально распределенные системы обслуживания / Э. Г. Петров, В. П. Пискалкова, В. В. Бескоровайный. – К. : Техника, 1992. – 208 с.
 - Тимченко А. А. Основы системного проектирования та аналізу складних об'єктів / А. А. Тимченко; за ред. В. І. Бикова. – К. : Либідь, 2000. – 272 с.
 - Норенков И. П. Основы автоматизированного проектирования / И. П. Норенков. – М. : Изд-во МГТУ им. Баумана, 2002. – 336 с.
 - Бескоровайный В. В. Системологический анализ проблемы структурного синтеза территориально распределенных систем / В. В. Бескоровайный // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – 2002. – Вып. 120. – С. 29–37.
 - Бескоровайный В. В. Разработка системологической модели проблемы структурно-топологического реинжиниринга систем крупномасштабного мониторинга / В. В. Бескоровайный, К. Е. Подоляка // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – № 3 (75). – С. 37–42.
 - Бескоровайный В. В. Модификации метода направленного перебора для реинжиниринга топологических структур систем крупномасштабного мониторинга / В. В. Бескоровайный, К. Е. Подоляка // Радиоэлектроника и информатика. – 2015. – № 3 (70). – С. 55–62.
- References (transliterated)**
- Makarov V. L., Mahutov N. A., Vasilev S. N., Makarov A. A. *Upravlenie razvitiem krupno-masshtabnykh sistem (Sovremennyye problemy. Vyipusk 2)* [Managing the development of large-scale systems (Modern Problems. Issue 2)]. Moscow, physico-mathematical publ., 2015, 477 p.
 - Tkachenko V. I., Smirnov E. B., Romanenko I. O. *Informatsiyni sistemi ta merezhi viysk. Ch. I* [Information systems and networks troops. Part 1]. Kharkov, HUPS Publ., 2013, 328 p.
 - Chebotaeva D. V., Bezruk V. M. *Mnogokriterialnaya optimizatsiya proektnykh resheniy pri planirovaniy sotovykh setey mobilnoy svyazi* [Multi-criteria optimization of the design decisions in the planning of cellular mobile networks]. Harkov, Komp. SMIT Publ., 2013, 148 p.
 - Andryushkevich S. K. *Postroenie informatsionnoy modeli krupnomasshtabnykh ob'ektov tehnologicheskogo upravleniya s primeneniem aspektno-orientirovannogo podhoda* [Building information model of technological management of large-scale objects c using aspect-oriented]. Vestnik NGU. Seriya: Informatsionnyye tehnologii, 2010, vol. 8, issue 3, pp. 34–45.
 - Petrov E. G. Piskalkova V. P., Beskorovaynyy V. V. *Territorialno raspredelennyye sistemyi obsluzhivaniya* [Geographically distributed service system]. Kiyv, Tehnika Publ., 1992, 208 p.
 - Timchenko A. A. *Osnovi sistemnogo proektuvannya ta analizu skladnih ob'ektiv* [Fundamentals of System Design and Analysis of Complex Objects]. Kiyv, Libid Publ., 2000, 272 p.
 - Norenkov I. P. *Osnovy avtomatizirovannogo proektirovaniya* [Fundamentals of computer-aided design]. Moscow, MG TU im. Bauman Publ., 2002, 336 p.
 - Beskorovaynyy V. V. Sistemologicheskyy analiz problemy strukturnogo sinteza territorialno raspredelennykh sistem [Systemological analysis of the problem of structural synthesis of geographically distributed systems]. *Avtomatizirovannyye sistemyi upravleniya i priboryi avtomatiki* [Automated control systems and automation equipment]. 2002, vol. 120, pp 29–37.
 - Beskorovaynyy V. V., Podolyaka K. E. *Razrabotka sistemologicheskoy modeli problemyi strukturno-topologicheskogo reinzhiniringa sistem krupnomasshtabnogo monitoringa* [Development systemological model problems of structural and topological re-engineering of large-scale monitoring systems]. *Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovyykh tehnologiy* [Eastern European Journal of advanced technology], 2015, issue 3 (75), pp. 37–42.
 - Beskorovaynyy V. V., Podolyaka K. E. *Modifikatsii metoda napravlennoogo perebora dlya reinzhiniringa topologicheskikh struktur sistem krupnomasshtabnogo monitoringa* [Method of directed enumeration modifications for reengineering topological structures of large-scale monitoring systems]. *Radioelektronika i informatika*, 2015, issue 3 (70), pp. 55–62.

Надійшла (received) 16.02.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Методи оптимізації топологічних структур у проектах реінжинірингу великомасштабних об'єктів / В. В. Бескоровайний, А. С. Москаленко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 28 (1250). – С. 23–27. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-0023.

Методы оптимизации топологических структур в проектах реинжиниринга крупномасштабных объектов / В. В. Бескоровайный, А. С. Москаленко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 28 (1250). – С. 23–27. – Библиогр.: 10 назв. – ISSN 2079-0023.

Topological optimization method in large-scale objects projects reengineering / V V. Beskorovainyi, A. S. Moskalenko // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No. 28 (1250). – P. 23–27. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-0023.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Бескоровайний Володимир Валентинович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри системотехніки Харківського національного університету радіоелектроніки, м. Харків; e-mail: vladimir.beskorovainyi@nure.ua

Бескоровайный Владимир Валентинович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры системотехники Харьковского национального университета радиоэлектроники, г. Харьков; e-mail: vladimir.beskorovainyi@nure.ua

Beskorovainyi Volodymyr V. – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Professor of the Department of systems engineering Kharkiv National University of Radioelectronics, Kharkiv; e mail: vladimir.beskorovainyi@nure.ua

Москаленко Анастасія Сергіївна – аспірантка Харківського національного університету радіоелектроніки, м. Харків; e-mail: exxy1111@gmail.com

Москаленко Анастасия Сергеевна – аспирантка Харьковского национального университета радиоэлектроники, г. Харьков; e-mail: exxy1111@gmail.com

Moskalenko Anastasia S. – graduate student Kharkiv National University of Radioelectronics, Kharkiv; e mail: exxy1111@gmail.com

В. В. МОСКАЛЕНКО, А. Г. КОРОБОВ, Ю. В. ЗАВГОРОДНЯ**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КЛАСИФІКАЦІЙНОГО АНАЛІЗУ ЗОБРАЖЕНЬ ПЕРФУЗІЇ МІОКАРДУ**

Пропонується метод синтезу системи класифікаційного аналізу результатів обстеження міокарду за даними однофотонної емісійної комп'ютерної томографії. Розглядається процес формування вхідного математичного опису діагностичної системи та ієрархічної структури вирішальних правил. Для зниження розмірності діагностичних даних у вигляді полярних карт розподілу радіофармацевтичного препарату в стані спокою та навантаження запропоновано використання комплексних компонент перетворення Фур'є. Розроблено метод оптимізації системи контрольних допусків на діагностичні ознаки шляхом популяційного алгоритму пошуку системою заряджених частинок. Розроблені алгоритми розпізнавання патологічних станів ґрунтуються на адаптивному двійковому кодуванні діагностичних ознак та оптимізації в радіальному базисі двійкового простору Хеммінга геометричних параметрів вирішальних правил в процесі ітераційної процедури пошуку глобального максимуму інформаційного критерію ефективності в допустимій області визначення його функції. Аналізуються результати фізичного моделювання на предмет завадозахищеності та точності за навчальною і тестовою матрицями.

Ключові слова: однофотонна-емісійна комп'ютерна томографія, оптимізація, інформаційний критерій, радіонуклідна діагностика.

Предлагается метод синтеза системы классификационного анализа результатов обследования миокарда по данным однофотонной эмиссионной компьютерной томографии. Рассматривается процесс формирования входного математического описания диагностической системы и иерархической структуры решающих правил. Для снижения размерности диагностических данных в виде полярных карт распределения радиофармацевтичного препарата в состоянии покоя и нагрузки предложено использование комплексных компонент преобразования Фурье. Разработано метод оптимизации системы контрольных допусков на диагностические признаки путем популяционного поиска алгоритмом заряженных частиц. Разработанные алгоритмы распознавания патологических состояний базируются на адаптивном двоичном кодировании диагностических признаков и оптимизации в радиальном базисе двоичного пространства Хемминга геометрических параметров решающих правил в процессе итерационной процедуры поиска глобального максимума информационного критерия эффективности в допустимой области определения его функции. Анализируются результаты физического моделирования на предмет помехоустойчивости и точности по обучающей и тестовой матрицами)

Ключевые слова: однофотонно-эмиссионная компьютерная томография, оптимизация, информационный критерий, радионуклидная диагностика.

The method of synthesis of system of the classification analysis of results of inspection of a myocardium according to Single-photon emission computed tomography. It is dealt with process of formation of the entrance mathematical description of diagnostic system and hierarchical structure of decisive rules. For decrease in dimension of diagnostic data in the form of polar cards of distribution of radiopharmaceutical is able to rest and loadings it is offered uses integrated component of the Fourier transform. Developed method for system optimization of control tolerances on the diagnostic features of population by Charged System Search. Developed pathological conditions recognition algorithms based on adaptive binary coding of diagnostic features and optimization in a radial basis binary Hamming space the geometric parameters of decision rules in the course of an iterative search procedure global maximum information efficiency criterion in the allowable region to determine its function. The results of physical modeling for noise immunity and accuracy of training and test matrices

Keywords: Single-photon emission computed tomography, optimization information Criterion, radionuclide diagnostics.

Вступ. Удосконалення гамма-камер призвели до створення нового типу приладів для радіонуклідної діагностики – однофотонних емісійних комп'ютерних томографів [1]. Дослідження, проведені на приладах зазначених типів, отримали назву однофотонної емісійної комп'ютерної томографії (ОФЕКТ). ОФЕКТ-зображення отримують шляхом запису серії площинних сцинтиграм, кожна з яких несе незначну інформацію, але в сукупності вони дозволяють за допомогою комп'ютера реконструювати томографічні зрізи. Перевага даного методу в порівнянні зі звичайними сцинтиграфічними дослідженнями полягає в тому, що реконструйоване зображення вільне від накладень на досліджуваний орган сусідніх об'єктів, що надзвичайно важливо для діагностики. Однак, як це було показано у працях [1, 2] якість ОФЕКТ-зображень залежить від цілого ряду параметрів обладнання та алгоритмів реконструкції і шумопридушення, а результати інтерпретації одних і тих же сцинтиграфій міокарда можуть варіюватися залежно від досвіду експертів. У праці [2] відмічено, що загальна точність діагностичних висновків, зроблених лікарями-діагностами на основі візуального огляду реконструйованих даних у форматі полярних карт, не перевищує 64 %, при цьому специфічність

класифікації становить біля 71 %, а чутливість – 56 %.

Оскільки достовірність радіонуклідного діагностування міокарду суттєво залежить від рівня професійної підготовки лікаря-діагноста та його практичного досвіду [3, 4], то застосування інтелектуальних інформаційних технологій підтримки прийняття рішень є одним із перспективних напрямків підвищення ефективності діагностування.

Використання ідей та методів машинного навчання дозволяє за накопиченими даними інтерпретації результатів радіонуклідного дослідження міокарду акумулювати професійний досвід кращих експертів та автоматизувати процес прийняття діагностичних рішень.

Оригінальна матриця зображення полярної карти перфузії міокарду містить 1088 пікселів, що ускладнює попіксельний процес розпізнавання патологічних функціональних станів [3, 4]. Тому для спрощення інтерпретації полярних карт у працях [4, 5] розглядається по сегментне усереднення яскравості, розклад зображення на компоненти просторових частот за допомогою перетворення Фур'є. Проте багатовимірність спостережень обумовлює перетин класів розпізнавання в просторі ознак, що за умов багатокласової класифікаційної задачі призводить до зниження

достовірності синтезованих вирішальних правил та оперативності машинного навчання.

Одним з перспективних підходів до підвищення ефективності машинного навчання є використання ієрархічних структур даних та принципів інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології (ІЕІ-технологія), в якій адаптивне порогове кодування спостережень дозволяє трансформувати простір ознак за допомогою простих операцій порівняння, та оптимізувати параметри вирішальних правил з використанням обчислювально ефективної дистанційної міри Хеммінга. При цьому згладжуючий ефект логарифмічних інформаційних критеріїв оптимізації параметрів функціонування знижує ймовірність застрягання в локальних екстремумах функції критерію [6, 7].

У статті розглядається задача інформаційного синтезу в рамках ІЕІ-технології здатної навчатися системи підтримки прийняття рішень (СППР) з ієрархічною структурою вирішальних правил для радіонуклідної діагностики міокарду за даними однофотонної емісійної комп'ютерної томографії.

Формалізована постановка задачі. Розглянемо формалізовану постановку задачі інформаційного синтезу здатної навчатися діагностичної системи радіонуклідного обстеження. Дано алфавіт класів розпізнавання $\{X_m^o \mid m = \overline{1, M}\}$, що характеризують M функціональних станів міокарду. Сформовано апріорно класифіковану навчальну матрицю типу «об'єкт-властивість» $\{y_{m,i}^{(j)} \mid m = \overline{1, M}, j = \overline{1, n_m}, i = \overline{1, N}\}$, де N, n_m – кількість ознак розпізнавання та реалізацій образу відповідно.

Відомі H -ярусна деревоподібна бінарна ієрархічна структура класів розпізнавання і структурований вектор параметрів функціонування

$$g_h = \langle x_{h,s,1}, x_{h,s,2}, d_{h,s,1}, d_{h,s,2}, \delta_{h,s,i} \rangle, h = \overline{1, H}, \quad (1)$$

де $x_{h,s,1}, x_{h,s,2}$ – двійкові еталонні (усереднені) вектори-реалізації (далі просто реалізація) класів $X_{h,s,1}^o$ та $X_{h,s,2}^o$, утворені поділом навчальних вибірок класів, що аналізуються на s -страті h -ярусу, на дві групи;

$d_{h,s,1}, d_{h,s,2}$ – радіус гіперсферичного контейнера класу $X_{h,s,1}^o, X_{h,s,2}^o$;

$\delta_{h,s,i}$ – параметр поля контрольних допусків на i -ту ознаку розпізнавання на s -страті h -ярусу.

У процесі навчання класифікатора необхідно визначити оптимальні значення координат вектора параметрів функціонування (1), що забезпечують максимальне значення усередненого інформаційного критерію ефективності навчання

$$\overline{E}^* = \frac{1}{H} \sum_{h=1}^H \max_{\{k\}} \left\{ \overline{E}_h^{\text{train}} \overline{E}_h^{\text{valid}} \right\}, \quad (2)$$

де $\overline{E}_h^{\text{train}}, \overline{E}_h^{\text{valid}}$ – інформаційний критерій ефективності навчання класифікатора розпізнавати реалізації класу X_h^o за тестовою та валідаційною вибірками відповідно;

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

При функціонуванні класифікатора в режимі екзамену, тобто безпосереднього розпізнавання, необхідно прийняти рішення про належність реалізацій, що розпізнаються, одному із класів сформованого на етапі навчання алфавіту $\{X_m^o \mid m = \overline{1, M}\}$.

Алгоритм навчання системи радіонуклідного діагностування. В рамках ІЕІ-технології машинне навчання полягає в трансформації апріорно-нечіткого розбиття простору ознак в чітке розбиття класів розпізнавання, контейнери яких відновлюються в радіальному базисі ознак бінарного простору Хеммінга.

При цьому ітераційна процедура оптимізації системи контрольних допусків на ознаки розпізнавання здійснюється шляхом максимізації в процесі машинного навчання усередненого за алфавітом класів розпізнавання інформаційного критерію (2)

$$\{\delta_i^* \mid i = \overline{1, n}\} = \arg \max \left\{ \max_{G_\delta} \overline{E}(k) \right\}, \quad (3)$$

де $\overline{E}^{(k)}$ – усереднене значення критерію, обчислене на k -му кроці навчання;

G_δ – область допустимих значень параметра поля контрольних допусків на значення ознак розпізнавання;

$\{k\}$ – множина кроків навчання.

Таким чином, оптимізація системи контрольних допусків на ознаки розпізнавання полягає в пошуку екстремуму функції критерію в гіперпросторі рішень.

В задачах багатопараметричної оптимізації важливого значення крім точності обчислень набуває задача підвищення оперативності. Для підвищення оперативності навчання в рамках ІЕІ-технології було обрано алгоритм пошуку системою заряджених частинок (Charged System Search, CSS), який на відміну від інших алгоритмів еволюційного програмування, оснований на імітації механізмів природи, відрізняється простотою реалізації та інтерпретабельністю [8]. Алгоритм заснований на використанні електростатичних законів Кулона та законів механіки Ньютона. Кожного з агентів популяції інтерпретують як заряджену частинку, заряд якої пропорційний значенню фітнес-функції в області пошуку, в якій знаходиться агент в поточній ітерації. Поточний заряд частинки популяції визначає сумарну силу, яка діє на дану частинку зі сторони інших частинок, а також напрямок її величину її переміщення на поточній ітерації. У відповідності до законів електростатики ця сила розраховується шляхом векторного складання сил притягання та

відштовхування зі сторони усіх частинок популяції. Розглянемо основні етапи роботи оптимізаційного алгоритму пошуку системою заряджених частинок:

Відбувається ініціалізація популяції, яка полягає у генерації $|P|$ точок рівномірно розподілених в просторі рішень за правилом

$$\delta_i = \delta^- + U_{|\delta|} (0;1) (\delta^+ - \delta^-), i \in [1:|P|],$$

та розрахунку значень фітнес-функції $\bar{E}(\delta_i) = \bar{E}_i$ для вибору кращого рішення

$$E_i^{-\text{best}} = \max_{i \in [1:|P|]} \bar{E}_i,$$

Виконується локальний пошук для кожного з поточних положень частинок δ_i для збору інформації, щодо їх оточення за допомогою алгоритму лінійного стохастичного пошуку [8].

Розраховуються сумарні сили, які діють на кожну частинку популяції. Характер дії таких сил між частинками $p_i, p_j \in P$ може бути як притягуючий, так і відштовхуючий і визначається константою

$$c_{i,j} = \begin{cases} -1, \bar{E}_i < \bar{E}_j; \\ 1, \bar{E}_i \geq \bar{E}_j. \end{cases}$$

Кожна з заряджених частинок $p_j \in P$ представляє собою сферу, радіус якої дорівнює $a > 0$ (вільний параметр роботи алгоритму).

Враховуючи прийняте значення константи $c_{i,j}$ результуюча сила, яка діє на частинку зі сторони всіх інших частинок популяції має вигляд:

$$F_i = q_i \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{|P|} \left(\frac{q_i r_{i,j} \beta_1}{a^3} + \frac{q_i \beta}{r_{i,j}^2} \right) \times c_{i,j} (\delta_i - \gamma),$$

де значення β_1, β_2 визначаються умовами:

$$\beta_1 = 0, \beta_2 = 1, \text{ якщо } r_{i,j} \geq a,$$

$$\beta_1 = 1, \beta_2 = 0, \text{ якщо } r_{i,j} < a.$$

На поточній ітерації роботи алгоритму заряду частинок $p_i \in P$ ставиться у відповідність величина (4) яка є нормованим значенням фітнес-функції в поточному положенні δ_i цієї частинки:

$$q_i = \left| \frac{E_1 - E}{E_1 - E} \right| i \in [1:|P|], \quad (4)$$

де $\bar{E}^{\text{best}}, \bar{E}^{\text{worst}}$ – краще та гірше значення фітнес функції. При цьому поточна відстань $r_{i,j}$ між частинками p_i, p_j визначається за формулою:

$$r_{i,j} = \frac{\|\delta_i - \delta_j\|_E}{\left\| \frac{\delta_i - \delta_j}{2} - \delta^{\text{best}} \right\|_E + \varepsilon}, i, j \in [1:|P|],$$

де ε – будь-яке мале знакододатне число, яке дозволяє уникнути появи нуля в знаменнику дробу.

Виконується міграція частинок в нові позиції, що визначаються за формулою:

$$\delta'_i = U (0;1) b \frac{F_i}{a} + U_1 (0;1) b_v V_i + \delta_i, i \in [1:|P|],$$

де перша складова модулює прискорення, а друга – швидкість міграції, $b'_a = 3(1 - t/\hat{t})$, $b'_v = 1 - t/\hat{t}$ – вагові коефіцієнти, якими визначаються ваги прискорення та швидкості відповідно, які зазвичай визначаються в балансі між диверсифікацією та інтенсифікацією пошуку t, \hat{t} – поточне значення ітерації роботи алгоритму та максимальна кількість ітерацій),

$$V'_i = \delta'_i - \delta_i, i \in [1:|P|].$$

Відбувається перевірка виконання умови завершення роботи алгоритму, а саме досягнення заданого числа ітерацій роботи алгоритму чи досягнення фітнес функцією свого максимального значення.

Як критерій ефективності навчання системи діагностування розглядалася модифікація інформаційної міри Кульбака [7], робоча формула якої для рівноймовірних двохальтернативних гіпотез має вигляд

$$E_m^{(k)} = \frac{K_{1,m}^{(k)} - K_{2,m}^{(k)}}{n_m \log_2(1 + 2n_m 10^{\omega})} \times \log_2 \left(\frac{10^{-\omega} + n_m + [K_{1,m}^{(k)} - K_{2,m}^{(k)}]}{10^{-\omega} + n_m - [K_{1,m}^{(k)} - K_{2,m}^{(k)}]} \right), \quad (5)$$

де $K_{1,m}^{(k)}$ – кількість подій, що характеризують належність реалізацій класу X_m^o до контейнера класу X_m^o на k -му кроці машинного навчання;

$K_{2,m}^{(k)}$ – кількість подій, що характеризують належність реалізацій класу X_c^o до контейнера класу X_m^o на k -му кроці машинного навчання;

n_m – обсяг навчальної вибірки класу X_m^o ;

$10^{-\omega}$ – будь-яке мале додатне число, яке вводиться для уникнення невизначеності при діленні на нуль.

При цьому $n_m \geq n_{\min}$, де n_{\min} – мінімальний обсяг репрезентативної навчальної вибірки.

Прийняття діагностичних рішень в режимі екзамену здійснюється за максимальним значенням

функції належності до класу X_m^o , яка обчислюється для кожної реалізації, що розпізнається за формулою

$$\mu_m = 1 - \frac{d(x_m^* \oplus x)}{d_m^*}, \quad (6)$$

де $d(x_m^* \oplus x)$ – кодова відстань між еталонним вектором класу X_m^o та вхідною реалізацією x , що розпізнається;

d_m^* – оптимальний радіус гіперсферичного контейнера класу X_m^o .

Таким чином, машинне навчання діагностичної системи в рамках ІЕІ-технології полягає в реалізації ітераційної процедури оптимізації параметрів навчання шляхом знаходження глобального максимуму інформаційного критерію в допустимій області визначення його функції. При цьому вирішальне правило в режимі екзамену реалізується у вигляді функції належності (6), яка містить одержані на етапі навчання оптимальні геометричні параметри контейнерів класів розпізнавання і дозволяє приймати рішення в реальному темпі часу через мінімальну обчислювальну трудомісткість.

Результати фізичного моделювання. Реалізація запропонованого алгоритму навчання системи радіонуклідного діагностування здійснювалася за даними, що накопичені у сховищі медичних зображень кластерного комплексу в Інституті сцинтиляційних матеріалів НАН України (м. Харків) і представлені у форматі DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) [6].

Запропонований алгоритм машинного навчання діагностичної системи був використаний для синтезу класифікатора функціонального стану міокарда за вибіркою сцинтиграм в стані спокою і навантаження (стресу) та категоріальних контекст-них ознак. Алфавіт класів розпізнавання з потужністю $M=4$ характеризує перфузію міокарда: X_1^o – норма; X_2^o – тиха ішемія; X_3^o – гостра ішемія; X_4^o – рубці на серці.

На рис. 1 показано приклади полярних карт перфузії міокарда для різних класів функціонального стану з параметричним кольоровим кодуванням

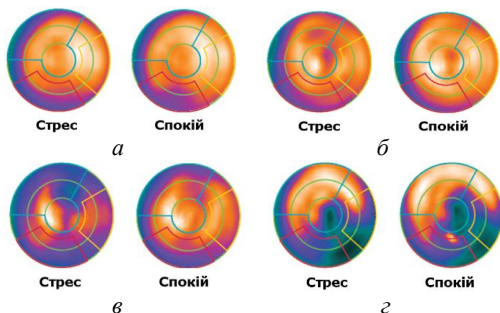


Рис. 1 – Полярні карти перфузії міокарда для різних класів функціонального стану: *a* – норма; *б* – тиха ішемія; *в* – гостра ішемія; *г* – рубці на серці

З метою зменшення потужності словника ознак використовуються 125 комплексних низькочастотних компонент двовимірного швидкого перетворення Фур'є, що відповідає $N_1 = 250$ кількісних ознак. Обсяг вибірки кожного класу становить $n_m = 100$.

Для побудови в процесі машинного навчання ієрархічної структури вирішальних правил (рис. 2) для 4-х класів розпізнавання використано випадкові вибірки з наявного набору даних по 100 векторів-реалізацій для кожного класу.

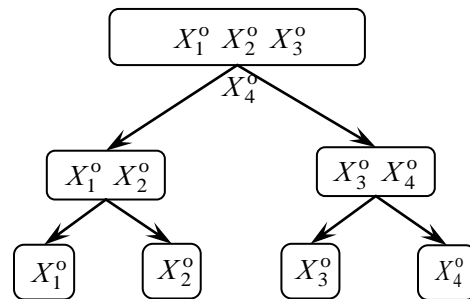


Рис. 2 – Ієрархічна структура вирішальних правил для чотирьох класів розпізнавання

Аналіз рис. 2 показує, що на першому ярусі побудовано два контейнери, перший з яких містить спостереження класів X_1^o та X_2^o , а другий – спостереження класів X_3^o та X_4^o . На другому ярусі ієрархічної структури кожен контейнер містить спостереження тільки одного класу розпізнавання.

Процес послідовної оптимізації радіусів контейнерів класів розпізнавання при оптимальній системі контрольних допусків на значення ознак розпізнавання проілюстровано на рис. 3–5. При цьому сірим кольором виділено допустиму область визначення функції інформаційного критерію, що відповідає одночасному виконанню умов $\alpha_m > 0,5$ і $\beta_m > 0,5$, де α_m , β_m – помилки першого та другого роду відповідно.

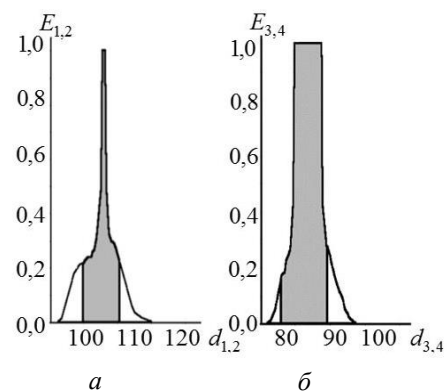


Рис. 3 – Залежність нормованого КФЕ(5) від радіусів контейнерів класів першого ярусу: *a* – класи X_1^o та X_2^o ; *б* – класи X_3^o та X_4^o

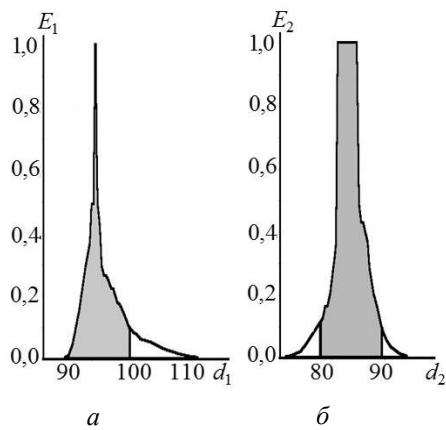


Рис. 4 – Залежність нормованого інформаційного критерію (5) від радіусів контейнерів класів другого ярусу:
 a – клас X_1^o ; b – клас X_2^o

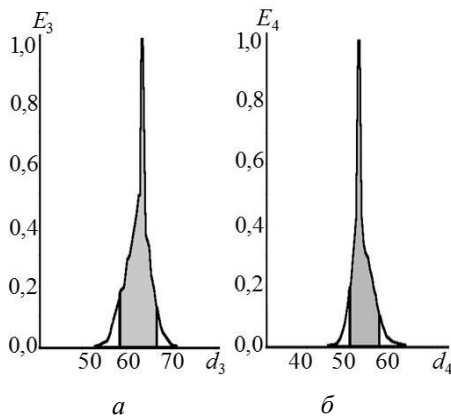


Рис. 5 – Залежність нормованого інформаційного критерію (5) від радіусів контейнерів класів другого ярусу:
 a – клас X_3^o ; b – клас X_4^o

Аналіз рис. 3 показує, що оптимальні значення радіусів гіперсферичних контейнерів першого ярусу відповідно рівні: $d_1 = 106$ та $d_2 = 84$ (тут і далі в кодових одиницях). Аналіз рис. 4 показує, що оптимальні значення радіусів гіперсферичних контейнерів другого ярусу першої страти відповідно рівні: $d_1 = 63$ та $d_2 = 53$. Аналіз рис. 5 показує, що оптимальні значення радіусів гіперсферичних контейнерів другого ярусу другої страти відповідно рівні: $d_1 = 63$ та $d_2 = 53$. При цьому кодова відстань між центрами контейнерів трьох двохкласових класифікаторів ієрархічної структури відповідно рівні 200, 120 та 125 кодових одиниць, що свідчить про відсутність перетину контейнерів класів та високу заводозахисненість отриманих вирішальних правил.

На рис. 6 показано динаміку зміни інформаційного критерію (5) в процесі оптимізації контрольних допусків на значення ознак розпізнавання за алгоритмом пошуку системою заряджених частинок.

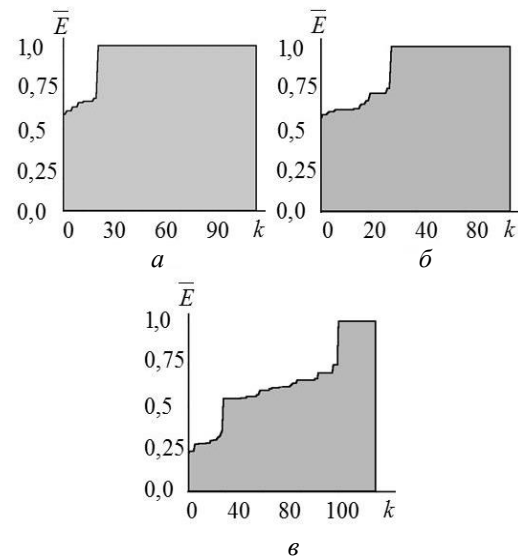


Рис. 6 – Динаміка зміни усередненого значення інформаційного критерію в процесі оптимізації полів контрольних допусків: a – класифікатор першого ярусу; b – класифікатор першого ярусу першої страти; v – класифікатор другого ярусу першої страти

Аналіз рис. 6 показує, що оскільки значення КФЕ дорівнює ($\bar{E} = 1,0$), то в процесі навчання системи вдалося отримати безпомилкові за навчальними та тестовими матрицями вирішальні правила. При цьому на першому ярусі ієрархічної структури було витрачено 19 ітерацій, на другому ярусі 38 та 80 ітерацій відповідно.

Таким чином в процесі інформаційно-екстремального машинного навчання було отримано безпомилкові за навчальною та тестовою матрицями вирішальні правила для автоматичної класифікації результатів радіонуклідного обстеження міокарду.

Висновки. В рамках інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології синтезовано безпомилкові за навчальною та тестовою матрицями обчислювально-ефективні вирішальні правила для системи радіонуклідної діагностики міокарду за результатами обстеження на однофотонному емісійному комп'ютерному томографі, що дозволяє реалізувати підтримку лікарських рішень при формуванні діагностичних висновків. За результатами фізичного моделювання показано, що отримана ієрархічна структура вирішальних правил характеризується високою заводозахисненістю, оскільки контейнери класів не перетинаються, що свідчить про чітку і компакту організацію образів в двійковому субпарацептуальному просторі Хеммінга.

Список літератури

1. Раевский А. С. Применение гамма-камеры "ОФЭКТ-2" при диагностике костных метастазов / А. С. Раевский, А. В. Демин, О. И. Паскевич // Науковий вісник Ужгородського університету. Сер.: Фізика. – 2009. – Вип. 24. – С. 160–165.
2. Тодуров Б. М. Миокардиосцинтиграфия по технологии ОФЭКТ/КТ с ЭКГ-синхронизацией: диагностические возможности в оценке кровоснабжения и функции миокарда левого желудочка сердца / Б. М. Тодуров, В. Ю. Кундин. //

- Променева діагностика, променева терапія. – 2010. – № 2. – С. 61–69.
3. Giussani A. Imaging in nuclear medicine / Augusto Giussani, Christoph Hoeschen – New York, USA: Springer Science & Business Media Inc. – 2013. – 237 p. doi: 10.1007/978-3-642-31415-5.
 4. Sadrumontaz A. Compensation effect of implementation of filters in use of unsuitable collimator in SPECT images. / Alireza Sadrumontaz // International Journal of the Physical Sciences. – 2011. – Vol. 6, no 17. – P. 4154–4160. doi:10.5897/IJPS11.931.
 5. Hawkins W. G. The circular harmonic transform for SPECT reconstruction and boundary conditions on the Fourier transform of the sonogram. / W. G. Hawkins, P. K. Lechner, N. C. Yang // IEEE Trans Med Imaging. – 1988. – Vol 7, no 2. – P.135 – 138.
 6. Dovbysh A. S. Intelligent Decision Support System for Medical Radioisotope Diagnostics with Gamma / A. S. Dovbysh, V. V. Moskalenko, A. S. Rizhova, O. V. Dyomin // Journal of Nano and Electronic Physics. – 2015. – Vol. 7, no 4. – P. 4036-1.
 7. Москаленко В. В. Інформаційно-екстремальний метод ідентифікації типу мережевого трафіка / В. В. Москаленко, А. С. Рижова // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2014. – № 4. – С. 138–144.
 8. Карпенко А. П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновлённые природой / А. П. Карпенко. – М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – 446 с.
 2. Todurov B. M., Kundyn V. Ju. Miokardioscintigrafija po tehnologiji OFJeKT/KT s JeKG-sinhronizacij: diagnosticheskie vozmozhnosti v ocenke krovo-snabzhenija i funkcii miokarda levogo zheludochka serdca. [Myography technology SPECT/CT with ECG synchronization: diagnostic capabilities in the evaluation of blood-supply and function of the left ventricle of the heart] *Promeneva diagnostika, promeneva terapija* [Radiation diagnostics, radiation therapy]. 2010, vol. 2, pp. 61–69.
 3. Giussani A., Hoeschen C. Imaging in nuclear medicine. New York, USA, Springer Science & Business Media Inc. Publ., 2013. 237 p. doi: 10.1007/978-3-642-31415-5.
 4. Sadrumontaz A. Compensation effect of implementation of filters in use of unsuitable collimator in SPECT images. International Journal of the Physical Sciences. 2011, vol. 6, no. 17, pp. 4154–4160. doi: 10.5897/IJPS11.931.
 5. Hawkins W. G., Lechner P. K., Yang N. C. The circular harmonic transform for SPECT reconstruction and boundary conditions on the Fourier transform of the sonogram. IEEE Trans Med Imaging. 1988, vol 7 no. 2, pp.135 – 138.
 6. Dovbysh A. S., Moskalenko V. V., Rizhova A. S., Dyomin O. V. Intelligent Decision Support System for Medical Radioisotope Diagnostics with Gamma. Journal of Nano and Electronic Physics. 2015, vol. 7, no. 4, p. 4036-1.
 7. Moskalenko V. V. A. S. Rizhova. Informacijno-ekstremal'nyj metod identyfikacii' typu mrezevogo trafika [Information extreme method to identify the type of network traffic]. *Radioelektroni i komp'juterni systemy* [Radio electronic and computer systems.] Kharkov, HAI Publ., 2014, no. 4, pp. 138–144
 8. Karpenko A. P. *Sovremennye algoritmy poiskovoj optimizacii. Algoritmy, vdohnovljonnnye prirodoy* [Modern optimization algorithms poyskovoy. Algorithms inspired by nature] Moscow, MGТУ im. N. Je. Baumana Publ., 2014. 446 p
- Надійшла (received) 05.02.2017

References (transliterated)

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Інтелектуальна система класифікаційного аналізу зображень перфузії міокарду / В. В. Москаленко, А. Г. Коробов, Ю. В. Завгородня // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – № 28 (1250). – С. 28–33. – Бібліогр.: 8 назв. – ISSN 2079-0023.

Интеллектуальная система классификационного анализа изображений перфузии миокарда / В. В. Москаленко, А. Г. Коробов, Ю. В. Завгородня // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – № 28 (1250). – С. 28–33. – Библиогр.: 8 назв. – ISSN 2079-0023.

Intelligent system for classification analysis of myocardial perfusion imaging / V. V. Moskalenko, A. G. Korobov, Y. V. Zavgorodnya // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – No. 28 (1250). – P. 28–33. – Bibliogr.: 8. – ISSN 2079-0023.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Москаленко В'ячеслав Васильович – кандидат технічних наук, Сумський державний університет старший викладач кафедри комп'ютерних наук; тел.: (066) 429-13-18; e-mail: systemscoders@gmail.com.

Москаленко Вячеслав Васильевич – кандидат технических наук, Сумской государственной университет, старший преподаватель кафедры компьютерных наук; тел.: (066) 429-13-18; e-mail: systemscoders@gmail.com.

Moskalenko Vyacheslav Vasilyovich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Sumy State University, senior lecturer at the Department of computer science; тел.: (066) 429-13-18; e-mail: systemscoders@gmail.com.

Коробов Артем Геннадійович – Сумський державний університет, аспірант кафедри комп'ютерних наук; тел.: (099) 281-77-79; e-mail: artemkorr@gmail.com.

Коробов Артём Геннадьевич – Сумской государственной университет, аспирант кафедры компьютерных наук; тел.: (099) 281-77-79; e-mail: artemkorr@gmail.com.

Korobov Artem Gennadjovich – Sumy State University, postgraduate student; тел.: (099) 281-77-79; e-mail: artemkorr@gmail.com.

Завгородня Юлія Вікторівна – Сумський державний університет, студент кафедри комп'ютерних наук; тел.: (098) 915-39-30; e-mail: Zavgorodnya_yulia@ukr.net.

Завгородня Юлия Викторовна – Сумской государственной университет, студент кафедры компьютерных наук; тел.: (098) 915-39-30; e-mail: Zavgorodnya_yulia@ukr.net.

Zavhorodnya Yuliya Viktorivna – Sumy State University, student; тел.: (098) 915-39-30; e-mail: Zavgorodnya_yulia@ukr.net.

О. С. КУЦЕНКО, Л. Б. КАЩЕЄВ, М. І. МИРОНЕНКО

ГЕОІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ІДЕНТИФІКАЦІЇ КАДРІВ ПРИ РЕКОНСТРУЮВАННІ МІСЦЕВОСТІ

Запропоновано алгоритм ідентифікації кадрів зображення місцевості, отриманого в процесі аерофотозйомки. Машинне навчання геоінформаційної системи здійснювалося за інформаційно-екстремальним алгоритмом. Як критерій оптимізації параметрів машинного навчання використовувався модифікований ентропійний критерій Шеннона, а як параметри навчання розглядалися контрольні допуски на ознаки розпізнавання та геометричні параметри гіперсферичних контейнерів класів розпізнавання. Крім того, розроблено алгоритм функціонування геоінформаційної системи в режимі ідентифікації кадрів, який дозволяє за сформованими на етапі машинного навчання вирішальними правилами побудувати електронну карту місцевості із позначеними на ній зонами інтересу.

Ключові слова: геоінформаційна система, ідентифікація, машинне навчання, інформаційний критерій, вирішальні правила, зображення, електронна карта місцевості.

Предложен алгоритм идентификации кадров полученного в процессе аерофотосъемки изображения местности. Машинное обучение геоинформационной системы осуществлялось по информационно-экстремальному алгоритму. В качестве критерия оптимизации параметров машинного обучения использовался модифицированный энтропийный критерий Шеннона, а в качестве параметров обучения рассматривались контрольные допуски на признаки распознавания и геометрические параметры гиперсферических контейнеров классов распознавания. Предложенный алгоритм функционирования геоинформационной системы в режиме идентификации кадров позволил по сформированным на этапе машинного обучения решающим правилам построить электронную карту местности с обозначенными на ней зонами интереса.

Ключевые слова: геоинформационная система, идентификация, машинное обучение, информационный критерий, решающее правило, изображение, электронная карта местности.

Obtained in the process of aerial photography, the identification algorithm of the area frames is proposed. The machine learning of geo-informational system was accomplished by information-extreme algorithm. The modified entropy Shannon's criterion was used as a criterion for parameter optimization of machine learning and the control accesses for signs of recognition and geometrical parameters of hyperspherical containers classes of recognition were considered as the parameters of learning. In addition, the algorithm of geo-informational functioning system in frames identification mode, that allows generating the electronic map with areas of interest on it, is developed

Keywords: geo-informational system, identification, machine learning, information criterion, decision rule, image, electronic map of the area.

Вступ. Широке використання бортових геоінформаційних систем (ГІС) літальних апаратів за спостереженням поверхні Землі дозволяє розв'язувати багато важливих задач для соціально-економічної сфери суспільства [1]. Наприклад, такими задачами є спостереження за впливом техногенних факторів на екологічні та кліматичні зміни як всієї планети, так і окремих регіонів, визначення стану агрокультур, пошук транспортних засобів тощо. При цьому важливим етапом розв'язання більшості геоінформаційних задач є сегментація місцевості з метою побудови її електронної карти з позначеними зонами інтересу, в яких очікується знаходження об'єкту дослідження. Як перспективний шлях інформаційного синтезу таких систем є застосування ідей і методів машинного навчання та розпізнавання образів [2, 3]. Проте науково-методологічні питання створення таких систем все ще залишаються недостатньо дослідженими через багатofакторність і довільні початкові умови формування зображень та вплив неконтрольованих факторів на процес створення електронної карти місцевості з позначеними зонами інтересу. Одним із шляхів подолання вказаних вище ускладнень науково-методологічного характеру є застосування ідей і методів інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології (ІЕІ-технології) аналізу даних, яка ґрунтується на максимізації інформаційної спроможності системи в процесі її машинного навчання [4]. На відміну від методів, побудованих на дистанційних міражах, перевага ІЕІ-технології полягає в застосуванні як міри схожості інформаційного критерію оптимізації параметрів ма-

шинного навчання. Крім того, відмінність інформаційно-екстремального машинного навчання від інших методів полягає в трансформації вхідної навчальної матриці в робочу бінарну матрицю, що дозволяє шляхом її цілеспрямованої зміни адаптувати вхідний математичний опис системи до високостовірних вирішальних правил.

В статті розглядається задача інформаційно-екстремального машинного навчання бортової ГІС, яка здійснює ідентифікацію кадрів зображення місцевості з метою побудови електронної карти місцевості із позначеними на ній зонами інтересу.

Постановка задачі. Розглянемо формалізовану постановку задачі інформаційного синтезу здатної навчатися ГІС ідентифікації кадрів на зображенні місцевості з гіперсферичними вирішальними правилами. Нехай зображення місцевості, одержане за попередніми результатами аерофотозйомки, розбито на K кадрів, серед яких сформовано алфавіт $\{X_m^o \mid m = \overline{1, M}\}$ класів розпізнавання із M різних кадрів, що представляють зони інтересу.

Для заданого алфавіту шляхом оброблення кадрів зображення місцевості сформовано навчальну матрицю $\|y_{m,i}^{(j)}\|$ яскравості пікселів рецепторного поля кадрів. В навчальній матриці рядок $\{y_{m,i}^{(j)} \mid i = \overline{1, N}\}$, де N – кількість ознак розпізнавання, є вектором-реалізацією (далі в тексті просто реалізація) m -го кадру зображення, а стовпчик матриці – випадкова навчальна вибірка $\{y_{m,k,i}^{(j)} \mid j = \overline{1, n}\}$ з обсягом n . Крім того, для

кожного класу розпізнавання X_m^o задано структурований вектор параметрів навчання

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

де δ – параметр симетричного поля контрольних допусків на ознаки розпізнавання, величина якого дорівнює його половині;

d_m – радіус гіперсферичного контейнера класу розпізнавання, який відновлюється в радіальному базисі простору ознак;

x_m – еталонна (усереднена) реалізація образу.

На області значень параметрів навчання накладаються відповідні обмеження:

- область значень параметра δ задається нерівністю $\delta < \delta_H / 2$, де δ_H – нормоване поле допусків для ознак розпізнавання;
- область значень яскравості пікселів рецепторного поля зображення кадру знаходиться в інтервалі $[0; 255]$ градацій яскравості;
- область значень радіуса гіперсферичного контейнера класу розпізнавання d_m , який в процесі машинного навчання відновлюється в радіальному базисі бінарного простору ознак задається нерівністю

$$d_m < d(x_m \oplus x_c),$$

де $d(x_m \oplus x_c)$ – міжцентрова відстань між еталонною реалізацією x_m класу X_m^o і еталонною реалізацією x_c найближчого до нього сусіднього класу X_c^o ;

\oplus – символ логічної операції нерівнозначності (додавання за модулем 2).

Необхідно в процесі машинного навчання ГПС оптимізувати координати вектора (1), які забезпечують максимальне значення інформаційного критерію функціональної ефективності (КФЕ) в робочій (допустимій) області визначення його функції:

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

де $E_m^{(k)}$ – значення інформаційного КФЕ машинного навчання системи розпізнавати реалізації класу X_m^o , обчислене на k -му кроці навчання;

G_E – область допустимих значень функції інформаційного КФЕ навчання системи;

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

При функціонуванні геоінформаційної системи в режимі екзамену необхідно ідентифікувати кадри зображення місцевості з метою побудови її електронної карти з позначеними зонами інтересу.

Таким чином, задача інформаційного синтезу здатної навчатися системи ідентифікації кадрів полягає в оптимізації параметрів її машинного навчання шляхом наближення глобального максимуму інформаційного критерію (2) до його максимального граничного значення.

Категорійні моделі ідентифікації кадрів. Ідентифікацію кадрів зображення місцевості ГПС здійснює в два етапи:

на етапі машинного навчання для заданого алфавіту кадрів за оптимальними геометричними параметрами контейнерів класів розпізнавання, які відновлюються в радіальному базисі простору ознак, будуються вирішальні правила;

на другому етапі безпосередньої ідентифікації кадрів за побудованими на етапі машинного навчання вирішальними правилами визначається належність поточного кадру зображення місцевості до відповідної зони інтересу

Категорійну модель машинного навчання ГПС розглянемо у вигляді орієнтованого графу, в якому множини відображаються одна на одну відповідними операторами перетворення інформації, що застосовуються в процесі навчання.

Категорійна модель включає вхідний математичний опис системи ідентифікації кадрів, який подано у вигляді структури

$$\Delta_B = \langle T, G, \Omega, Z, K, Y, X; \Phi_1, \Phi_2 \rangle,$$

де T – множина моментів часу формування реалізацій відповідних кадрів;

G – простір факторів, що впливають на зображення місцевості;

Ω – простір ознак розпізнавання;

Z – простір станів системи, який визначає алфавіт класів розпізнавання;

K – множина кадрів зображення;

Y – вибіркова множина, яка утворює вхідну багатовимірну навчальну матрицю для заданого алфавіту $\{X_m^o\}$ класів розпізнавання;

X – бінарна навчальна матриця;

$\Phi_1 : G \times T \times \Omega \times Z \times K \rightarrow Y$ – оператор формування вхідної навчальної матриці Y ;

$\Phi_2 : Y \rightarrow X$ – оператор трансформації вхідної навчальної матриці Y в бінарну матрицю X .

На рис. 1 показано категорійну модель інформаційно-екстремального навчання з оптимізацією геометричних параметрів контейнерів класів розпізнавання і системи контрольних допусків на ознаки розпізнавання.

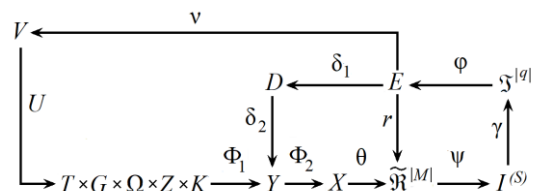


Рис. 1 – Категорійна модель машинного навчання

На рис. 1 оператор $\theta : X \rightarrow \tilde{\mathfrak{R}}^{|M|}$ буде в загальному випадку нечітке розбиття $\tilde{\mathfrak{R}}^{|M|}$ бінарного простору ознак на класи розпізнавання, а оператор класифікації Ψ перевіряє основну статистичну гіпотезу про належність навчальної реалізації класу X_m^o і, таким

чином, формує множину гіпотез $I^{|L|}$, де L – кількість статистичних гіпотез. Оператор γ шляхом оцінки прийнятих гіпотез формує множину точнісних характеристик $\mathfrak{Z}^{|q|}$, де $q=L^2$, а оператор ϕ обчислює множину значень інформаційного критерію E , який є функціоналом від точнісних характеристик. Контур моделі, який замикається оператором r , реалізує ітераційний процес оптимізації геометричних параметрів розбиття $\tilde{\mathfrak{R}}^{|M|}$ шляхом пошуку глобального максимуму КФЕ в робочій області визначення його функції. Контур оптимізації контрольних допусків на ознаки розпізнавання замикається через множину D – систему контрольних допусків на ознаки розпізнавання і дозволяє в процесі навчання змінювати значення робочої бінарної навчальної матриці X , адаптуючи її до максимальної функціональної ефективності класифікатора.

Показана на рис. 1 категорійна модель передбачає згідно з принципом відкладених рішень перехід до інших типів радіально-базисних вирішальних правил. З цієї метою її зовнішній контур містить множину V типів вирішальних правил, які будуються із застосуванням більш складних радіально-базисних роздільних функцій. Процес навчання регламентується оператором $U: V \rightarrow G \times T \times \Omega \times Z \times K$.

Категорійну модель у вигляді відображень множин, що застосовуються при функціонуванні ГІС в режимі екзамену, тобто безпосередньо ідентифікації кадрів, показано на рис. 2.

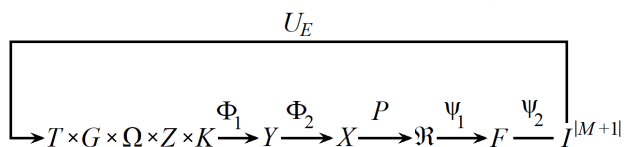


Рис. 2 – Категорійна модель функціонування системи в режимі ідентифікації кадрів

У категорійній моделі (рис. 2) оператор Φ_1 відображає універсум випробувань $G \times T \times \Omega \times Z \times K$ на вибіркву множину Y , яка утворює екзаменаційну матрицю $\|y_i^{(j)}\|$, аналогічну за структурою навчальній матриці. Оператор Φ_2 за отриманими на етапі навчання оптимальними контрольними допусками на ознаки розпізнавання формує бінарну екзаменаційну матрицю X , а оператор P відображає вектор-реалізацію кадру, що ідентифікується, на побудоване на етапі навчання оптимальне розбиття \mathfrak{R}^* класів розпізнавання. Оператор Ψ_1 для кожного вектора-реалізації обчислює значення побудованих на етапі навчання вирішальних правил і формує термножину F , а оператор Ψ_2 за максимальним значенням вирішального правила відносить кадр, що ідентифікується, до одного із класів заданого алфавіту $\{X_m^o\}$. Призначенням оператора U_E є регламентація екзамену.

Таким чином, показані на рис. 1 і рис. 2 категорійні моделі, можна розглядати як узагальнені структурні схеми відповідних алгоритмів функціонування здатної навчатися системи ідентифікації кадрів.

Інформаційно-екстремальний алгоритм ідентифікації кадрів. Згідно з категорійною моделлю (рис.1) алгоритм оптимізації контрольних допусків на ознаки розпізнавання в процесі інформаційно-екстремального машинного навчання полягає в реалізації двоциклічної ітераційної процедури оптимізації параметра δ поля контрольних допусків на ознаки розпізнавання шляхом пошуку глобального максимуму інформаційного КФЕ (2) в робочій області визначення його функції [5]:

$$\delta^* = \arg \max \{ \max_{G_E \cap \{s\}} \bar{E}^{(s)} \}, \quad (3)$$

де $\bar{E}^{(s)}$ – значення усередненого за алфавітом класів розпізнавання інформаційного КФЕ, обчисленого на s -му кроці навчання;

G_δ – область допустимих значень параметра поля контрольних допусків на ознаки розпізнавання;
 $\{s\}$ – множина кроків навчання.

Розглянемо схему алгоритму інформаційно-екстремального машинного навчання системи ідентифікації кадрів за процедурою (3) з паралельною оптимізацією системи контрольних допусків на ознаки розпізнавання, за якою параметр δ поля контрольних допусків змінюється одночасно для всіх ознак. При цьому вхідними даними є: тривимірний масив вхідної навчальної матриці $\{y[m, j, i]\}, m = \overline{1, M}, j = \overline{1, n}, i = \overline{1, N}$ для заданого алфавіту $\{X[m]\}$ класів розпізнавання, які характеризують відповідні зони інтересу на місцевості; нормоване поле δ_H допусків на ознаки розпізнавання, яке визначає область значень системи контрольних допусків.

Основними етапами інформаційно-екстремального алгоритму машинного навчання є:

- визначення базового класу розпізнавання X_1^o , для якого відносно ознак розпізнавання його усередненого вектора-реалізації y_1 , на кожному кроці навчання задаються нижні та верхні контрольні допуски;
- оптимізація системи контрольних допусків на ознаки розпізнавання за двоциклічною процедурою (3).

Алгоритм визначення базового класу реалізує внутрішній цикл процедури (3) при заданому параметрі поля контрольних допусків $\delta < \delta_H / 2$ за такою схемою:

- 1) обнуляється лічильник базових класів розпізнавання: $b = 0$;
- 2) ініціалізується лічильник базових класів розпізнавання: $b = b + 1$;
- 3) обнуляється лічильник класів розпізнавання: $m = 0$;

4) $m = m + 1$;
5) обнуляється лічильник кроків зміни радіусів контейнерів класів розпізнавання: $d[m, s] = 0$;

6) визначається для масиву $\{y[m, j, i]\}$ усереднений вектор $y[m]$;

7) якщо $b = b + 1$ і $m = m + 1$, то $y[m] = y[b]$, тобто вектор $y[m]$ приймається за базовий, і виконується пункт 8, інакше – пункт 9;

8) обчислюються для кожної i -ї ознаки вектора $y[b]$ нижній $A_{HK,i}[b]$ і верхній $A_{BK,i}[b]$ контрольні допуски за формулами

$$A_{HK,i}[b] = y[b]_i - \delta; A_{BK,i}[b] = y[b]_i + \delta, \quad (4)$$

де $y[b]_i$ – значення i -ї ознаки розпізнавання усередненого вектора $y[b]_i$ класу $X[m]$;

9) формується тривимірний масив бінарної навчальної матриці $\{x[m, j, i]\}$, елементи якої обчислюються за правилом

$$x[m, j, i] = \begin{cases} 1, & \text{якщо } A_{HK,i}[b] < y_{m,i}^j < A_{BK,i}[b]; \\ 0, & \text{якщо інакше;} \end{cases}$$

10) для масиву $\{x[m, j, i]\}$ визначається усереднений двійковий вектор $x[m]$;

11) якщо $m \leq M$, то виконується пункт 5, інакше – пункт 12;

12) для множини пари найближчих сусідів, для яких відновлюються гіперсферичні контейнери;

13) ініціалізується лічильник класів розпізнавання: $m = m + 1$;

14) ініціалізується лічильник кроків зміни радіусів контейнерів класів розпізнавання: $d[m, s] = d[m, s] + 1$;

15) за навчальними матрицями класу $X[m]$ і його найближчого сусіда обчислюється інформаційний КФЕ $E[m, s]$, наприклад, ентропійний критерій Шеннона [6], який подано у такому модифікованому вигляді:

$$E[m, s] = 1 + 0,5 \times \left\{ \frac{D1[m, s]}{D1[m, s] + \beta[m, s]} \log_2 \frac{D1[m, s]}{D1[m, s] + \beta[m, s]} + \frac{\alpha[m, s]}{\alpha[m, s] + D2[m, s]} \log_2 \frac{\alpha[m, s]}{\alpha[m, s] + D2[m, s]} + \frac{\beta[m, s]}{D1[m, s] + \beta[m, s]} \log_2 \frac{\beta[m, s]}{D1[m, s] + \beta[m, s]} + \frac{\alpha[m, s]}{\alpha[m, s] + D2[m, s]} \log_2 \frac{\alpha[m, s]}{\alpha[m, s] + D2[m, s]} \right\}, \quad (5)$$

де $D1[m, s]$ – перша достовірність, обчислена на s -му кроці навчання системи розпізнавати вектори-реалізації класу $X[m]$;

$\beta[m, s]$ – помилка другого роду;

$\alpha[m, s]$ – помилка першого роду;

$D2[m, s]$ – друга достовірність;

16) якщо $d[m, s] < N$, то виконується пункт 14, інакше – пункт 17;

17) в робочій області G_E визначається максимальне значення $E^*[m, s]$ інформаційного критерію [5];

18) якщо $b \leq M$, то виконується пункт 2, інакше – пункт 19;

19) згідно з формулою (2) обчислюється усереднене максимальне значення \bar{E}^* критерію (5);

20) за базовий приймається клас розпізнавання, для якого значення \bar{E}^* критерію (5) є максимальним; 21) ЗУПИН.

Після визначення базового класу запускається процедура (3) машинного навчання системи ідентифікації кадрів з оптимізацією системи контрольних допусків на ознаки розпізнавання. При цьому основними функціями внутрішнього циклу процедури (3) є:

- обчислення на кожному кроці відновлення в радіальному просторі ознак розпізнавання контейнерів класів розпізнавання інформаційного критерію (5) при заданому зовнішнім циклом значенні параметра δ поля контрольних допусків;
- пошук глобального максимуму інформаційного КФЕ навчання системи ідентифікації в робочій (допустимій) області визначення його функції;
- визначення оптимальних в інформаційному розумінні геометричних параметрів класів розпізнавання.

Процес машинного навчання згідно з умовою (2) закінчується знаходженням оптимальних значень параметра δ^+ поля контрольних допусків і геометричних параметрів контейнерів класів розпізнавання – векторів розпізнавання $\{x_m^*\}$, вершини яких в просторі ознак розпізнавання визначають геометричні центри відповідних гіперсферичних контейнерів класів розпізнавання, і радіусів $\{d_m^*\}$ цих контейнерів. За отриманими в процесі машинного навчання оптимальними геометричними правилами будуються вирішальні правила, які для гіперсферичних контейнерів класів розпізнавання мають, наприклад, вигляд [5]

$$\mu_m = 1 - \frac{d(x_m^* \oplus x^{(j)})}{d_m^*}, \quad (6)$$

де $x^{(j)}$ – j -та реалізація кадру, що розпізнається;

$d(x_m^* \oplus x^{(j)})$ – кодова відстань реалізації кадру,

що розпізнається, від центру класу X_m^o .

Алгоритм екзамену, на якому здійснюється безпосередньо ідентифікація кадрів на зображенні місцевості, має такі входні дані:

- $\{x_m^* | m = \overline{1, M}\}$ – масив еталонних двійкових векторів-реалізацій образу, які визначають геометричні центри оптимальних контейнерів класів розпізнавання, побудованих на етапі навчання;
- $\{d_m^*\}$ – масив оптимальних радіусів контейнерів класів розпізнавання;
- $\{x_k^{(j)} | k = \overline{1, K}; j = \overline{1, n}\}$ – масив двійкових векторів-реалізацій кадрів, що ідентифікуються, де K – кількість кадрів зображення місцевості, що реконструюється.

Алгоритм ідентифікації кадрів ґрунтується на аналізі значень сформованих на етапі навчання вирішальних правил (6) і реалізується за такою схемою:

- 1) обнуління лічильника числа кадрів: $k = 0$;
- 2) ініціалізація лічильника числа кадрів: $k = k + 1$;
- 3) обнуління лічильника класів розпізнавання: $m = 0$;
- 4) $m = m + 1$;
- 5) обнуління лічильника числа реалізацій кадра: $j = 0$;
- 6) $j = j + 1$;
- 7) обчислення вирішального правила (6);
- 8) порівняння: якщо $j \leq n$, то виконується пункт 6, інакше – пункт 9;
- 9) обчислення вирішального правила (6)

$$\bar{\mu}_m = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \mu_{m,j}; \quad (7)$$

- 10) порівняння: якщо $m \leq M$, то виконується пункт 4, інакше – пункт 11;

- 11) визначення максимального значення функції (7)

$$\bar{\mu}_m^* = \max_{\{m\}} \bar{\mu}_m; \quad (8)$$

- 12) визначення класу кадру за максимальним значенням функції (8);

- 13) якщо для всіх класів розпізнавання максимальні значення функції (8) від'ємні, то кадр не ідентифікується;

- 14) порівняння: якщо $k \leq K$, то виконується пункт 2, інакше – пункт 15;

- 15) ЗУПИН.

Таким чином, ідентифікація кадрів зображення місцевості в рамках ІЕІ-технології полягає у побудові на етапі машинного навчання вирішальних правил, за якими в режимі екзамену.

Приклад реалізації алгоритму машинного навчання. Реалізацію запропонованого алгоритму розглянемо на прикладі ідентифікації кадрів зображення місцевості, одержаного за результатами аерофотозйомки [7]. Для формування навчальної матриці зображення місцевості розбивалося на кадри розміром 50×50 пікселів. Як зони інтересу на зображенні було обрано автомагістраль – клас розпізнавання X_1^o , ліс – клас X_2^o , поле – клас X_3^o і

луки – клас X_4^o . На рис. 3 показано зображення чотирьох кадрів, які можуть бути зонами інтересу.



Рис. 3. Зображення кадрів зон інтересу:

a – автомагістраль (клас X_1^o); $б$ – ліс (клас X_2^o);

$в$ – поле (клас X_3^o); $г$ – луки (клас X_4^o)

Формування вхідної навчальної матриці здійснювалося шляхом зчитування значень яскравості в пікселях рецепторного поля кожного кадру.

Машинне навчання ГІС ідентифікації кадрів здійснювалося за алгоритмом (3) з паралельною оптимізацією контрольних допусків на ознаки розпізнавання. В процесі навчання системи попередньо за наведеним вище алгоритмом було визначено як базовий клас X_4^o – луки, відносно усередненого вектора-реалізації якого задавалася система контрольних допусків на ознаки розпізнавання.

На рис. 4 показано графік залежності нормованого інформаційного КФЕ (5) від параметра δ поля контрольних допусків на ознаки розпізнавання, одержаний в процесі інформаційно-екстремального машинного навчання.

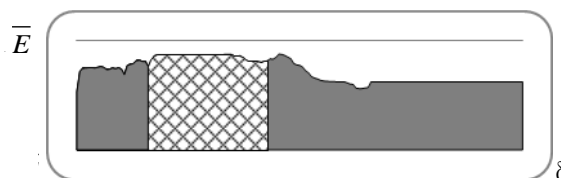


Рис. 4 – Графік залежності КФЕ від параметра поля контрольних допусків

На рис. 4 штрихована ділянка графіку позначає робочу область визначення функції інформаційного критерію (5), в якій виконуються умови: $D_{1,m} > 0,5$ і $D_{2,m} > 0,5$, тобто перша і друга достовірності перевершують відповідно помилки першого і другого роду. Крім того, права межа робочої області визначається за умови

$$d_m < d(x_m \oplus x_c).$$

Аналіз рис. 4 показує, що через наявність в робочій області графіку ділянки типу “плато” визначення максимального усередненого значення інформаційного критерію (5) не є однозначним. Оскільки вибір параметра δ поля контрольних допусків суттєво впливає на ступінь перетину класів розпізнавання, то для його визначення у цьому випадку слід скористатися запропонованим в праці [5] так званим коефіцієнтом нечіткої компактності, який має вигляд

$$l_{m,c} = \frac{d_m}{d(x_m \oplus x_c)}. \quad (9)$$

За умови мінімального значення коефіцієнта (9) оптимальний параметр поля контрольних допусків на ознаки розпізнавання дорівнює $\delta^* = \pm 28$ градацій яскравості пікселів рецепторного поля кадрів зображень. При цьому максимальне значення усередненого КФЕ дорівнює $\bar{E}^* = 0,88$.

На рис. 5 показано результати оптимізації радіусів контейнерів класів розпізнавання при оптимальній системі контрольних допусків.

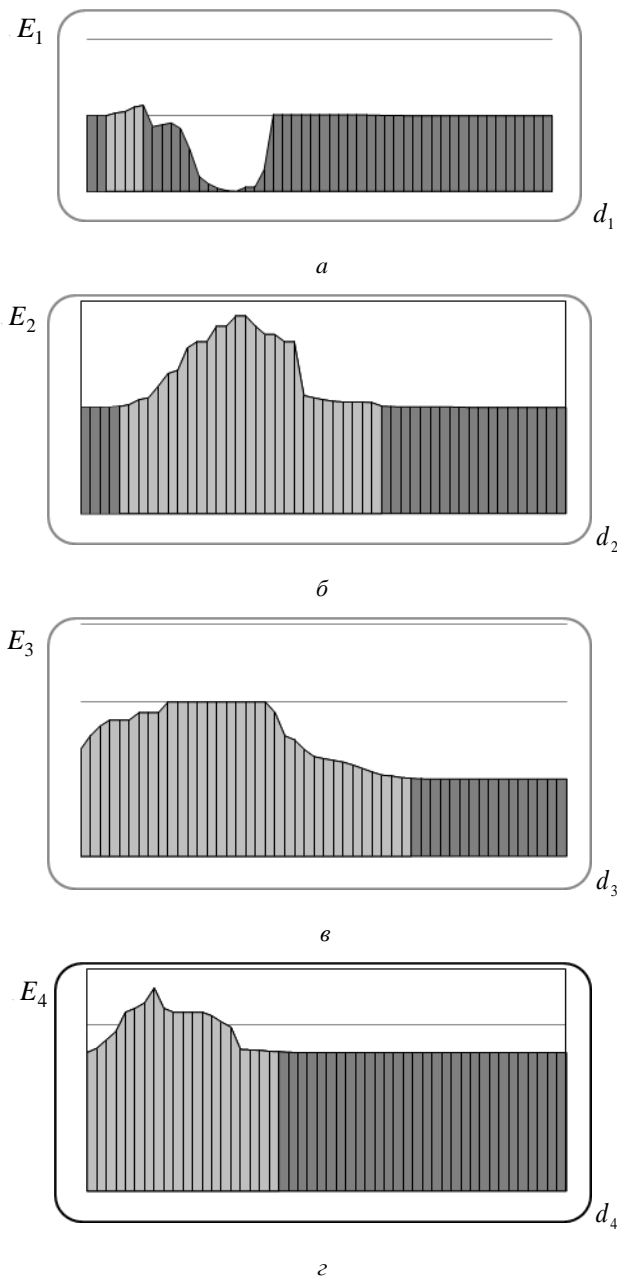


Рис. 5 – Графіки залежності критерію Кульбака від радіусів контейнерів класів розпізнавання: а – клас X_1^o ; б – клас X_2^o ; в – клас X_3^o ; г – клас X_4^o .

Аналіз рис. 5 показує, що оптимальні радіуси в кодових одиницях контейнерів класів розпізнавання дорівнюють: для класу X_1^o – $d_1^* = 7$, для класу X_2^o – $d_2^* = 17$, для класу X_3^o – $d_3^* = 10$, для класу X_4^o – $d_4^* = 8$.

Оптимальним параметрам контейнерів класів розпізнавання відповідають такі значення КФЕ і точнісних характеристик рішень, що приймаються: для класу X_1^o – $E_1^* = 0,58$ (перша достовірність $D_1^* = 0,82$, помилка другого роду $\beta^* = 0,09$), для класу X_2^o – $E_2^* = 0,92$ ($D_1^* = 0,96$; $\beta^* = 0,02$), для класу X_3^o – $E_3^* = 1,00$ ($D_1^* = 1,00$; $\beta^* = 0$) і для класу X_4^o – $E_4^* = 0,73$ ($D_1^* = 0,86$; $\beta^* = 0,03$).

В режимі екзамену, тобто безпосередньої ідентифікації кадрів зображення місцевості, було застосовано побудовані на етапі машинного навчання вирішальні правила (6). На рис. 6 показано сформовану в процесі ідентифікації кадрів електронну карту місцевості з позначеними зонами інтересу, де кадри пронумеровано таким чином: 1 – автомагістраль; 2 – ліс; 3 – поле; 4 – луки.



Рис. 6 – Електронна карта місцевості

Аналіз рис. 6 показує, що з найбільшою достовірністю були ідентифіковані кадри «поле» – 0,94 і «луки» – 0,92, а достовірність ідентифікації кадрів «ліс» і «автомагістраль» дорівнює 0,86 і 0,84 відповідно. Основним шляхом підвищення точності ідентифікації кадрів слід розглядати застосування «глибокого» навчання, яке полягає в оптимізації параметрів оброблення зображень.

Висновки. На базі інформаційно-екстремального класифікатора розроблено метод інформаційного синтезу ГІС, який дозволяє на етапі машинного навчання побудувати вирішальні правила і на етапі екзамену створити в реальному темпі часу електронну карту місцевості з позначеними зонами інтересу.

Побудовані вирішальні правила не є безпомилковими за навчальною матрицею і для підвищення функціональної ефективності машинного навчання інформаційно-аналітичної системи необхідна оптимі-

зація додаткових параметрів функціонування геоінформаційної системи, включаючи параметри оброблення зображень місцевості.

HZPPBZcQsAQIGw&dpr=1#imgrc=lztQ1BHim75MsM%3A –
Дата звернення : 14 травня 2017.

References (transliterated)

- Список літератури**
1. Куссуль Н. Оценка состояния растительности и прогнозирование урожайности озимых культур Украины по спутниковым данным [Текст] / Н. Куссуль, Н. Ильин, С. Скакун, А. Лавренко. – К. : Институт космических исследований НАНУ-НКАУ, 2005. – 25с.
 2. Duda R. O. Pattern Classification : second ed. / R. O. Duda, P. E. Hart, D. G. Stork. – New York : John Wiley & Sons, 2001. – 738 p.
 3. Довбиш А. С. Основи проектування інтелектуальних систем : навч. посіб. / А. С. Довбиш. – Суми : Видавництво СумДУ, 2009. – 171 с.
 4. Довбиш А. С. Інтелектуальні інформаційні технології в електронному навчанні [Текст] / А. С. Довбиш. – Суми : Видавництво СумДУ, 2013. – 172 с.
 5. Изображение аэрофотосъемки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.google.com.ua/search?q=%D0%B8%D0%B7%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5+%D0%B0%D1%8D%D1%80%D0%BE%D1%84%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%81%D1%8A%D0%B5%D0%BC%D0%BA%D0%B8&espv=2&biw=1366&bih=662&tbm=isch&bo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwit8Y7g9TQAhVCDZoKHZPPBZcQsAQIGw&dpr=1#imgrc=lztQ1BHim75MsM%3A> (accessed 14.05.2017).

Надійшла (received) 17.05.20

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Геоінформаційна система ідентифікації кадрів при реконструюванні місцевості / О. С. Куценко, Л. Б. Кашцев, М. І. Мироненко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 28 (1250). – С. 34–40. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-0023.

Геоинформационная система идентификации кадров при реконструировании местности / А. С. Куценко, Л. Б. Кашцев, Н. И. Мироненко // Вестник НТУ «ХПИ». Серія: Системный анализ, управление и информационные технологии. – Харків : НТУ «ХПИ», 2017. – № 28 (1250). – С. 34–40. – Библиогр.: 5 назв. – ISSN 2079 0023.

Geo-informational system of identification the frames for area reconstruction // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology / O. S. Kuzenko, L. B. Kascheev, M. I. Myronenko // – Kharkov : NTU "KhPI", 2016. – No. 28 (1250). – P. 34–40. – Bibliogr.: 5. – ISSN 2079-0023.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Куценко Олександр Сергійович – др. техн. наук, професор, завідувач каф. системного аналізу та інформаційно-аналітичних технологій, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: kuzenko@kpi.kharkov.ua.

Куценко Александр Сергеевич – др. техн. наук, професор, заведуючий каф. системного аналізу та інформаційно-аналітичних технологій, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: kuzenko@kpi.kharkov.ua.

Kuzenko Oleksandr Sergijovych – head of computer science department, National Technical University «Kharkiv Politechnic Institute», Kharkiv, Ukraine. e-mail: kuzenko@kpi.kharkov.ua.

Кашцев Леонід Борисович – доцент каф. системного аналізу та інформаційно-аналітичних технологій, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: leoborka@rambler.ru.

Кашцев Леонид Борисович – доцент каф. системного аналізу та інформаційно-аналітичних технологій, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: leoborka@rambler.ru.

Kascheev Leonid Borisovych – assisted of professors of computer science department, National Technical University «Kharkiv Politechnic Institute», Kharkiv, Ukraine. e-mail: leoborka@rambler.ru.

Мироненко Микита Ігорович – студент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: nikitam1996@ukr.net.

Мироненко Никита Игоревич – студент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: nikitam1996@ukr.net.

Myronenko Mykyta Igorovych – student of National Technical University «Kharkiv Politechnic Institute», Kharkiv, Ukraine, e-mail: nikitam1996@ukr.net.

О. И. ПРОНИНА, Е. Е. ПЯТИКОП

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ КЛАССА АВТОМОБИЛЯ

У статті представлені етапи побудови системи нечіткого виведення для вибору класу автомобіля. Описано процедури збору і обробки експертної інформації, вибору функцій приладдя необхідних для побудови системи нечіткого виведення. Сформовано продукційні правила для системи нечіткого виведення. Запропоновані процедури і методи були реалізовані у вигляді системи нечіткого виведення в середовищі MatLab Fuzzy.

Ключові слова: клас автомобіля, обробка експертних даних, нечітке моделювання, функції приналежності, продукційні правила, система нечіткого виведення.

В статье представлены этапы построения системы нечеткого вывода для выбора класса автомобиля. Описаны процедуры сбора и обработки экспертной информации, выбора функций принадлежности необходимых для построения системы нечеткого вывода. Сформированы продукционные правила для системы нечеткого вывода. Предложенные процедуры и методы были реализованы в виде системы нечеткого вывода в среде MatLab Fuzzy.

Ключевые слова: класс автомобиля, обработка экспертных данных, нечеткое моделирование, функции принадлежности, продукционные правила, система нечеткого вывода.

The article presents the stages of constructing a fuzzy inference system for selecting a class of a car. The procedures for collecting and processing the expert information necessary for constructing a system of fuzzy inference are described. Linguistic variables are chosen, fuzzy variables "car state", "car class", a clear variable "car category" are constructed, and the intervals for the variable "year", necessary for constructing a fuzzy model, are chosen based on expert data.

Productive rules for the system of fuzzy inference are formed. The proposed procedures and methods were implemented as a system of fuzzy in the MatLab environment. Stages of construction and analysis of the adequacy of the fuzzy model are presented. The graphical interface of the variable editor, rule editor, and the fuzzy output surface of the model, developed in the MatLab environment, is presented. The received model allows to establish dependence of values of an output variable «a class of the car» from values of input variables «a category of the car», «year», «a condition of the car». The simulation results automatically change when the parameters of input variables change, which allows using this model under changing external conditions. The results obtained in the modeling process are further used to construct the model for choosing the optimal trip, and the variable "car class" becomes the input one.

Keywords: car class, expert data processing, fuzzy modeling, membership functions, production rules, fuzzy inference system.

Введение. В современном мире информационные технологии активно используются во всех сферах человеческой деятельности. Человечество уже не может представить свою жизнь без мобильных устройств, быстрого и повсеместного доступа к сети Интернет и усовершенствованных услуг [1].

Благодаря уже имеющимся новшествам информационные технологии используются в разных сферах транспортных перевозок [2].

Одной из областей, где применение смартфонов является ключевым и просто необходимым является вызов автомобиля для осуществления частных пассажирских перевозок (такси) [3]. Сейчас наиболее популярной моделью вызова автомобиля является модель без диспетчера [4], когда взаимодействие водителя и клиента идет напрямую, без посредника. Теперь сам клиент выбирает себе автомобиль согласно своим желаниям и предпочтениям [5]. Перед пользователем предстает ряд свободных автомобилей и выбор поездки зачастую происходит случайным образом, и часто не является оптимальным. Задача выбора оптимальной поездки является актуальной, поскольку советующая система для выбора поездки смогла бы в значительной мере облегчить процедуру выбора.

Анализируя все факторы, влияющие на выбор оптимальной поездки, нередко приходится применять экспертные методы оценивания тех параметров, которые невозможно рассчитать при помощи теоретико-информационного подхода [6]. Предпосылкой для применения нечетких моделей

является наличие неопределенности, обусловленной отсутствием информации либо сложностью системы, и наличие информации качественного характера о системе [7].

Для создания системы выбора оптимальной поездки, необходим ряд входящих переменных, одной из которых является класс автомобиля. В свою очередь входящая переменная класс автомобиля, не может быть однозначно представлена [8]. Поскольку является результатом вывода, основанного на трех переменных.

Выбор класса автомобиля может быть реализован при помощи систем нечеткого вывода в совокупности с экспертными методами оценивания. В данной работе будет рассмотрена реализация выбора класса автомобиля в виде нечеткого моделирования в среде MatLab Fuzzy [6], для дальнейшего использования в системе выбора оптимальной поездки.

Целью данной работы является моделирование нечеткой системы вывода для определения класса автомобиля.

Постановка задачи. Задача определения класса автомобиля для дальнейшего его использования при определении оптимальности поездки является достаточно актуальной. Поскольку на сегодняшний день класс автомобиля устанавливает сам водитель и очень часто он не соответствует действительности. Водители для улучшения своей конкурентоспособности на рынке услуг стараются завязать уровень очереди транспортного средства. Клиенты в свою очередь также не всегда объективно оценивают класс автомобиля, который приезжает к ним на вызов, что влечет

за собой недопонимание и конфликтные ситуации.

Анализ последних исследований и публикаций. В Украине, как и во всем мире, особую актуальность приобретают средства компьютерного моделирования [1]. Это обусловлено тем, что с помощью моделирования можно упростить процессы понимания работы отдельных предприятий, а также произвести оптимизацию отдельно взятых процессов [2]. За частую аналитическое описание и решение задач оптимизации процессов является слишком трудоемким, а часто даже невозможным, поскольку требует учета многих случайных факторов функционирования системы.

На данный момент большинство работ, посвященных транспортным задачам, своей целью ставят автоматизацию процесса перевозок [1-3, 8]. Частные пассажирские перевозки являются узкой областью транспортных задач. На сегодняшний день, выбор автомобиля для совершения поездки осуществляется несколькими запатентованными методиками, сравнение которых приведено в [5].

Класс автомобиля представляет собой очень важный критерий выбора поездки, включающий в себя представительность автомобиля, надежность, безопасность. Также класс автомобиля влияет на цену тарифа, по которому осуществляется перевозка. Так класс автомобиля «эконом» является самым дешевым при перевозке, «комфорт» является средним по цене и уже намного более качественным автомобилем, «бизнес» – самым дорогим в плане перевозки и самым удобным.

На сегодняшний день существует градация автомобилей согласно их маркам и годам выпуска [9], на основании которых происходит распределение автомобилей по классам в службах частных пассажирских перевозок. Эта градация не всегда отражает действительный класс автомобиля,

поскольку мало указать марку и год выпуска, нужно еще знать, в каком состоянии находится автомобиль. По результатам исследований [10] после трех лет интенсивной эксплуатации автомобиля он требует капитального ремонта и теряет свои показатели по надежности и безопасности на 30%.

Поэтому модель выбора класса автомобиля, которая основывается не только на стандартных критериях, таких как марка автомобиля и год выпуска, а и на состоянии автомобиля будет более объективно отражать текущее положение вещей.

Основные этапы построения нечеткой модели.

Построение нечеткой модели основано на формализации характеристик при выборе класса автомобиля в терминах лингвистических переменных, краткий алгоритм приведен на рис. 1.

В настоящее время предложено несколько алгоритмов нечеткого вывода: Мамдани, Цукамото, Ларсена, Сугено [6]. Алгоритм нечеткого вывода формально может быть определен следующим образом:

1. Формирование базы правил нечеткого вывода.
2. Фазификация входных переменных.
3. Агрегирование подусловий в нечетких правилах продукций.
4. Активизация подзаключений в нечетких правилах продукций.
5. Аккумуляция заключений в нечетких правилах продукций.
6. Дефазификация выходных переменных.

Цель создания нечеткой модели выбора класса автомобиля заключается в том, чтобы на основе текущего состояния автомобиля, его года выпуска и категории, к которой он относится по умолчанию, определить класс автомобиля для дальнейшего выбора поездки, в которой выбранный автомобиль учувствует.

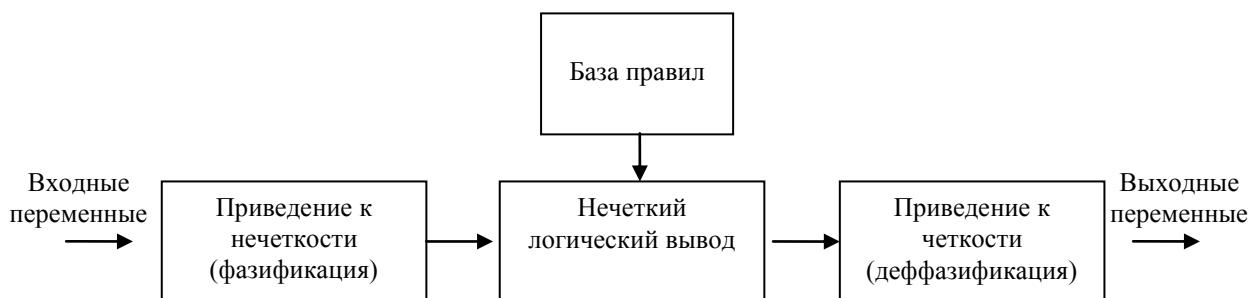


Рис. 1 – Краткий алгоритм нечеткого моделирования

Для описания входных переменных было решено использовать лингвистические переменные, поскольку они наиболее емко отражают суть данных.

Лингвистической переменной называется набор $\langle \beta, T, X, G, M \rangle$, где β – наименование лингвистической переменной; T – множество ее значений (терм-множество), представляющих собой наименования нечетких переменных, областью определения каждой из которых является множество X . Множество T называется базовым терм-множеством лингвистической переменной; G – синтаксическая процедура, позволяю-

щая оперировать элементами терм-множества T , в частности, генерировать новые термы (значения).

Множество $T \cup G(T)$, где $G(T)$ – множество сгенерированных термов, называется расширенным терм-множеством лингвистической переменной; M – семантическая процедура, позволяющая превратить каждое новое значение лингвистической переменной, образуемое процедурой G , в нечеткую переменную, то есть сформировать соответствующее нечеткое множество [6].

Для построения функций принадлежности были выбраны следующие виды функций: сигмоидная, обобщенный колокол и треугольная функции принадлежности.

Функция принадлежности «обобщенный колокол» задается в следующем виде:

$$\mu(x, a, b, c) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x-c}{a}\right)^b}, \quad (1)$$

где x – текущее значение, определенное на базовом множестве;

c – расположение центра функции принадлежности;

a, b – показатели, оказывающие влияние на форму кривой.

Данная функция принадлежности порождает нормальные выпуклые нечеткие множества с ядром $[c]$ и носителем (a, b) .

В аналитической форме сигмоидная функция записывается следующим образом:

$$\mu(x, a, c) = \frac{1}{1 + e^{-a(x-c)}}, \quad (2)$$

где a – показатель, в зависимости от его знака рассматриваемая ФП будет открыта или справа, или слева.

c – показатели, оказывающие влияние на форму кривой.

Треугольная функция принадлежности задается в следующем аналитическом виде:

$$\mu(x, a, b, c) = \begin{cases} 0, & x < a, \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b, \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c, \\ 0, & x > c, \end{cases} \quad (3)$$

где x – базовое множество, на котором определяется ФП.

Величины a и c задают основание треугольника, b – его вершину.

Построение нечеткой модели выбора класса автомобиля. В имеющейся модели организации пассажирских перевозок (ОПП) существуют три категории, относительно которых происходит все распределения автомобилей в системе. При нулевых

условиях значение переменной категория автомобиля и класс автомобиля совпадают.

В основе нечеткой модели выбора класса автомобиля лежит формальная система вида:

$$HM_1 = \langle \{V\}_{i=1}^3, \{W\}_{j=1}^l, \{R\}_{k=1}^{45} \rangle. \quad (4)$$

Множества $\{V\}, \{W\}, \{R\}$ есть множества базовых элементов, а именно:

множество входных переменных:

$$V = \{KA, Year, \beta_6\};$$

множество выходных лингвистических

$$\text{переменных } W = \{\omega_1\};$$

множество правил нечетких продукций:

$$R = \{R_1, R_2, \dots, R_{45}\}.$$

При формировании базы правил данной модели каждое правило представлено в виде нечеткой продукции вида (6) [6]:

ПРАВИЛО<#>: ЕСЛИ " β_1 есть α_1 "

И " β_2 есть α_2 " И... " β_m есть α_m " (6)

ТО " ω_1 есть y_1 " И " ω_2 есть y_2 " И... " ω_s есть y_s ".

Множество входных переменных

$$V = \{KA, Year, \beta_6\} \quad \text{выбора класса автомобиля}$$

следующее:

KA – категория автомобиля;

$Year$ – год выпуска автомобиля, β_6 – состояние автомобиля.

Множество выходных лингвистических переменных $W = \{\omega_1\}$ представлено одной переменной ω_1 – класс автомобиля [6].

Анализ терминологии, используемой в сфере частных пассажирских перевозок, показал, что для класса автомобиля β_1 базовое терм-множество состоит из трех градаций $T(\beta_1) = \{\text{«эконом»}, \text{«комфорт»}, \text{«бизнес»}\}$, а для состояния автомобиля β_6 , базовое терм-множество также состоит из трех градаций – $T(\beta_6) = \{\text{«среднее»}, \text{«хорошее»}, \text{«отличное»}\}$.

Лингвистическая переменная β_6 определяется кортежем $\langle \beta_6, T(\beta_6), X \rangle$, где $\beta_6 = \text{«состояние автомобиля»}$, $T(\beta_6) = \{SS, HS, OS\}$, $X = [0, 300]$. Параметры термов представлены в табл.1. Графики функций принадлежности для термов лингвистической переменной β_6 представлены на рис. 2.

Таблица 1 – Параметры термов лингвистической переменной «состояние автомобиля»

Имя терма	Имя функции	Параметры			Диапазон универсума $X = [X_1, X_2]$	
		a	b	c	X_1	X_2
SS	$\mu_{SS}(x; a, b, c)$	0,5	2	3,5	3	4
HS	$\mu_{HS}(x; a, b, c)$	0,3	3	4,25	4	4,5
OS	$\mu_{OS}(x; a, b, c)$	0,3	3	4,75	5,5	5

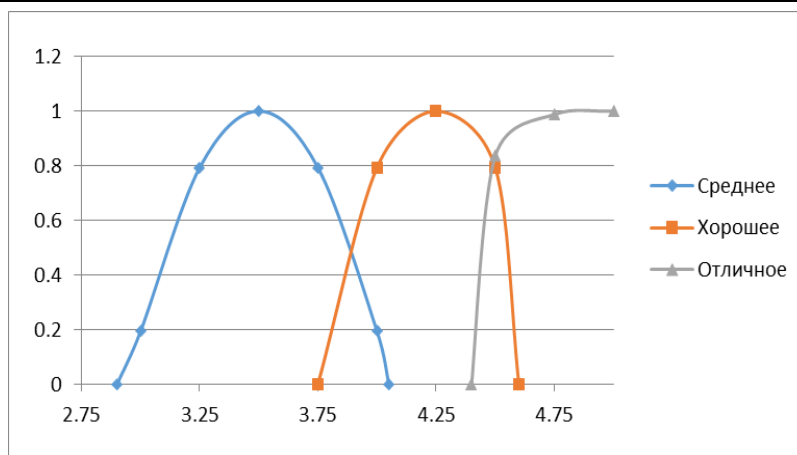


Рис. 2 – Графіки функцій термов лінгвістическої змінної «стан автомобіля»

Аналізуючи отримані дані, для лінгвістическої змінної «стан автомобіля» відносно кожного терма, переважнішою є те значення, у якого максимальна функція належності.

Для визначення року випуску введена змінна позначена – *Year*. Значення, приймає даною змінною, є чітким, заданим у вигляді інтервалу. Значення змінної *Year*, взяті на момент 2017 року. Розподіл значень змінної рік випуску та її текстові значення наведено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Відповідність числовому значенню змінної *Year* її буквенного позначення

Рік випуску, числове значення	Інтерпретоване значення, тип
[2000, 2006]	тип 1
[2005, 2010]	тип 2
[2009, 2011]	тип 3
[2010, 2016]	тип 4
[2015, 2017]	тип 5

Категорія автомобіля береться зі списку відповідностей складеного на основі аналізу літературних джерел даної предметної області. У таблиці вказані марки автомобілів з роками випуску розподілені відповідно до трьох категорій: економ, комфорт, бізнес.

Для моделі була введена змінна категорія автомобіля – *КА*, яка може приймати значення {«економ», «комфорт», «бізнес» }.

За думкою експертів, евристичні правила, легко представляються у формі (7), тому у якості схеми нечіткого висновку пропонується використовувати алгоритм Мамдани [6]: метод активації – *min*-активація, во всіх правилах у якості логічної зв'язки для умов застосовується нечітка кон'юнкція, у якості методу агрегування використовується *min*-кон'юнкція, для накопичення висновків правил – метод *max*-диз'юнкції, метод дефазифікації – метод центру тяжкості.

Для формування змінної класу автомобіля необхідно скласти нечіткі висловлювання, наступного виду:

$$IF(\beta_1 \text{ IS } \alpha_1) \wedge (\beta_2 \text{ IS } \alpha_2) \wedge (\beta_3 \text{ IS } \alpha_3) \quad (7)$$

$$THEN(\omega_1 \text{ IS } \alpha_1),$$

де β – лінгвістическа змінна;
 α – один із термів цієї змінної;
 ω_1 – вихідна лінгвістическа змінна

Якщо автомобіль випущено у 2015 - 2017 році, то марка належить до категорії «Економ», то він може потрапити у категорії «Комфорт» (на сусідні два роки), а потім знову стане «Економ» категорією.

Для категорії «Комфорт», якщо авто випущено у 2015 - 2017 році, то на два наступні роки авто може знаходитися у категорії «Бізнес», по закінченні цього періоду, автомобіль автоматично повертається у «категорію Комфорт».

У випадку якщо рік випуску автомобіля по категорії «Бізнес» від 2009–2011 року такою автомобіль потрапляє у категорію «Комфорт».

Для категорії «Комфорт», якщо рік випуску автомобіля із запропонованої категорії від 2009–2011, даний автомобіль потрапляє у категорію «Економ».

Якщо автомобіль категорії «Комфорт», а рік випуску нижче 2008 року, він знаходиться у категорії «Економ».

У випадку якщо автомобіль із переліку «Економ», рік випуску 2015–2017, він на наступні 1–2 роки належить до категорії «Комфорт».

Автомобіль із категорії «Комфорт» 2015–2017 року порівнюється до категорії «Бізнес» на наступні два роки.

Реалізація нечіткої моделі вибору класу автомобіля. Розроблена система, реалізована у вигляді системи нечіткого висновку, яка на основі вхідних даних, визначає клас автомобіля (рис. 3).

Графічний інтерфейс редактора функцій належності задавання вхідних змінних «категорія автомобіля», «рік випуску» та «стан автомобіля» та вихідної змінної «клас автомобіля» показано на рис. 4, а–г. Значення терм-множеств даних вхідних змінних задані відповідно до отриманих лінгвістических шкал.

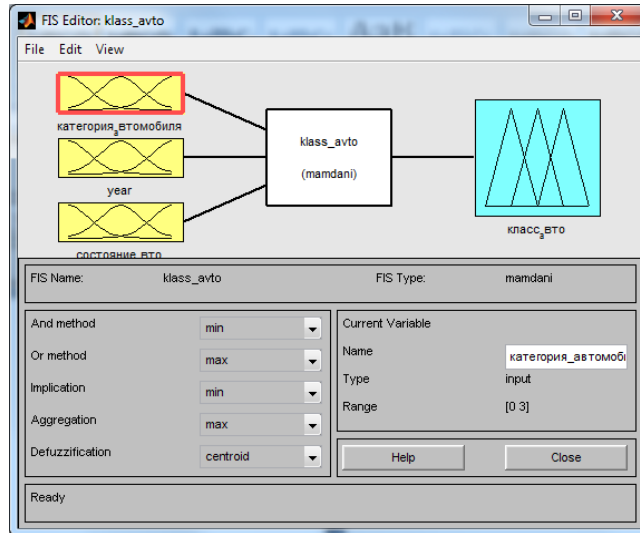
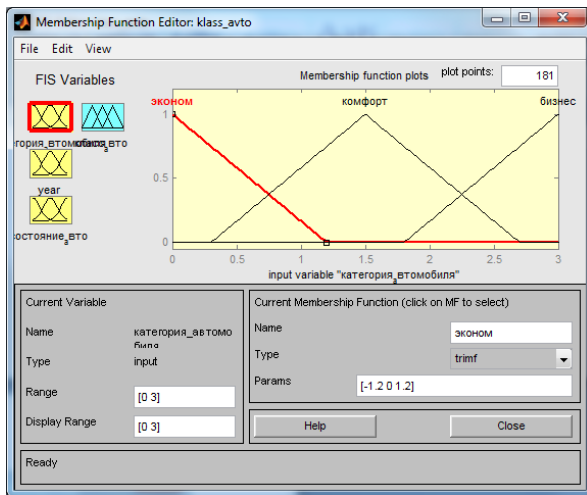
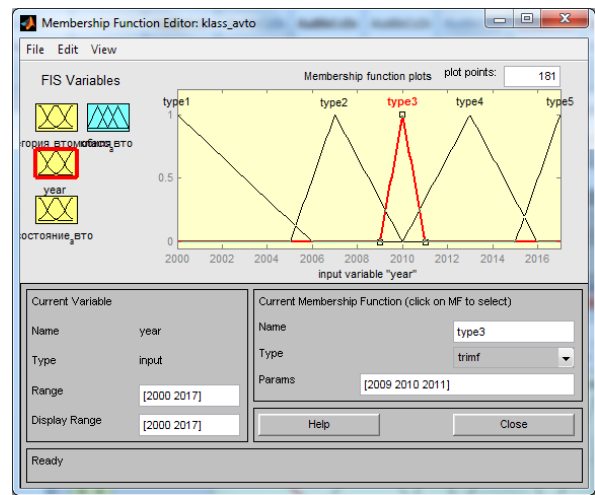


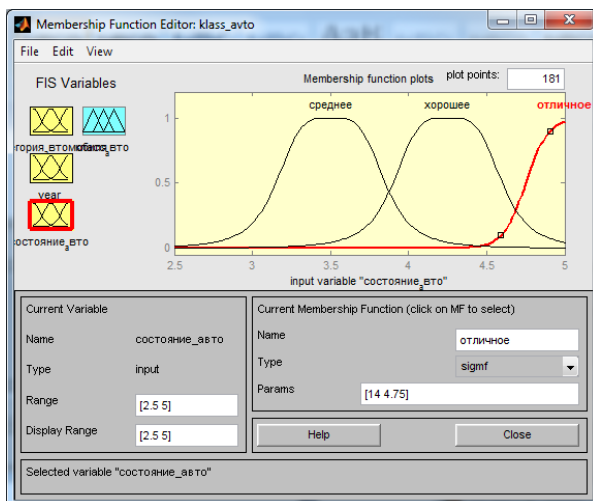
Рис. 3 – Просмотр и функции редактора MatLab Fuzzy



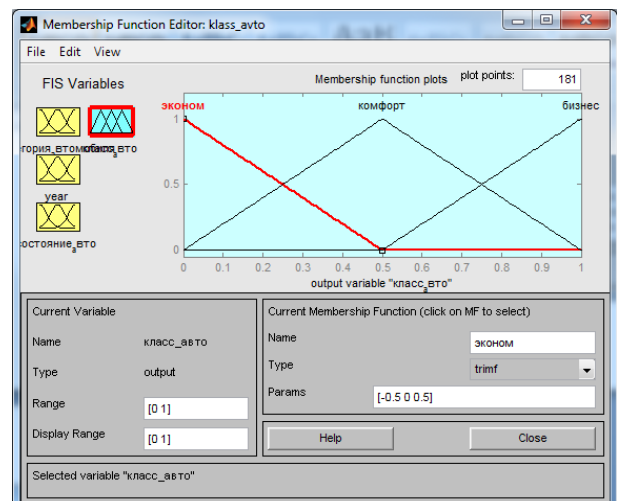
а



б



в



г

Рис. 4 – Представление функций принадлежности в редакторе функций принадлежности:
 а – категория автомобиля, б – год выпуска автомобиля, в – состояние автомобиля, г – класс автомобиля

Далее происходит задание правил для системы нечеткого вывода. Всего было создано 45 правил, которые полностью описывают всевозможные сочетания перебора входных данных и соответствующих выход-

ных данных. Вид графического интерфейса редактора правил после задания всех правил изображен на рис. 5.

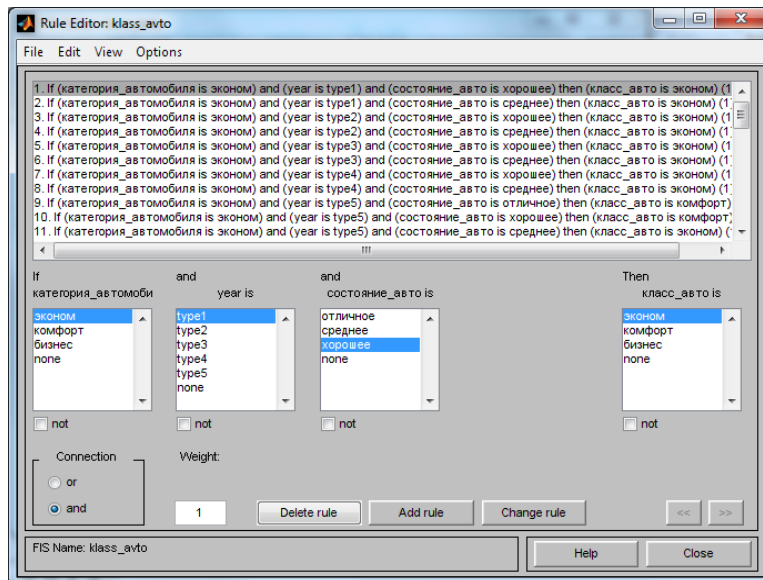


Рис. 5 – Построение правил для нечеткого вывода

Теперь можно выполнить оценку построенной системы нечеткого вывода для задачи определения класса автомобиля. Для этого откроем окно просмотра (рис. 6) и введем значения входных переменных для частного случая: категория автомобиля «бизнес», год выпуска – 2016, состояние автомобиля – «хорошее».

Процедура нечеткого вывода, реализованная в системе MatLab Fuzzy для разработанной нечеткой модели, выдает результат 0,636, что интерпретируется в класс автомобиля – «комфорт», тем самым подтверждает ее адекватность, в рамках рассматриваемой модели.

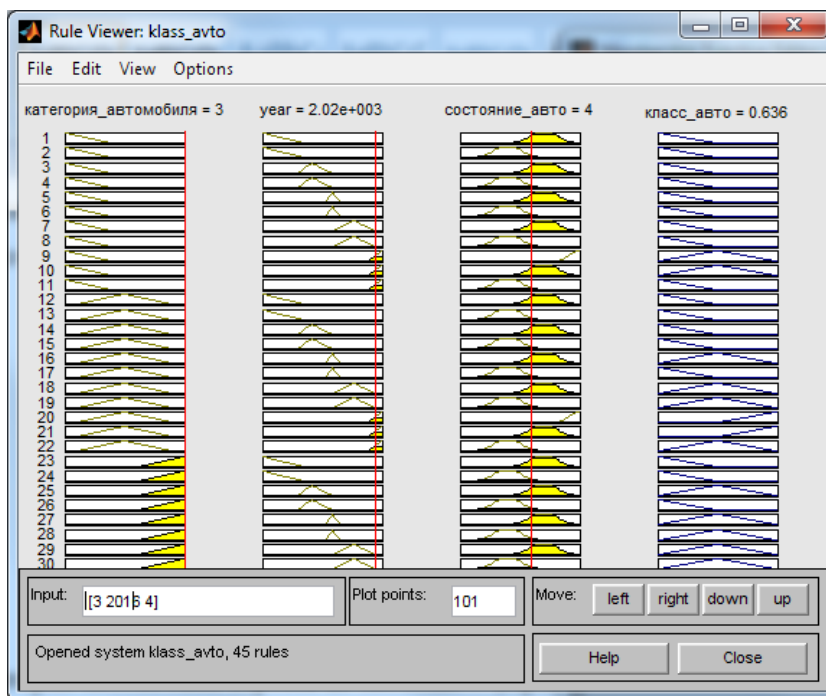


Рис. 6 – Редактор правил нечеткой системы

Процесс исследования и анализа разработанной нечеткой модели состоит из тестового выполнения нечетких выводов для различных значений входных переменных и оценки полученных результатов с

целью внесения необходимых корректировок в случае несогласованности отдельных результатов.

Общий анализ разработанной модели позволяет получить поверхность нечеткого вывода (рис. 7).

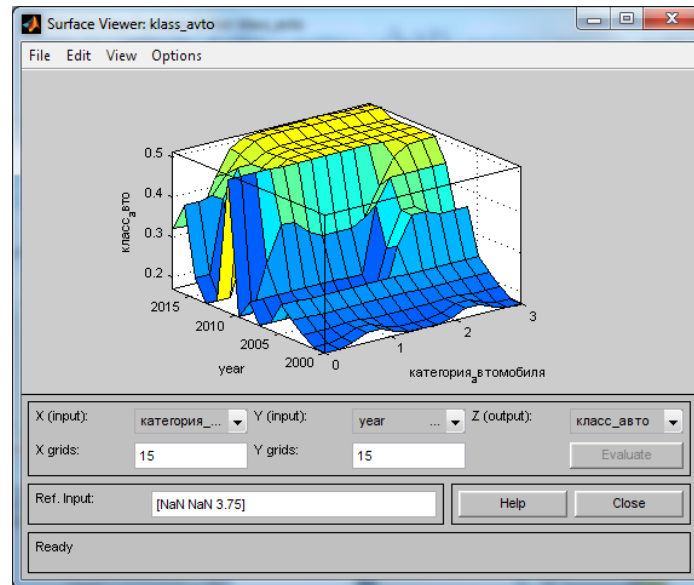


Рис. 7 – Поверхность нечеткого вывода

Данная поверхность нечеткого вывода позволяет установить зависимость значения выходной переменной «класс автомобиля» от значений входных переменных «категория автомобиля», «год выпуска» и «состояние автомобиля».

Выводы. Таким образом, предлагаемая нечеткая модель определения класса автомобиля исключает субъективное мнение водителя этого автомобиля и учитывает не только марку и году выпуска автомобиля, но его состояние. Нечеткая экспертная система, реализованная в среде MatLab Fuzzy, подтверждает адекватность построенной модели. Поэтому модель выбора класса автомобиля по трем параметрам (категория автомобиля, годы выпуска и состояния автомобиля) можно далее использовать в решении задачи выбора оптимальной поездки. Выходная переменная «класс автомобиля» в дальнейшем будет использоваться как входная переменная при выборе оптимальной поездки.

Список литературы

1. *Нагорний С. В.* Математичні методи і моделі розв'язання задач аналізу, моделювання, управління для суб'єктів транспортних ринків / *С. В. Нагорний, О. В. Дорохов.* – Х. : ХНАДУ, 2004. – 70 с.
2. *Забара С. С.* Автоматизована система управління транспортними перевезеннями / *С. С. Забара, М. Т. Дехтярук // Системні дослідження та інформаційні технології.* – 2014. – № 2. – С. 18–28.
3. *Эльдарханов Х. Ю.* Логистика: управление городским грузодвижением / *Х. Ю. Эльдарханов.* – Тамбов : Грамота, 2008. – 143 с.
4. Пат. 82013 UA, МПК (2013.01) G08G 1/123 (2006.01) G07C 5/00. Спосіб обробки та розподілу замовлень транспортних послуг / *Парасюк С. В.* – Публ. 10.07.2013, Бюл. № 13, 2013 р. – 2 С.
5. *Пронина О. И.* Анализ моделей и технологий распределения транспортных услуг / *О. И. Пронина // Наукові праці Донецького національного технічного університету серія: «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка»,* 2016. – № 2 (23). – С. 86–90.
6. *Леоненков А. В.* Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / *А. В. Леоненков.* – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
7. *Масалович А. И.* Нечеткая логика в бизнесе и финансах / *А. И. Масалович // Тора Центр.* – Режим доступа: www.tora-centre.ru/library/fuzzy/fuzzy-.htm. – Дата обращения: 13 июня 2017.

8. *Губенко В. К.* Логистическая централизация материальных потоков: теория и методология логистических распределительных центров: Монография / *В. К. Губенко.* – Донецк : Институт экономики и промышленности, 2007. – 495 с.
9. Классы автомобилей. – Режим доступа: <https://driver.yandex/классы-автомобилей/>. – Дата обращения: 1 мая 2017.
10. Ресурс автомобиля: Какой пробег делает покупку б/у авто нецелесообразной? – Режим доступа: https://auto.ria.com/news/first_auto/231440/resurs-avtomobilya-kakoj-probeg-delaet-pokupku-b-u-avto-necesoesobra.html. – Дата обращения: 13 июня 2017.

References (transliterated)

1. *Nagorny E. V.* *Matemoticheskiye metody i modeli resheniya zadach analiza, modelirovaniye upravleniya dlya obektov transportnykh rinkov* [Mathematical methods and models for solving analysis problems, control modeling for transport ribbon objects]. Kharkov, KhNADU Publ., 2004. 70 p.
2. *Zabara S. S., Dekhtyaruk M. T.* *Avtomatizovana sistema upravlinnya transportnimi perevezennyami* [Automated control system for transport vehicles]. *Sistenni doslidzhennya ta informatsiyni tekhnologii*. 2014, no 2., pp.18–28.
3. *Eldarkhanov H. U.* *Logistika: upravleniye gorodskim gruzodvizheniyem* [Logistics: management of urban gruzodvizheniem], Tambov, Gramota Publ., 2008. 143 p.
4. *Parasiuk S. V.* *Sposib obrobky ta rozpodilu zamovlen' transportnykh posluh* [The method of processing and distribution of orders transport services]. Patent UA, no. 82013, 2013, 2 p.
5. *Pronina O. I.* *Analiz modeley i tekhnologiy raspredeleniya transportnykh uslug* [Analysis of models and technologies for distribution of transport services]. *Naukovi pratsi Donets'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu seriya: "Informatyka, kibernetyka ta obchyslyval'na tekhnika"* [Scientific papers of Donetsk National Technical University Series: "Informatics, Cybernetics and Computer Science"], Publ., 2016, no 2(23). pp. 86–90.
6. *Leonenkov A. V.* *Nechetkoe modelyrovanye v srede MATLAB y fuzzyTECH* [Fuzzy modeling in the MATLAB and fuzzyTECH environment]. St. Petersburg, BHV-Petersburg Publ., 2005. 736 p.
7. *Masalovich A. I.* *Nechetkaya logika v biznese i finansakh* [Fuzzy logic in business and finance]. Available at: www.tora-centre.ru/library/fuzzy/fuzzy-.htm (accessed 13.06.2017)
8. *Gubenko V. K.* *Logisticheskaya tsentralizatsiya material'nykh potokov: teoriya i metodologiya logisticheskikh raspredelitel'nykh tsentrov: Monografiya* [Logistic centralization of material flows:

- theory and methodology of logistics distribution center]. Donetsk, Institut ekonomiki i promyshlennosti Publ., 2007. 495 p.
9. *Klassy avtomobiley* [Classes of cars]. Available at: <https://driver.yandex/классы-автомобилей/>. (accessed 1.05.2017)
10. *Resurs avtomobilya: Kakoy probeg delayet pokupku b/u avto netselesoobraznoy?* [Resource car: What mileage does buying a

used car inappropriate?]. Available at: https://auto.ria.com/news/first_auto/231440/resurs-avtomobilya-kakoj-probeg-delaet-pokupku-b-u-avto-neceseoobra.html (accessed 13.06.2017)

Поступила (received) 15.06.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Використання нечітких множин при визначенні класу автомобіля / О. І. Проніна, О. Є. П'ятикоп // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 28 (1250). – С. 41–48. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-0023.

Использование нечетких множеств при определении класса автомобиля / О. И. Пронина, Е. Е. Пятикоп // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 28 (1250). – С. 41–48. – Библиогр.: 10 назв. – ISSN 2079-0023.

Using fuzzy sets in determining the class of the car / O.I. Pronina, E.E. Pyatikop // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No. 28 (1250). – P. 41–48. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-0023.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Проніна Ольга Ігорівна – асистент кафедри «Комп'ютерних наук» Державного Вищого Навчального Закладу «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь; тел.: (067) 257-76-37; e-mail: pronina.lelka@gmail.com.

Пронина Ольга Игоревна – асистент кафедри «Компьютерных наук» Государственного Высшего Учебного Заведения «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь; тел.: (067) 257-76-37; e-mail: pronina.lelka@gmail.com.

Pronina Olga Igorivna – Assistant of the Chair of "Computer Sciences" of the State Higher Educational Institution "Priazovsky state technical university", Mariupol; tel.: (067) 257-76-37; e-mail: pronina.lelka@gmail.com.

П'ятикоп Олена Євгенівна – кандидат технічних наук, доцент, Державний Вищий Навчальний Заклад «Приазовський державний технічний університет», доцент кафедри «Комп'ютерні науки»; тел.: (098) 112-86-69; e-mail: pyatikopalena@gmail.com.

Пятикоп Елена Евгеньевна – кандидат технических наук, доцент, Государственное Высшее Учебное Заведение «Приазовский государственный технический университет», доцент кафедры «Компьютерные науки»; тел.: (098) 112-86-69; e-mail: pyatikopalena@gmail.com.

Pyatikop Elena Evgenievna – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, State Higher Educational Institution "Priazovsky state technical university", Associate Professor at the Department of "Computer Sciences"; tel.: (098) 112-86-69; e-mail: pyatikopalena@gmail.com.

УДК 519.2

T. A. DRACH, A. E. GOLOSKOKOV

AN INTELLECTUAL COMPONENT RECOGNITION FOR SECURITY SUBSYSTEM

Виявлено та обґрунтовано загальну структуру алгоритмів, які застосовуються у сфері розпізнавання. На основі проведеного дослідження пропонується створити математичне та алгоритмічне забезпечення задачі розпізнавання образів, яке буде забезпечувати швидкість та високу ймовірність розпізнавань. Проведено порівняльний аналіз методів та підходів до вирішення задачі знаходження та ідентифікації обличчя людини на зображенні. Запропоновано модифікований алгоритм масштабування та кластеризації зображення.

Ключові слова: розпізнавання обличчя, кластеризації, ідентифікація, інформативні ознаки, згоральна нейронна мережа.

Виявлено и обосновано общую структуру алгоритмов, применяемых в сфере распознавания. На основе проведенного исследования предлагается создать математическое и алгоритмическое обеспечение задачи распознавания образов, которое будет обеспечивать быстрдействие и высокую вероятность распознавания. Проведен сравнительный анализ методов и подходов к решению задачи нахождения и идентификации лица человека на изображении. Предложен модифицированный алгоритм масштабирования и кластеризации изображения.

Ключевые слова: распознавания лиц, кластеризации, идентификация, информативные признаки, сверточная нейронная сеть.

Discovered and proved the overall structure of the algorithms used in pattern recognition. A comparative analysis of methods and approaches to solving the problem of finding and identifying human face on the image. A modified algorithm for image scaling and clustering, which reduces the number of informative tracts candidates for the location of the research object (human face) is proposed. It is established that the use of neural networks coagulation makes a small number of errors in a large number of coagulation and other layers. It is established that the network has a large invariance to position the face in the picture. In consequence of that generalization ability higher than the multilayer perceptron. Evaluating the effectiveness of probabilistic systems showed that the use of the proposed approaches and algorithms enables a high probability likely face recognition (93%). Results of the study can be used in the development of automated systems for access: a personal computer, a bank account, application to access data on the image of a human face in miniature devices where there is no possibility to embed common hardware identification.

Keywords: recognition system, optimization, machine learning, image, information criterion, functional efficiency.

Introduction. With the development of computer technology it became possible to solve a number of problems arising in the process of vital activity, to facilitate, accelerate, improve the quality of the result. For example, the work of various life support systems, human-computer interaction, the emergence of robotic systems.

Recognition systems become an integral and very important part of automated control systems for the shop, plant, industry, since in order to manage the optimal way, it is necessary to have information about the phenomena and processes in the system, is formed, in particular, as a result of the functioning of the corresponding recognition systems.

Human face recognition systems are now being increasingly used in those applications where access to information is differentiated, as well as in security systems. A major problem facing computer vision systems is the large variability of visual images associated with changes in illumination, scales, viewing angles. In addition, people have a habit of walking around the streets and in the premises dressed, which leads to significant variability in the images of the same person.

The results of the research can be used in the development of automated access systems: a personal computer, a bank account. The use of access to data on the image of a person's face in miniature devices, where it is not possible to embed conventional technical means of identification.

Description of the research object. Person identification subsystems for face recognition are widely used in automated security systems (large enterprises, large airports, metro) for the purpose of identifying individuals. This recognition technology, unlike the use of biometric features (fingerprints, the shell of the eye), does not re-

quire physical contact with the device and is the most suitable for mass use.

The search and identification of a person is made only in the event of the availability of data about it (name, date of birth, gender). An effective search option can be the method of identifying a person by her photo.

Correctly described features of the investigated object (human face) provide an efficient and fast operation of the application.

One of the effective methods for describing the characteristics of a person is the method of geometric characteristics, which was originally used in forensic science. The essence of the method is as follows. It is necessary to isolate the key points of the research object, and then the feature sets. Each feature is the ratio of the distances between the key points or simply the distance between them.

The authors identified the most significant informative features. This is illustrated by Figure 1.

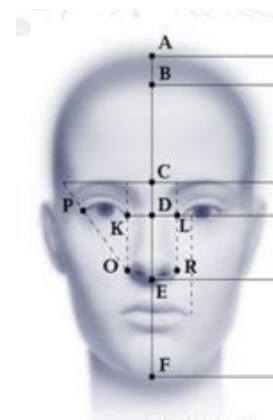


Figure 1 –Characteristics of the research object

The description of the features is given in Table 1.

Table 1 – The most informative signs

Plot of land	Units	Description
BC	MM	Distance from the beginning of hair growth to the eyebrow
CE	MM	From the eyebrow to the tip of the nose
EF	MM	From the tip of the nose to the chin
AD	MM	From the highest point of the head to the eye line
DF	MM	From the line of the eyes to the chin
KL	MM	Distance between the inner corners of the eye
PK	MM	Length of the eye
OR	MM	Nose width
BF	MM	Height of the face
AF	MM	Head height

An important point to be noted is the aging of the organism, characteristic of the human nature, the growth of hair and the variability of facial expressions, as well as scars and other artificial changes. This all prevents recognition, therefore, selected features of the object that are minimally dependent on these factors [1].

The distinguished features are qualitative, stationary, not stochastic.

Also, the attributes are dependent, for example, the KL region should be smaller than the DF portion by about three times.

Purpose and objectives of the study. Statement of the research task. Safety is an important component of human life. A person faces the task of protecting a room (production, office or home).

To date, CCTV cameras have been installed in all large credit institutions, diverse trading enterprises and public entities.

Personality, information and material values are the main objects of protection of the security system.

One of the effective security systems is the pattern recognition system.

The formulation of the problem was formulated as follows. There are 50 photos (10 photos for 5 different people). All photos have a size of 600 × 600 pixels. When a particular person appears in front of the webcam, the system must determine if there is a face image in the field of view. Next, determine whether the image is the face of a particular person from those that are stored in the database. And after that, carry out identification and make a decision.

Materials and methods for solving the research problem. The authors analyzed the main methods of identifying a human face, identified the advantages and disadvantages of each of them. During the analysis, the overall structure of the recognition process was identified. It was found that the algorithms analyzed differ only in how the features are found and compared. At the initial stage, the object is detected and localized on the image. At the recognition stage, the image is aligned, then the

characteristics are calculated and the found characteristics are compared with the standards set in the database.

As a result of the analysis of methods and approaches to the solution of the problem, the authors selected the most effective for solving the research problem. Namely, one of the approaches, based on neural networks, is the convolutional neural networks.

In order for the neural network to be trained, it is necessary to form a set of learning examples. Key features are extracted by themselves, during training. Further, the importance of the found features is established and the mutual dependence of their individual characteristics is found. When the network is already trained, it is assumed that it can apply the experience obtained to previously unknown images due to generalizing abilities [2].

The convoluted neural network has a peculiar peculiarity, it consists in the following. The limited two-dimensional connectivity of neurons is provided by local receptor fields, and common weights guarantee the detection of certain traits anywhere in the image.

As can be seen from Figure 2, the architecture of a convolutional neural network consists of a number of layers that are periodically repeated. Select the convolution and sub-sampling layers.

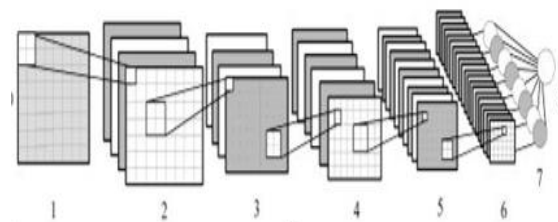


Figure 2 – Neural network architecture: 1 – entrance; 2, 4, 6 – convolutional layers; 3, 5 – select layers; 7 – layer of ordinary neurons; 8 – exit

Each layer has a set of planes, neurons of the same plane have equilibrium coefficients of the synapse weights that lead to all local sections of the previous layer. The local receptor field gives inputs to each layer neuron, that is, the input image of the previous layer is scanned as a small window and passed through a set of synaptic coefficients, and the result is mapped to the corresponding neuron of the current layer. A set of planes is a map of characteristics, and each plane finds "its" parts of the image anywhere in the previous layer [3].

The scale of the planes is reduced by the sub-sample layer, that is, the values of the neurons at the output are averaged. More general characteristics are extracted by the following layers.

Scaling and clustering an image. When the system finds an object (person's face) on the image, then the searched area is marked with a rectangle. The main difficulty is the fact that in one image several informative candidate plots can be found for the location of the object. An illustrative example of such recognition is shown in Figure 3.

In order to minimize such errors, as well as increase the probability that the investigated object will be highlighted in the image, it is suggested to use scaling and clustering.



Figure 3 – Example of highlighting informative candidates in the image

The scaling process is that the original image is methodically scaled with a factor of 1.2 to 0.8. In consequence of this process, we obtain five images with different scales [4].

Due to the scaling process, the same image takes different sizes, that is, the structure of some of the image elements is partially changed. Proceeding from this, each of the scaled images has its own distinct candidate areas, not all of which can coincide on some of the five scaled images.

After the above process, the resulting images are scanned by the neural network. She finds and allocates candidates in each image. All these areas can be characterized by a set of parameters: the coordinates of the center of the site, the width and height, the recall of the neural network for the area found. After scaling relative to the original image, the candidates are compared. They are superimposed on each other and overlapping candidate areas are clustered together. Candidate plots that are not included in the clusters are considered false and are not accepted.

Image recognition. After the system has determined the location of the object, it must be recognized.

At the input of the convolutional neural network, there is a photograph of the person, on which recognition is carried out.

After that, the incoming image is viewed by a local receptive field, the information of each receptive field is transformed by the function and written to each neuron of the next layer. The above process is repeated in each of the neural network layers. After the neural network has extended the characteristics of the image, the process of establishing the output of the network corresponds to one of the classes of images stored in the database. This process is called teaching with the teacher [5].

Estimation of the effectiveness of probabilistic recognition systems. This algorithm is used for the developed system to work with objects that can be used to evaluate the effectiveness of probabilistic recognition systems based on mathematical modeling. To conduct such tests, a mathematical model of the functioning of the recognition system can serve.

To conduct each test with the help of a random number generator, an object model is formed, the belonging of which to a certain class is known in advance.

Formation of the model of the object is carried out by setting a set of numerical values of the characteristics x_1, x_2, \dots, x_n , which for objects from the class Ω_i are generated as realizations of a multidimensional random variable with a given distribution law $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ by one of the known algorithms.

Before entering the input of the recognition algorithm, the numerical values of the parameters x_1, x_2, \dots, x_n , which represent an object that is recognized, are subject to random distortions, which simulates the result of the impact of various obstacles in the process of determining the characteristics x_1, x_2, \dots, x_n with the use of appropriate technical means with certain characteristics of accuracy. Distorted value x_1, x_2, \dots, x_n , which represent the object observed in the form in which it is perceived by the system, arrive at the input of the recognition unit, which determines the belonging of the object to one of the classes Q_1, Q_2, \dots, Q_m . Matches the number of the class to which the object belongs with the recognition unit, with the "true" number, that is, with the one set at the first stage of object formation, determines the correctness of object recognition and systematizes the relevant information to calculate the probability estimates of the correct and erroneous solutions. When recognizing objects from a class Q_i probability evaluation w_i the correct answer is the ratio of the number of correct answers N_{pr}^i to the total number of tests N^i over objects of a class Q_i :

$$w_i \approx \frac{N_{pr}^i}{N^i}, \quad (1)$$

Number of tests N^i is determined by the confidence probability given in the formulation of the research task. The considered statistical model allows to find the dependence of the system efficiency index W from the type and number of attracted for recognition indications x_1, x_2, \dots, x_n and accuracy of technical means k_1, k_2, \dots, k_s , which are equipped with the recognition system:

$$W = W(x_1, x_2, \dots, x_n; k_1, k_2, \dots, k_s) \quad (2)$$

The information contained in (2) – output for tasks on determining the composition of technical means of observing the recognition system, the necessary accuracy of their work.

Conclusions. A comparative analysis of approaches and methods to solving the problem of detecting and identifying a person's face on an image is conducted, their advantages and disadvantages are considered. As the most effective approach is chosen using convolutional neural networks. A method for selecting a face in an image by its features is proposed. A modified algorithm for scaling and image clustering is proposed, which is used to prepare the image for recognition. The mathematical and algorithmic

support of the procedure for solving the research problem is developed.

Bibliography

1. *Edwards G. J.* Face Recognition Using Active Appearance Models / *G. J. Edwards, T. F. Cootes, C. J. Taylor* // ECCV'98. Proceedings of the 5th European Conference on Computer Vision. Freiburg, Germany, June 2–6 1998. – Vol. II. – Heidelberg : Springer, 1998. – P. 581–595.
2. *Головко В. А.* Нейроинтеллект: Теория и применения. Книга 1. Организация и обучение нейронных сетей с прямыми и обратными связями / *В. А. Головко*. – Брест: БПИ, 1999. – 260 с.
3. *Гультяева Т. А.* Распознавание лиц с использованием скрытых марковских моделей / *Т. А. Гультяева, А. А. Попов* // Наука. Технологии. Инновации. НТИ-2004: Материалы всероссийской науч. конф. мол. ученых. - Ч. I. - Новосибирск: НГТУ, 2004. – с. 159–160.
4. *Haddadnia J.* Human face Recognition Using Radial Basis Function Neural Network / *J. Haddadnia, K. Faez* // Proc. of 3rd Int. Conf. on Human and Computer. Aizu, Japan, 6–9 Sept. 2000. – P. 137–142.
5. *Резник А. М.* Система проектирования модульных нейронных сетей САПР МНС / *А. М. Резник, М. Э. Куссуль, А. С. Сычев, Е. Г. Садовая, Е. А. Калина* // Математические машины и системы. – 2002. – № 3. – С. 28 – 37.

References (transliterated)

1. *Edwards G. J., Cootes T. F., Taylor C. J.* Face Recognition Using Active Appearance Models. *ECCV'98. Proceedings of the 5th European Conference on Computer Vision. Freiburg, Germany, June 2–6 1998. Vol. II.* Heidelberg, Springer Publ., 1998, pp. 581–595.
2. *Golovko V. A.* *Nejrointellekt: Teorija i primenenija. Kniga 1. Organizacija i obuchenie nejronnyh setej s prjamymi i obratnymi svjazami* [Neurointelligence: Theory and Applications. Book 1. The Organization and Training of Neural Networks with Direct and Reverse Links]. Brest, BPI Publ., 1999. 260 p.
3. *Gulytaeva T. A., Popov A. A.* Raspoznavanie lic s ispol'zovaniem skrytyh markovskih modelej [Face Recognition Using Hidden Markov Models]. *Nauka. Tehnologii. Innovacii. NTI-2004: Materialy vsersijskoj nauch. konf. mol. uchenyh. Ch. I* [Science. Technologies. Innovation. STI-2004: Proceedings of the All-Russian Scientific Conference. Conf. Young scientists. Part I.]. Novosibirsk, Novosibirsk State Technical University Publ., 2004. pp. 159–160.
4. *Haddadnia J., Faez K.* Human face Recognition Using Radial Basis Function Neural Network. *Proc. of 3rd International Conf. on Human and Computer. Aizu, Japan, 6–9 Sept. 2000*, pp. 137–142.
5. *Reznik A. M., Kussul' M. Je., Sychev A. S., Sadovaja E. G., Kalina E. A.* Sistema proektirovanija modul'nyh nejronnyh setej SAPR MNS [The system design of modular neural networks of the CAD MNS]. *Matematicheskije mashiny i sistemy*. 2002, no. 3, pp. 28–37.

Received 23.05.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Інтелектуальна компонента розпізнавання образів у підсистемах безпеки / Т. О. Драч, О. Є. Голоскоков // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 28 (1250). – С. 49–52. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-0023.

Интеллектуальная компонента распознавания в подсистемах безопасности/ Т. А. Драч, О. Е. Голоскоков// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 28 (1250). – С. 49–52. – Библиогр.: 5 назв. – ISSN 2079-0023.

An intellectual component recognition for security subsystem/ Т. О. Drach, А. Е. Goloskokov // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No. 28 (1250). – P. 49–52. – Bibliogr.: 5. – ISSN 2079-0023.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Драч Тетяна Олександрівна – студент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», кафедра програмної інженерії та інформаційних технологій управління, м. Харків, Україна, тел.: (093) 902-68-41; e-mail: tatianadrach_if32b@mail.ru.

Драч Татьяна Александровна – студент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», кафедра программной инженерии и информационных технологий управления, г. Харьков, Украина, тел.: (093) 902-68-41; e-mail: tatianadrach_if32b@mail.ru.

Drach Tetjana Oleksandrivna – student, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Department of Program Engineering and Information Technology Management, Kharkiv, Ukraine, tel.: (093) 902-68-41; e-mail: tatianadrach_if32b@mail.ru.

Голоскоков Олександр Євгенович – кандидат технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри ПІІТУ тел.: (066) 268-84-48; e-mail: goloskokov@ukr.net.

Голоскоков Александр Евгеньевич – кандидат технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», профессор кафедры ПИИТУ тел.: (066) 268-84-48; e-mail: goloskokov@ukr.net.

Goloskokov Oleksandr Evgenovich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Professor at the Department of PIITU tel.: (066) 268-84-48; e-mail: goloskokov@ukr.net.

УДК 621.384.6

А. С. МАЗМАНИШВИЛИ, Н. Г. РЕШЕТНЯК

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ В РАДИАЛЬНОМ И ОСЕВОМ НАПРАВЛЕНИЯХ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА, ЭМИТИРОВАННОГО ВТОРИЧНОЭМИССИОННОЙ МАГНЕТРОННОЙ ПУШКОЙ

Представлено експериментальні дані і результати чисельних розрахунків по генерації електронного пучка енергії 55 кеВ магнетронною гарматою з вторинноemisійним катодом. Вивчено формування розподілу пучка при транспортуванні в спадаючому магнітному полі соленоїда. Транспортування пучка здійснювалася в системі, що складається з мідних кілець, зміщеною від зрізу магнетронної гармати. Вивчена залежність підсумкового вертикального розподілу на внутрішній стінці циліндричної мішені і циліндрі Фарадея від розподілу магнітного поля уздовж осі системи. Наводяться результати чисельного моделювання руху трубчастого електронного потоку. Отримані результати моделювання узгоджуються з даними експерименту.

Ключові слова: електронний пучок, магнетронна гармата, магнітне поле, чисельне моделювання електронного потоку, управління радіальним рухом електронного пучка.

Представлены экспериментальные данные и результаты численных расчетов по генерации электронного пучка энергии 55 кэВ магнетронной пушкой с вторичноemisсионным катодом. Изучено формирование распределения пучка при транспортировке в спадающем магнитном поле соленоида. Транспортировка пучка осуществлялась в системе, состоящей из медных колец, смещенной от среза магнетронной пушки. Изучена зависимость итогового вертикального распределения на внутренней стенке цилиндрической мишени и цилиндра Фарадея от распределения магнитного поля вдоль оси системы. Приводятся результаты численного моделирования движения трубчатого электронного потока. Полученные результаты моделирования согласуются с данными эксперимента.

Ключевые слова: электронный пучок, магнетронная пушка, магнитное поле, численное моделирование электронного потока, управление радиальным движением электронного пучка.

Experimental data and results of numerical calculations on the generation of an electron beam of energy 55 keV by a magnetron gun with a secondary-emission cathode are presented. The formation of the beam distribution during transport in a decreasing magnetic field of a solenoid is studied. The beam was transported in a system consisting of copper rings displaced from the shear of the magnetron gun. The dependence of the final vertical distribution on the inner wall of the cylindrical target and the Faraday cylinder on the distribution of the magnetic field along the axis of the system is studied. The results of numerical simulation of the motion of a tubular electron beam are presented. The obtained results of the simulation are consistent with the experimental data.

Keywords: electron beam, magnetron gun, magnetic field, numerical simulation of the electron beam, control of the radial motion of the electron beam.

Введение. Изучение электронных пучков различной конфигурации и интенсивности связаны с их применением в высоковольтной импульсной СВЧ электронике, электронно-лучевых технологиях, ускорительной технике и т.д. [1, 2]. На практике разрабатываются и внедряются в промышленное производство пучковые технологии обработки материалов. Для решения этих задач широко используются ускорители интенсивных электронных пучков с энергией электронов 100...400 кэВ [3, 4].

В НИЦ ХФТИ проводятся исследования с источниками электронов с холодными катодами, работающими в режиме вторичной эмиссии. В качестве источника электронов используется магнетронная пушка. На основе магнетронной пушки со вторично-emиссионным катодом создан ускоритель электронов [5], в котором используется осевой электронный пучок для облучения металлических мишеней [6].

В данной работе представлены результаты исследований по формированию в радиальном и осевом направлениях электронного пучка, генерируемого магнетронной пушкой, при его транспортировке в спадающем магнитном поле соленоида, и построена математическая модель движения электронного потока в этом поле.

Экспериментальная установка и методика исследований. На ускорителе электронов проведены исследования по формированию радиального элек-

тронного пучка магнетронной пушкой с вторично-emиссионным катодом. Основное магнитное поле для генерации и транспортировки пучка создавалось соленоидом, состоящим из 4 катушек М1, М2, М3, М4. Регулируя ток в катушках соленоида можно было изменять амплитуду и продольное распределение магнитного поля вдоль оси системы, а также скорость спада магнитного поля соленоида.

На рис. 1 приведены три распределения продольного магнитного поля вдоль оси магнетронной пушки и канала транспортировки (кривые Н1, Н2, Н3), при которых проводились эксперименты.

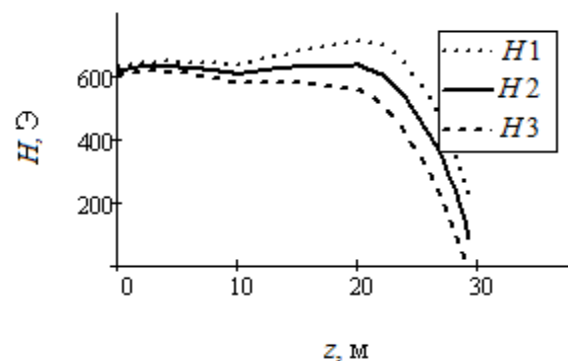


Рис. 1 – Розподілення продольного магнітного поля вздовж осі магнетронної пушки і каналу транспортування пучка

Транспортировка пучка осуществлялась в системе, состоящей из 14 медных колец с внутренним диаметром ~66 мм, находящейся на расстоянии ~85 мм от среза магнетронной пушки. Ширина колец 8 мм, расстояние между ними 1,5 мм. На середине 6-го кольца располагался цилиндр Фарадея, который служил для измерения тока в осевом направлении.

Кроме того, для локального изменения скорости спада магнитного поля соленоида использовалось рассеянное магнитное поле, создаваемое кольцевыми магнитами из материала SmCo5, размещенными на оси системы за цилиндром Фарадея.

Приведенные на рис. 1 кривые амплитудного распределения получены путем изменения магнитного поля, создаваемого катушкой М4. При этом поле $H1$ создавалось путем суммирования поля катушки М4 и остальных катушек, $H3$ – путем вычитания поля М4 из поля остальных катушек, наконец, поле $H2$ создавалось при выключенной катушке М4. Далее удобно пользоваться параметром вариации k таким, что $-1 \leq k \leq 1$. Тогда, варьируя ток в катушке М4, можно было получать поле H_k такое, что

$$H_k = H2 + k(H1 - H2), \quad (1)$$

при этом $H1 = H_{+1}$ и $H3 = H_{-1}$.

Подготовка данных к математическому моделированию. Из нижеприведенных уравнений движения электрона в магнитном поле (5) следует, что амплитуду $f(z)$ магнитного поля как функцию продольной координаты z необходимо задавать в аналитическом виде. То же относится и к её производной $\partial f(z)/\partial z$. Поэтому для проведения моделирующих расчетов была составлена отдельная процедура, позволяющая на основании измеренного массива магнитного поля (рис. 1) восстанавливать распределение амплитуды магнитного поля вдоль оси z . Аналитическое представление для этих функций возможно восстановить, опираясь на формулу

$$A(z) = \frac{z - z_r}{4\sqrt{(z - z_r)^2 + R^2}} - \frac{z - z_l}{4\sqrt{(z - z_l)^2 + R^2}}, \quad (2)$$

в которой $A(z)$ – соленоидальная функция магнитного поля, R – радиус, z_l и z_r – левая и правая границы катушки, и аналогично для каждого из катушек. Набор из M экземпляров такого рода соленоидальных функций не образует полного базиса, пригодного для решения. Однако если учесть, что катушки следуют последовательно вдоль оси z , а левые и правые фронты спада магнитного поля в каждой из них достаточно малы относительно продольных размеров, то можно принять, что в совокупности свойства каждой из этих функций близки к свойствам тета-функций Хэвисайда, пригодных для использования их в качестве базиса.

Сопоставляя имеющиеся две группы данных, можно записать уравнения для амплитуд магнитного

поля $\{H_m\}$ в каждой из точек измерения $\{z_n\}$, $n = 0, 1, \dots, N$, вдоль оси z :

$$\sum_{m=1}^M H_m A_m(z_n) = X_n, \quad (3)$$

в которых последовательностью $\{X_n\}$, обозначена совокупность результатов измерения объемом $N + 1$. В качестве решения можно рассматривать набор оценок значений величин $\{H_m\}$, $m = 0, 1, \dots, M$.

На рис. 2 приведен результат выполненного восстановления на примере поля $H2$, характеризующий качество аппроксимации.

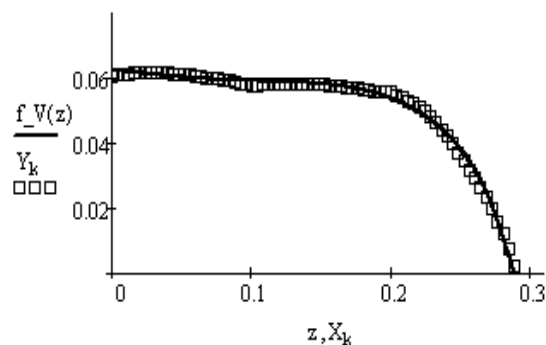


Рис. 2 – Пример аппроксимации амплитуды магнитного поля вдоль оси z ; квадратики – поле $H2$, линия – результату аппроксимации $f_V(z)$

На основании полученного аналитического выражения для функции аппроксимации $f_V(z)$ соответствующую производную $\partial f(z)/\partial z$ можно получить, опираясь на выражение (2).

Пример результата расчетов, в которых использовано аналитическое выражение для производной $dA(z)/dz$, основанное на формуле (2), приведен на рис. 3.

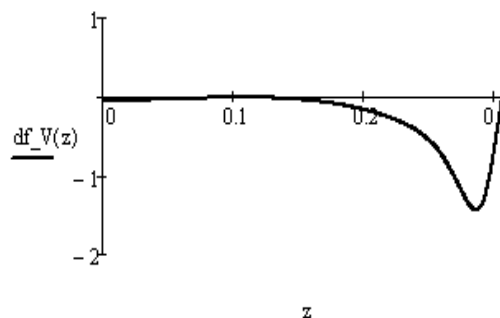


Рис. 3 – Пример результата расчета производной $dA(z)/dz$, основанного на аналитической формуле

В качестве начальных условий для электронного пучка принималось: начальный радиус $r_0 = 20$ мм (средний радиус кольца эмиссии); $z_0 = 14$ мм (место эмиссии по вертикали); координата z'_0 определялась энергией частиц. При этом начальное распределение

по азимуту ϑ_0 задавалось равномерным на $(0, \pi)$, а разброс отклонения частиц по радиусу r_0 подчинялся нормальному закону со среднеквадратическим отклонением $\Delta r_0 = 1$ мм.

Эскиз двумерной нормальной плотности распределения эмитируемых $N = 500$ частиц в (x, y) -плоскости катода с параметрами $r_0 = 20$ мм и $\Delta r_0 = 1$ мм приведен на рис. 4.

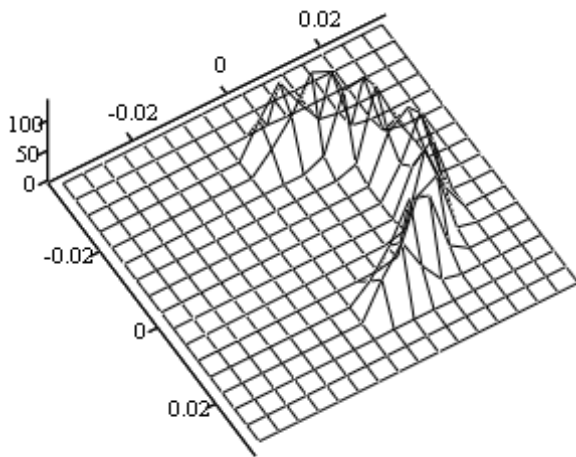


Рис. 4 – Плотность распределения электронов в (x, y) -плоскости катода пушки

Математическое моделирование. Для понимания и интерпретации физических процессов, сопровождающих механизм такого формирования электронного пучка, был проведен теоретический анализ.

Постановка задачи. Рассматривается задача, в которой поток электронов с энергией E , движущихся параллельно оси (или под углом к ней) на некотором расстоянии r_0 от неё на старте, распространяется в заданном соленоидальном магнитном поле. Требуется определить координату Z на заданном радиусе R для каждого из электронов. Обобщением является та же задача, но для пучка исходных электронов с заданным стартовым распределением по r_0 и по направлениям r'_0 , а также по другим начальным координатам.

С вычислительной точки зрения задача может быть сформулирована как задача Коши, то есть задача нахождения решений системы обыкновенных дифференциальных уравнений с заданными начальными условиями.

Гамильтониан рассматриваемой задачи в полярной системе координат (r, z, ϑ) имеет вид

$$H = \frac{p_r^2 + p_z^2}{2m} + \frac{1}{2m} \left(\frac{p_\vartheta}{r} - e_0 A \right)^2, \quad (4)$$

где e_0 , m – заряд и масса покоя электрона, p_r , p_z , p_ϑ – канонические импульсы, A – магнитный потенциал, который с учетом азимутальной симметрии записывается в виде $A = A(r, z) = Brf(z)$,

где $f(z)$ – амплитудная функция магнитного поля, B – напряженность магнитного поля в начальной точке.

В результате для уравнений движения запишем

$$\begin{cases} \dot{r} = \frac{p_r}{m}, \\ \dot{z} = \frac{p_z}{m}, \\ \dot{\vartheta} = \frac{1}{m} \left(\frac{p_\vartheta}{r} - e_0 Brf(z) \right) \frac{1}{r}, \\ \dot{p}_r = -\frac{1}{m} \left(\frac{p_\vartheta}{r} - e_0 Brf(z) \right) \left(-\frac{p_\vartheta}{r^2} - e_0 Bf'(z) \right), \\ \dot{p}_z = -\frac{1}{m} \left(\frac{p_\vartheta}{r} - e_0 Brf(z) \right) \left(-e_0 Br \frac{\partial}{\partial z} f(z) \right), \\ \dot{p}_\vartheta = 0. \end{cases} \quad (5)$$

К уравнениям (5) необходимо присоединить начальные условия для r_0 , z_0 , ϑ_0 , а также для p_{r0} , p_{z0} , $p_{\vartheta0}$. Устойчивость численного алгоритма решения связана с шагом Δs , где $s = ct$ – пройденный частицей путь (t – текущее время, c – скорость света), и ларморовским параметром $\mu = e_0 B / mc$. Поэтому при выполнении условия $\mu \Delta s \ll 1$ обеспечивается сходимость численного решения системы к его аналитическому аналогу. Условие $\mu \Delta s \ll 1$ будет выполняться, если $\Delta s \ll 0.1$ мм.

При проведении численных расчетов использовался метод Рунге-Кутты. Было установлено, что относительная точность расчета была не хуже, чем 0.005.

Результаты моделирования и их обсуждение. Численно проведено изучение динамики движения электронов для количества частиц, равного $N = 1000$, в соленоидальном магнитном поле. При такой величине объема выборки по форме статистических гистограмм возможно получать информацию о различных характеристиках пучка частиц и судить о виде соответствующих плотностей распределения частиц.

Условия расчетов выбирались в различных вариантах, связанных с возможностью вариации магнитного поля. В настоящей работе приводятся данные, отвечающие магнитным полям с коэффициентами вариации $k = 0.4$ и $k = 0.9$, которые оказались наиболее интересными с точки зрения их интерпретации. Значения всех координат задавались фиксированными, кроме радиуса (средний начальный радиус, равный $r_0 = 20$ мм, и среднеквадратичное отклонение $\Delta r_0 = 1$ мм), а также азимутального угла вылета, равномерно распределенного на $(0, \pi)$.

Результатом расчетов будет являться набор из N траекторий электронов, отвечающих для каждого из них набору начальных условий (или пучок таких траекторий). Потребовав выполнения заданного условия, можно, зафиксировать значения других компонент траектории электрона и сформировать в

момент выполнения указанного условия распределение результирующего пучка.

На рис. 5 приведено семейство характеристик движения пучка частиц для параметра вариации магнитного поля $k = 0.4$.

На рис. 5, а показано распределение амплитуды поля, в котором частицы пучка, распространяясь вдоль оси z в спадающем магнитном поле, испытывают радиально-азимутальное движение.

Примеры горизонтальных сечений потока траекторий показаны на рис. 5, б, а набор из 10 траекторий – на рис. 5, в.

Из фазовой (r, z) -карты движения электронов, показанных на рис. 5 г, можно видеть схему дости-

жения частицей внутренней стенки мишени радиусом $r_U = 33$ мм.

Примеры зависимостей радиальной компоненты движения $r = r(s)$ от пройденного пути s для выбранных частиц с энергией $E = 55$ кэВ и начальным радиусом $r_0 = 20$ мм приведены на рис. 5, д, на которых также горизонтальной линией показан уровень достижения по радиусу значения радиуса мишени $r_U = 33$ мм.

На рис. 5, е показаны массивы $\{z_U\}$ объемом $N = 500$ значений координаты z , отвечающих условию попадания $z = z_U$.

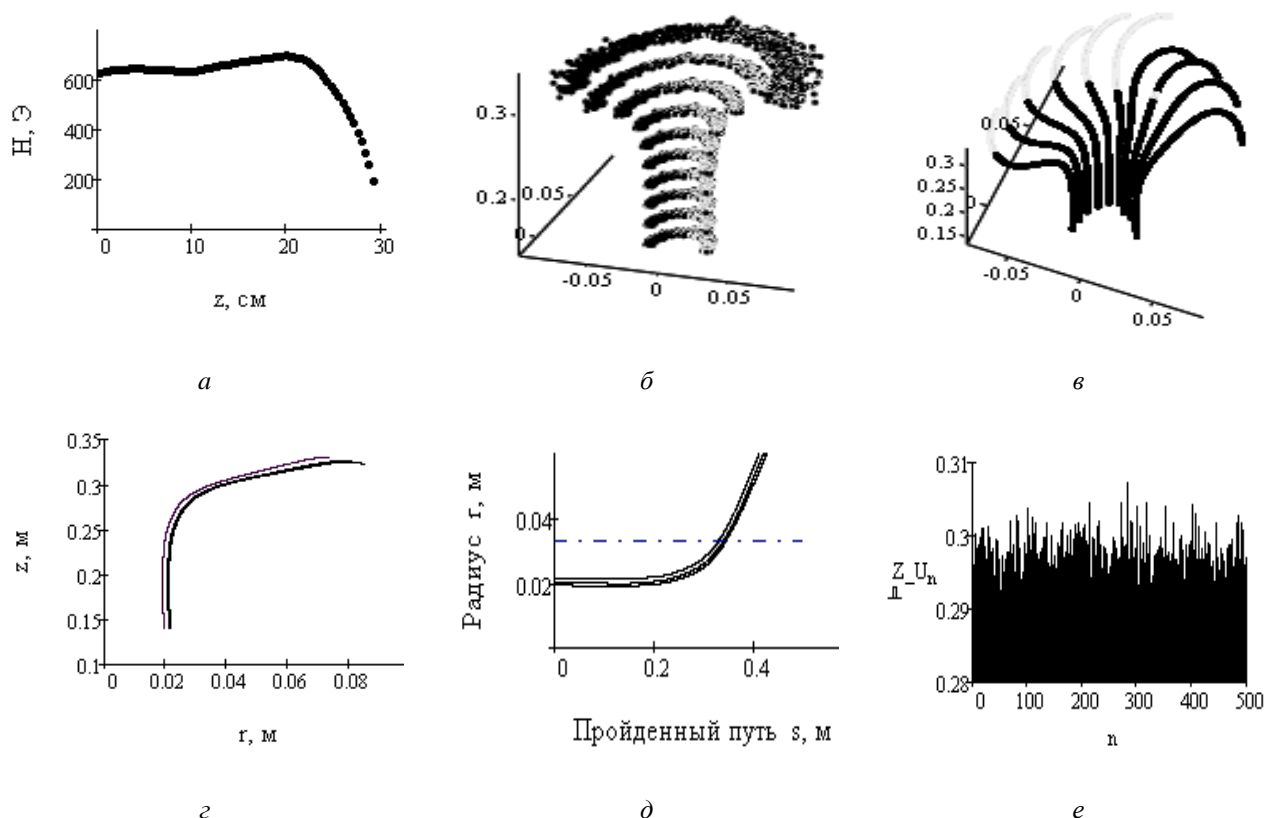


Рис. 5 – Расчетные характеристик пучка. Параметр поля $k = 0.4$; а – конфигурация магнитного поля; б – горизонтальные сечения пучка; в – траектории частиц; г – фазовая (r, z) -карта траекторий; д – зависимость радиальной компоненты движения r от пройденного пути s для выбранных частиц; е – массив значений координаты z при попадании на стенку

На рис. 6 приведены два сечения пучка частиц, отвечающие стартовому значению $r_0 = 20$ мм и значению на финише в момент достижения мишени стенки $r_U = 33$ мм. Видно, что вместе с радиальным движением частицы испытывают поворот по азимуту.

На рис. 7 показаны полученные гистограммы $G(z)$ распределения результирующего пучка для различных значений коэффициента управления k магнитного поля. Гистограммы построены для массива вертикальных значений z_U , отвечающих достижению радиального уровня r_U мм. Из расчетов следует, что для обоих вариантов магнитного поля

поток электронов попадает на вертикальный участок, протяженность которого Δz_U составляет единицы миллиметров.

Полученная концентрация обусловлена спадающим характером магнитного соленоидального поля и исходным распределением частиц по координате r_0 .

Сопоставление приводимых на рис. 8–9 данных эксперимента (токов на ламелях и цилиндре Фарадея) и численных результатов (гистограмм вертикальных значений z_U частиц при достижении ими заданного радиального уровня r_U мм) говорит о достаточно хорошем их соответствии.

Итак, обнаружено, что для рассматриваемых условий моделирования изменение конфигурации магнитного поля влияет только на общее смещение пучка электронов, но не приводит к заметному уширению вида итогового распределения потока частиц на стенке мишени по координате z .

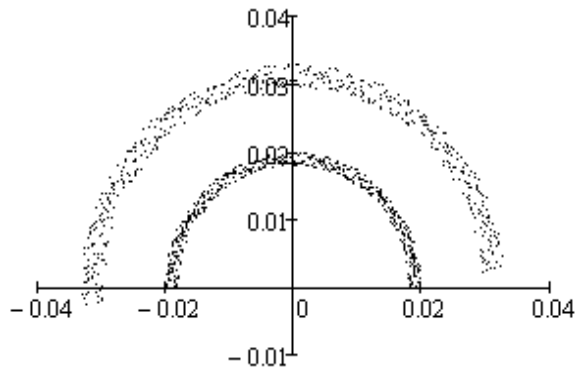


Рис. 6 – Поперечные сечения исходного массива частиц на старте ($r_0 = 20$ мм) и массива на финише ($r_U = 33$ мм)

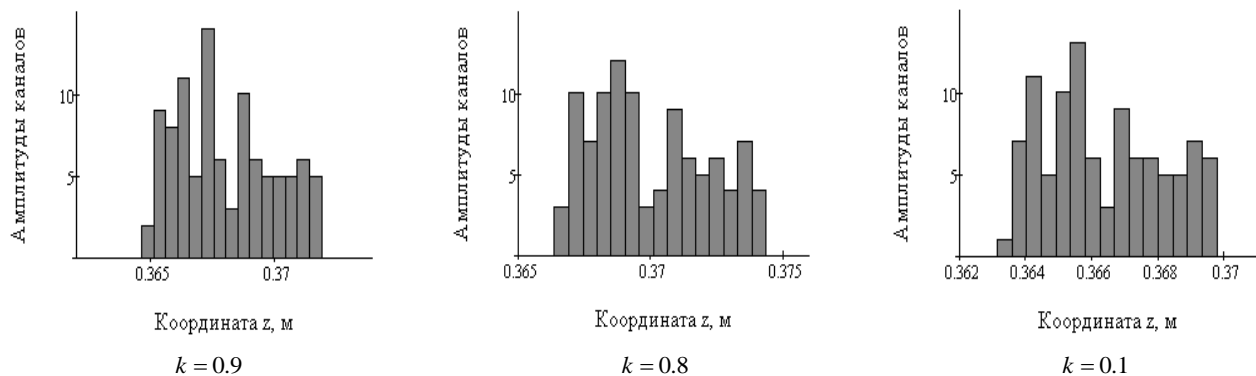


Рис. 7 – Гистограммы $G(z)$ вертикального распределения частиц при их попадании на внутреннюю стенку радиусом $r_U = 33$ мм для различных значений коэффициента управления k магнитного поля

В проведенных исследованиях в диапазоне энергий электронов 35...55 кэВ получено, что ток пучка в радиальном и осевом направлениях зависит от амплитуды и распределения магнитного поля вдоль оси системы транспортировки частиц. Полученные результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о возможности устойчивого формирования электронного пучка в радиальном направлении магнетронной пушкой с холодным вторичноэмиссионным катодом в спадающем магнитном поле соленоида.

Сопоставление приводимых на рис. 8–9 данных эксперимента (токов на ламелях и цилиндре Фарадея) и численных результатов (гистограмм вертикальных значений z_U частиц при достижении ими заданного радиального уровня r_U) говорит о достаточно хорошем их соответствии.

Итак, обнаружено, что для рассматриваемых условий моделирования изменение конфигурации магнитного поля влияет только на общее смещение пучка электронов, но не приводит к заметному

Результаты эксперимента и их обсуждение. На рис. 7 приведены гистограммы распределения токов в вертикальном направлении на ламелях и цилиндре Фарадея для различных распределений магнитного поля.

В экспериментах получено, что при распределении магнитного поля (параметр вариации $k = 0.4$), как видно из рис. 8, а, поток электронов регистрировался с 4-го по 6-е кольца и составлял ~50% тока пучка. Ток, идущий на цилиндр Фарадея, составлял ~50% тока пучка. Магнитное поле в области расположения колец было 420 Т.

С увеличением соленоидального магнитного поля ($k = 0.9$) практически весь поток электронов попадал на цилиндр Фарадея (рис. 9, а), при этом малая его часть попадала на 6-е кольцо и составляла ~5% тока пучка. Такой режим формирования пучка осуществлялся при магнитном поле в области расположения колец напряженностью 650 Э и градиентом спада поля 350 Э/см. Это не дало возможности изменить характер движения потока частиц с осевого на радиальный.

уширению вида итогового распределения потока частиц на стенке мишени по координате z .

В работе было выполнено исследование зависимости средней точки Z_{sr} распределения пучка на стенке мишени от коэффициента вариации k магнитного поля. Из рис. 10 можно видеть, что искомая зависимость носит монотонный и почти линейный характер, что указывает на возможность устойчивого регулирования места попадания пучка на мишень.

На рис. 11 приведены относительные интенсивности потоков частиц, попадающих на цилиндр Фарадея и на стенку мишени, в зависимости от коэффициента вариации k магнитного поля. Из рисунка видно, что при $k < 0.1$ практически все частицы попадают на стенку мишени. В расчетах рассматривался также вариант начальных условий с увеличенным значением среднеквадратичного отклонения пучка при эмиссии ($\Delta r_0 = 3$ мм). Для него влияние увеличения разброса на старте проявилось лишь в соответствующем уширении расчетной гистограммы попадания частиц на стенку мишени ($\Delta z_U = 15$ мм).

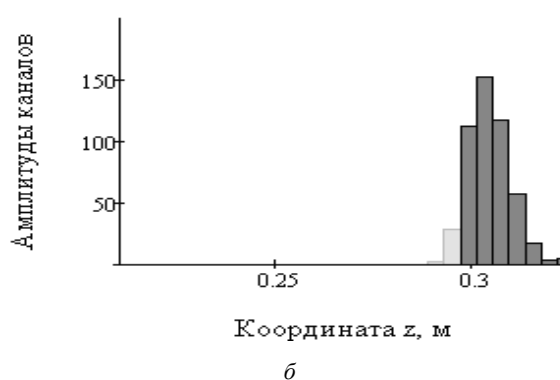
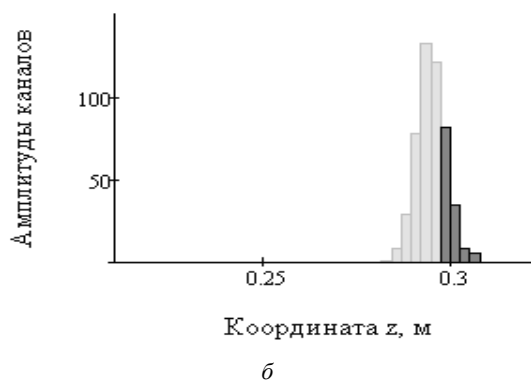
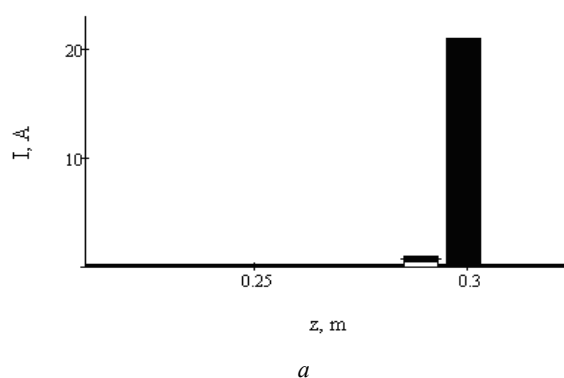
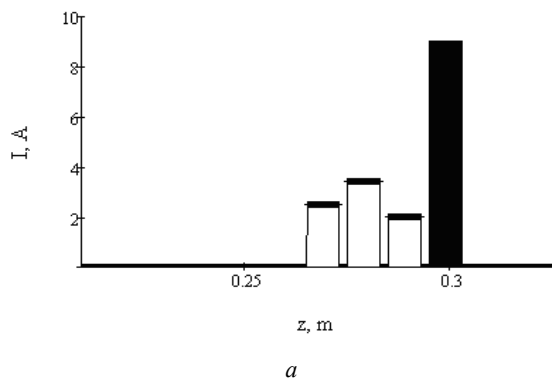


Рис. 8 – Распределения токов (а) и расчетные гистограммы попадания частиц на мишенную стенку (б). Черным цветом указано попадание на цилиндр Фарадея

Рис. 9 – Распределения токов (а) и расчетные гистограммы попадания частиц на мишенную стенку (б). Черным цветом указано попадание на цилиндр Фарадея

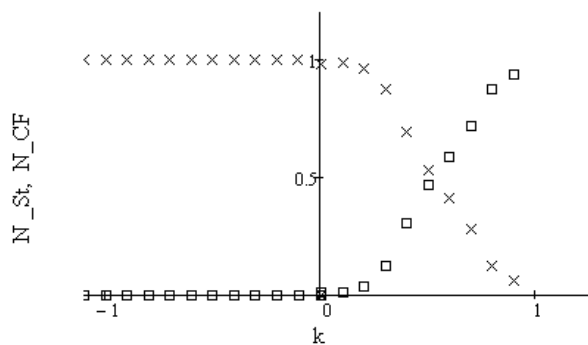
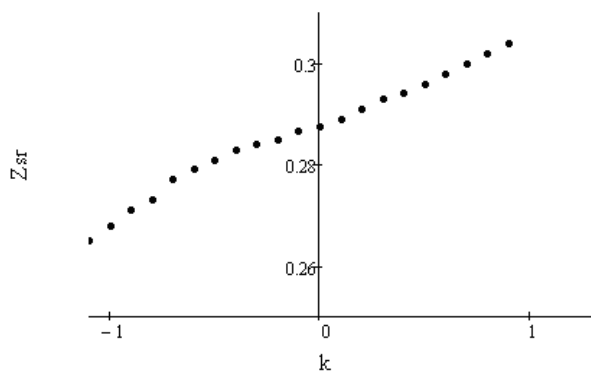


Рис. 10 – Зависимость средней точки Z_{sr} распределения пучка электронов на стенке мишени от коэффициента вариации k магнитного поля

Рис. 11 – Доли частиц, попадающих на цилиндр Фарадея (крестики) и на мишенную стенку (кружочки) в зависимости от коэффициента вариации k магнитного поля

При рассмотрении потоков частиц с фазовым объемом исходных величин увеличенного размера, в частности, с большим разбросом по импульсам, можно ожидать соответствующее увеличение вертикального участка Δz_U , на котором реализуется выполнение условия попадания.

Выводы. Из проведенных исследований следует, что возможно устойчивое формирование электронного пучка в радиальном и осевом направлениях при транспортировке в магнитном поле соленоида.

Экспериментально установлено, что величина тока в радиальном направлении и его распределение

вдоль металлических колец зависит от распределения магнитного поля вдоль оси системы. Численно получены решения прямой задачи моделирования траекторий электронов для заданных начальных условий и параметров системы. Показано, что поток электронов попадает на вертикальный участок, длина которого составляет несколько миллиметров. Полученные численные зависимости согласуются с экспериментальными результатами.

Таким образом, экспериментально установлена и численно изучена возможность регулировки места попадания пучка на вертикальную стенку при вариации амплитуды управляющего магнитного поля.

Список литературы

References (transliterated)

1. Saveliev Y. M. Self-excitation and characteristics of the crossed-fields emission electron source / Y. M. Saveliev, W. Sibbet, D. M. Parkes // Review of Scientific Instruments. – 1999. – Vol. 70, № 12. – P. 4502–4514.
2. Волколутов Ю. Я. Генерация электронных пучков в магнетронном диоде с металлическим вторичноэмиссионным катодом / Ю. Я. Волколутов, А. Н. Довбня, В. В. Закутин и др. // ЖТФ. – 2001. – Т 71. – В. 7. – С. 88–91.
3. Engelko V. Pulsed Electron Beam Facilities (GESA) for Surface Treatment / V. Engelko, G. Mueller, A. Andreev et al. Proceedings of the 10th International Conference on Applied Charged Particle Accelerations in Medicine and Industry. – St.-Petersburg. – 2001. – P. 412–417.
4. Школьников Э. Я. Сильноточный ускоритель электронов микросекундной длительности для радиационно-технологических целей / Э. Я. Школьников // Тр. XI Международного совещания применения ускорителей заряженных частиц в промышленности и медицине. – Санкт-Петербург. – 2005. – С. 126–128.
5. Довбня А. Н. Исследование формирования пучка в ускорителе электронов с вторичноэмиссионным источником / А. Н. Довбня, В. В. Закутин, Н. Г. Решетняк и др. // Вісник «ХНУ». Сер.: «Ядра, частинки, поля». – 2006. – №732, вып. 2(30). – С. 96–100.
6. Довбня А. Н. Модификация поверхности циркония и сплава Zr 1%Nb электронным пучком ускорителя на основе магнетронной пушки / А. Н. Довбня, С. Д. Лавриненко, В. В. Закутин и др. // ВАНТ. Серия «Физика радиационного материаловедения». – 2011. – №2(72), вып. 97. – С. 39–45.
1. Saveliev Y. M., Sibbet W., Parkes D. M. Self-excitation and characteristics of the crossed-fields emission electron source. *Review of Scientific Instruments*. – 1999. – Vol. 70, № 12. – pp. 4502-4514.
2. Volkolupov Yu. Ya. Dovbnya A. N., Zakutin V. V. Generacia elektronnih puchkov v magnetronnom diode s metalicheskim vtorichnoemissnym katodom [Generation of electron beams in a magnetron diode with a metallic secondary-emission cathode]. *GTF*, 2001, T 71, vol. 7, pp. 88–91.
3. Engelko V., Mueller G., Andreev A. Pulsed Electron Beam Facilities (GESA) for Surface Treatment. *Proceedings of the 10th International Conference on Applied Charged Particle Accelerations in Medicine and Industry*. St.-Petersburg, 2001, pp. 412–417.
4. Shkol'nikov E.Ya. Sil'notochniy uskoritel' elektronov mikrosekundnoy dlitel'nosti dlya radiacionno-tehnologicheskikh celey. *Tr. XI Megdunarodnogo sovetshaniya primeneniya uskoriteley zaryagennih chastic v promishlennosti i medicine*. [Tr. XI International Meeting of Accelerators of Charged Particles in Industry and Medicine]. St.-Petersburg, Russia, 2005, pp. 126–128.
5. Dovbnya A. N., N. G. Reshetnyak and V. V. Zakutin. "Issledovanie formirovaniya puchka v uskoritele elektronov s vtorichniemissnim istochnikom." *Visnyk "HNU". Ser.: Yadra, chastinki, polya*. [Bulletin "HNU". Ser. "Nuclei, Particles, Fields"]. No. 732, vip. 2(30). 2006, pp. 96–100.
6. Dovbnya A. N., Lavrinenko S. D. and Zakutin V. V. Modifikaciya poverhnosti cirkonia i splava Zr1%Nb elektronnim puchkom uskoritelya na osnove magnetronnoy pushki [Modification of the surface of zirconium and Zr 1% Nb alloy by an electron accelerator beam based on a magnetron gun] *VANT. Ser.: Fizika radiacionnogo materialovedeniya* [VANT. Series "Physics of Radiation Material Science"]. 2011, vol. 2 (72), iss. 97, pp. 39–45.

Поступила (received) 05.05.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Особливості формування в радіальному та осьовому напрямках електронного пучка, що емітований вторинноемісійною магнетронною гарматою / О. С. Мазманішвілі, М. Г. Решетняк // Вісник НТУ «ХП». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХП», 2017. – № 28 (1250). – С. 53–59. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2079-0023.

Особенности формирования в радиальном и осевом направлениях электронного пучка, эмитированного вторичноэмиссионной магнетронной пушкой / А. С. Мазманішвили, Н. Г. Решетняк // Вісник НТУ «ХП». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХП», 2017. – № 28 (1250). – С. 53–59. – Библиогр.: 6 назв. – ISSN 2079-0023.

Features of formation in radial and axial directions of electron beams emitted secondary-magnetron gun / A. S. Mazmanishvili, N. G. Reshetnyak // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No. 28 (1250). – P. 53–59. – Bibliogr.: 6. – ISSN 2079-0023.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Мазманішвили Александр Сергеевич – доктор фізико-математических наук, профессор, старший научный сотрудник ННЦ ХФТИ, г. Харьков; тел.: (067) 799-38-64; e-mail: mazmanishvili@gmail.com.

Мазманішвілі Олександр Сергійович – доктор фізико-математичних наук, професор, старший науковий співробітник ННЦ ХФТИ, м. Харків; тел.: (067) 799–38–64; e-mail: mazmanishvili@gmail.com.

Mazmanishvili Oleksandr Serhiyovych – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, senior staff scientist NNC KhFTI, Kharkiv; tel.: (067) 799-38-64; e-mail: mazmanishvili@gmail.com.

Решетняк Николай Григорьевич – кандидат фізико-математических наук, доцент, старший научный сотрудник, Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», г. Харьков; тел.: (068) 953-84-01; e-mail: nreshetnyak@kipt.kharkov.ua.

Решетняк Микола Григорович – кандидат фізико-математичних наук, доцент, старший науковий співробітник, Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут», м. Харків; тел.: (068) 953-84-01; e-mail: nreshetnyak@kipt.kharkov.ua.

Reshetnyak Mikola Grygorovych – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Docent, senior staff scientist National Science Center "Kharkov Institute of Physics and Technology", Kharkiv; tel.: (068) 953-84-01; e-mail: nreshetnyak@kipt.kharkov.ua.

Є. О. ЛОБОДА, Д. О. ДУБОВИЙ

КОНТРОЛЬ ВИКОНУВАНИХ ЕКЗЕМПЛЯРІВ ДОДАТКІВ В WINDOWS 7/8/10

Розроблено програмний модуль визначення переліку процесів, що виконуються в комп'ютері і надання інформації про їх поточний стан, ідентифікатори й пріоритети виконання активних процесів, перелік задіяних dll бібліотек. Метою науково-дослідної роботи було розробити програмний модуль сумісний з різними останніми версіями операційної системи Windows, який вперше забезпечує за допомогою діалогового вікна отримання розширеної інформації про всі діючі додатки та надає можливість позбавлення від тих з них, що вийшли з під контролю. Проведено тестування зробленої розробки додатку.

Ключові слова: модуль, процес, операційна система, контроль, ідентифікатор, пріоритет, тестування.

Разработан программный модуль определения перечня процессов, выполняемых в компьютере и отображения информации об их текущем состоянии, идентификаторы, приоритеты выполнения, перечень используемых dll библиотек. Целью научно-исследовательской работы было разработать программный модуль совместимый с различными последними версиями операционной системы Windows, который впервые обеспечивает с помощью диалогового окна получение расширенной информации о всех исполняемых приложениях и даёт возможность избавления от тех из них, которые вышли из под контроля. Выполнено тестирование работоспособности созданного приложения.

Ключевые слова: модуль, процесс, операционная система, контроль, идентификатор, приоритет тестирование.

A software module to determine the list of processes running on your computer and display information about their current status, IDs, perform the priorities list of used dll libraries. The aim of research was to develop a software module is compatible with a variety of the latest versions of the Windows operating system, which for the first time provides a dialog box to obtain extensive information on all executable applications and makes it possible to get rid of those that are out of control. Described sequentially all the steps of creating a conceptual project: carried out a detailed analysis of known attempts to accomplish the task; Described sequentially all the steps of creating a conceptual project: carried out a detailed analysis of the known attempts to perform the assigned tasks; We developed a method to obtain the optimal solution of the problem and justified project architecture with a given software functionality; logical design is made with the creation of the source code of software components and development of resources: physical design produced by running the executable. Functioning of the development has been tested on several versions of Windows. This testing fully confirmed the development operation, even when the process of getting rid of that came out under mortgaged for their control.

Keywords: module, a process, operating system, control, ID, priority, testing.

Вступ. В сучасних операційних системах дуже важливо вміти визначати які процеси виконуються в системі, спостерігати за ними, знати їх поточний стан та як позбутися процесів, наприклад, якщо вони вийшли з під контролю [1–11].

Постановка проблеми базується на тому, що сучасні версії Windows не дозволяють прямий доступ проникнення у системні «таємниці» інших процесів. Це можливе з великими обмеженнями лише завдяки використанню функцій API (application programming interface) операційної системи Windows. Спочатку, у перших версій Windows зовсім не було функцій, які б дозволяли виконувати ці спостереження «таємниць». Замість цього застосовувалася база даних Performance Data, що була недосконалою і постійно оновлювалася в різних версіях Windows, змінювалась архітектура та інформаційні можливості цього інструментарію. Проте, навидь цієї бази немає зараз в останніх версіях Windows. Другий можливий напрямок вирішення цієї проблеми – використовувати можливості реєстру. Використання можливостей реєстру має свої недоліки. Його лічильники продуктивності є локалізованими, тобто потрібно використовувати назви констант тільки на тій мові, на якій зараз діє надана операційна система з формуванням саме на цій мові повного шляху до лічильника продуктивності, що у сучасних умовах не можливо. Навидь загально відома утиліта Task Manager, що стандартно включена до усіх операційних систем Windows, не надає інформацію про модулі, що зараз використовуються – є активними процесами [1].

Для усунення вказаних недоліків, в описаному нижче програмному модулі був взятий напрямок на використання API бібліотеки Tool Help Library через її кращу стабільність та підтримку більшістю новітніх версій операційної системи Windows 7, 8, 10. Бібліотека Tool Help Library була створена компанією Microsoft – розробником Windows, отже програми, що використовують в ній, знезацька не втраять свою працездатність, як могло б бути з програмним забезпеченням від сторонніх виробників [2, 3, 4].

Тому, для вирішення вказаної проблеми було прийнято рішення розробити програмний модуль з забезпеченням наступних функціональних можливостей:

- мати діалоговий інтерфейс взаємодії з користувачем;
- виводити детальну інформацію про процеси, що виконуються в даний час у операційній системі;
- виводити список усіх модулів, що використовуються операційною системою;
- мати сумісність з різними останніми версіями Windows (5, 7, 8, 10).

Розроблений нижче програмний комплекс з одержанням користувачами всієї цієї важливої інформації, вперше надає користувачам можливості, що раніше їм не надавалися

Вказані вище вимоги потребують створення програмний модуль, який перераховує процеси, що виконуються у системі, а також надає інформацію про них: ідентифікатор, пріоритет, кількість потоків, список модулів [6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій існуючих засобів отримання інформації про активні процеси показав, що програмне забезпечення, яке дозволяє отримувати таку інформацію на локальному комп'ютері та дізнаватися детальної інформації про діючі активні процеси, не є поширеним [5].

Найближчими для рішення наданої задаючи були визначені зазначені нижче методи та засоби [6–9]:

1. Бібліотека Process Status Helper (PSAPI) що надає набір функцій, які дозволяють отримати інформацію про процеси і драйвери пристроїв. Бібліотека поставляється у складі версій Windows, що з'явилася після 2000 року і доступна програмістам у якості додаткового компоненту. Для перерахування процесів бібліотека надає функцію EnumProcesses(), яка повертає лише масив ідентифікаторів запущених процесів [10].

2. Функція NtQuerySystemInformation() з не документованої бібліотеки, що експортується з відповідної системної DLL. Ця функція та деякі інші можливості цієї DLL дозволяють отримати основну інформацію про продуктивність системи, інформацією про інтенсивність використання файлу підкачки, завантаженість процесора і кількість процесів, що працюють у системі. Крім цього функція GlobalMemoryStatus() з цієї DLL бібліотеки визначає стан пам'яті в поточний момент часу, а GetIfTable() надає доступ до статистики використання мережевих інтерфейсів.

3. «Лічильники продуктивності» (performance counters) це механізм збору різної інформації, закладений в операційні системи лінійки Windows. Більша частина лічильників доступна користувачеві через оснащення (snap-in) Performance. Операційна система Windows, починаючи з версії NT, надає інтерфейс для отримання різноманітної інформації про систему у вигляді лічильників продуктивності. Цей інтерфейс дозволяє отримати набір глибоко вкладених одна в одну структур. Для отримання будь-якої інформації потрібно лише прочитати з ключа реєстру HKEY_PERFORMANCE_DATA значення із спеціально сформованим ім'ям. У результаті повертається набір вкладених структур, багато з яких мають змінний розмір. Бібліотека Performance Data Helper (PDH) надає цей інтерфейс для вимірювання даних про продуктивність. Однак ця бібліотека не входила в комплект постачання багатьох версій Windows. Останній час вона поширюється у складі Microsoft Platform SDK. Починаючи з Windows 2000 присутня за замовчуванням бібліотека PDH.dll, а система вимірювання продуктивності реалізована за допомогою поняття об'єкта, для якого здійснюється підрахунок продуктивності. Прикладами об'єктів дослідження є: процесор, жорсткий диск та ін. Кожен об'єкт може мати один або більше примірників, і для кожного об'єкта існує свій набір лічильників продуктивності. Завдання полягає в отриманні значень лічильників [11].

Основна складність у використанні лічильників продуктивності полягає в тому, що назви об'єктів і лічильників продуктивності є локалізованими. Це

означає, що, наприклад, на російській версії Windows необхідно використовувати зарезервовані константи «Процес» і «Ідентифікатор процесу» замість розповсюджених «Process» і «ID Process». Для отримання локалізованих імен об'єктів і формування повного шляху до лічильника продуктивності, який нас цікавить, необхідно писати допоміжну функцію, яка б здійснювала зворотне перетворення [2]. Лічильники продуктивності – це потужний і гнучкий механізм. Але, він неочевидний і незручний.

4 Використання ToolHelp32 API:

Набір функцій під назвою ToolHelp API є в останніх версіях ОС Windows 7/8/10. Ця бібліотека дозволяє стороннім розробникам отримати доступ до системної інформації. Спочатку створюється моментальний знімок (snapshot) списку процесів за допомогою функції CreateToolhelp32Snapshot(), а потім здійснюється зчитування інформації зі списку за допомогою функцій Process32First() і Process32Next(). Структура PROCESSENTRY32, що заповнюється цими функціями, містить всю інформацію про поточний стан системи незалежно від версії та локалізації Windows [2, 10].

Виконаний огляд існуючих засобів отримання інформації про активні процеси показав, що програмне забезпечення, яке дозволяє отримувати потрібну інформацію на локальному комп'ютері та дізнаватися поглиблених даних про діючі активні процеси, не є поширеним [3, 4, 5].

Тому остаточне формулюванням цілі статті для вирішення поставленого завдання зводиться до: потрібно створити модуль, який перераховує процеси, що виконуються у системі, а також надає інформацію про них, таку як: ідентифікатор, пріоритет, кількість потоків, список модулів та dll-бібліотек, що вони використовують.

Виклад основного матеріалу

Остаточний вибір методу рішення поставленого цілі було виконано завдяки даних наведеного аналізу існуючих засобів отримання інформації про активні процеси. В нашому проєкті використовується бібліотека Tool Help Library через кращу стабільність та підтримку її методу більшістю останніх версій операційної системи Windows (7/8/10). Вона створена компанією Microsoft, отже програми, що будуть її використовувати, знезацька не втратять свою працездатність, як могло б бути з програмним забезпеченням від сторонніх виробників, при використанні ними не документованих можливостей операційної системи. Дана бібліотека, що розроблювалась з метою спрощення процесу написання спеціалізованих утиліт, системних відгадчиків, дозволяє також отримувати інформацію про процеси, що виконуються в даний момент на комп'ютері.

Обґрунтування архітектури створюваного проєкту базувалося для розробленого додатку для забезпечення керування користувачем з допомогою мишки або клавіатури. Одержана інформація відображається в елементах діалогового вікна. Для реалізації такої програми не потрібні спеціалізовані сервери, багатопроцесорні системи та мережі. Тому,

поставлене завдання цілком може виконати програма на базі звичайного персонального комп'ютера

Забезпечення експлуатаційних характеристик програмного продукту проекту базувалося на необхідності забезпечення максимальної автоматизації процесу функціонування розробки. Автоматизація полягає в тому, що безпосередньо процес аналізу повинен виконуватися без участі людини та/або додаткових спеціалізованих пристроїв.

Використання програмного продукту, який створюється, зменшує трудомісткість процесу аналізу програмного засобу створеного проекту. Практично кожний ПК має необхідні засоби емуляції відсутніх в

комп'ютері пристроїв. Необхідні як мінімум: клавіатура, мишка й конфігурація ПК повинна забезпечувати роботу системи Windows останніх версій 7/8/10 [4, 6–10].

Для розширення області застосування програми передбачається можливість оперативної зміни користувачем параметрів аналізу. Простий, інтуїтивно зрозумілий інтерфейс та можливість оперативного конфігурування програми забезпечують «гнучкість» програми та можливість роботи із програмою користувачів з низьким рівнем знань в області комп'ютерів.

Вигляд діалогового вікна розробки наведено нижче на рис. 1.

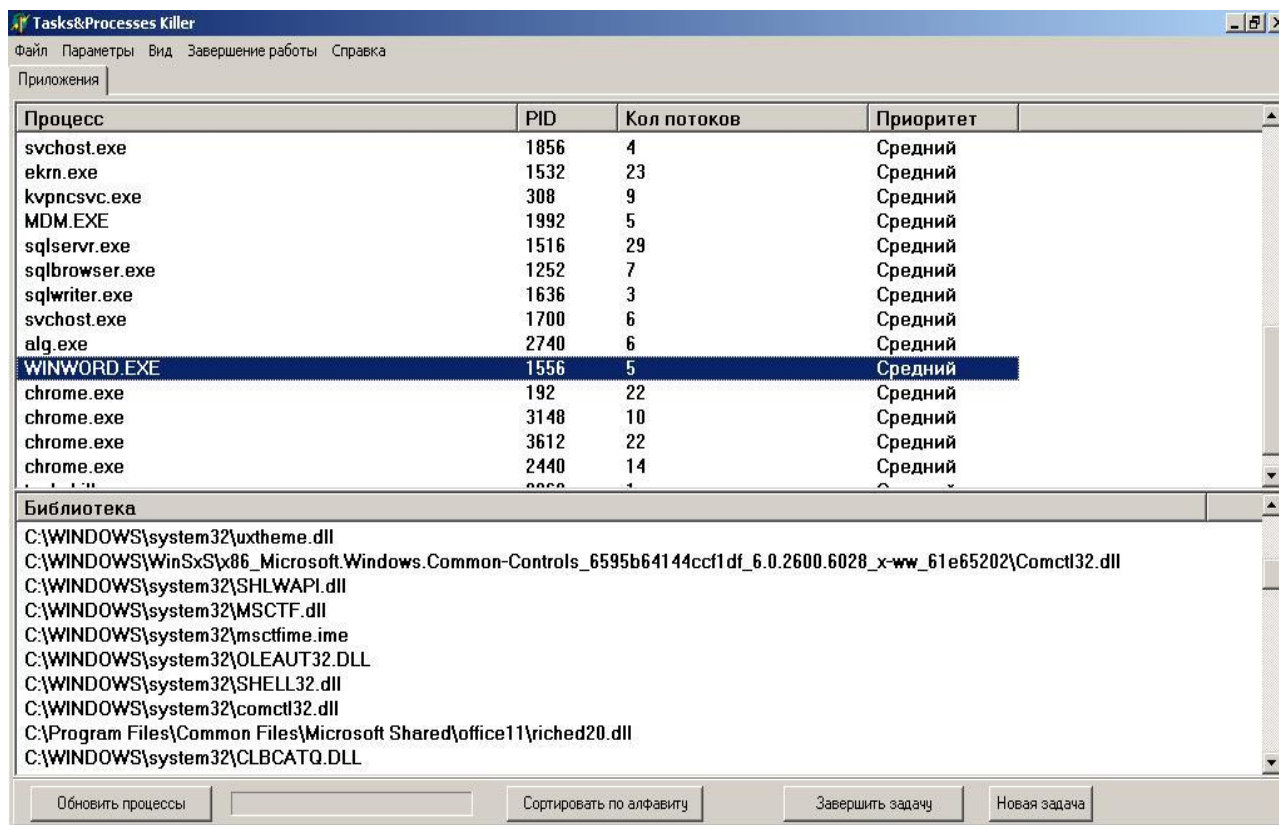


Рис. 1 – Діалогове вікно розробки з отриманням інформації про процес WINWORD.EXE

Логічне проектування дизайну інтерфейсу користувача розроблено таким, що для спрощення керування створено діалогове вікно з елементами зрозумілого керування до кожної з наданих в завданні інформації. Доступ користувача до виконання кожної функції можливий як з клавіатури, так і за допомогою мишки.

Особливості виконання роботи засобами Tool Help Library (THL) на її основі забезпечуються поняттям «snapshot» миттєвий знімок стану запущених додатків. Перед викликом всіх функцій бібліотеки необхідно створити snapshot. Це здійснюється викликом функції:

```
HANDLE WINAPI CreateToolhelp32Snapshot
(DWORD dwFlags, DWORD th32ProcessID);
```

Параметр dwFlags вказує, яка саме інформація цікавить користувача. Параметр th32ProcessID ідентифікує процес, стан якого досліджується. Він потрібен для використання dwFlags зі значеннями

TH32CS_SNAPHEAPLIST, TH32CS_SNAPMODULE і TH32CS_SNAPTHREAD. В інших випадках цей параметр ігнорується.

Знищується об'єкт snapshot стандартним викликом CloseHandle (hSnapshot);

Всі помилки, що виникають при виконанні функцій THL, повертаються стандартним викликом GetLastError і FormatMessage.

Щоб отримати список процесів, які працюють в даний момент, необхідно написати код, що використовує дві наступні функції:

```
BOOL WINAPI Process32First (HANDLE
hSnapshot(LPPROCESSENTRY32 lppe);
BOOL WINAPI Process32Next (HANDLE
hSnapshot(LPPROCESSENTRY32 lppe);
```

В обох цих функціях є два параметри. Перший – дескриптор, що повертається попереднім викликом CreateToolhelp32Snapshot, а другий вказує на структуру PROCESSENTRY32, в якій повертається резуль-

тат виконання функції. Перед викликом Process32First необхідно встановити в поле dwSize структури PROCESSENTRY32 значення, що дорівнює розміру самої структури – sizeof (PROCESSENTRY32), інакше функція поверне помилку.

Для одержання списку модулів, завантажених процесом протягом роботи практично будь-якого додатка Win32 завантажуються ті чи інші бібліотеки, компоненти та інші програмні модулі. Природно, інколи виникає необхідність отримати список завантажених модулів. Для цього в THL в першу чергу, викликається CreateToolhelp32Snapshot з параметрами TH32CS_SNAPMODULE і ідентифікатором процесу, модулі якого нас цікавлять. Далі, як і в попередньому розділі, у полі dwSize, але тепер вже до структури MODULEENTRY32, встановлюється значення, що дорівнює розміру цієї структури. До речі, це необхідно робити для всіх функцій перерахування THL. Цикл перебору використовує структуру MODULEENTRY32, в яку повертається інформація про модуль.

Механізм роботи з потоками процесу ідентичний механізму, описаному для модулів, тільки викликаються функції Thread32First і Thread32Next, а замість структури MODULEENTRY32 використовується THREADENTRY32.

Доступ до пам'яті процесу має великі труднощі. Відомо, що в Win32 отримати доступ до пам'яті одного процесу з іншого офіційно неможливо. Проте в THL є функція ProcessMemory(), що дозволяє отримати копію блоку пам'яті іншого процесу.

Для дослідження динамічної пам'яті процесу виділяються області у віртуальній пам'яті використанням функції HeapCreate(), яка створює відповідний об'єкт (heap) в адресному просторі процесу. Для виділення пам'яті у середині цього блоку використовується функція HeapAlloc(). Всі інші функції роботи з динамічною пам'яттю (GlobalAlloc(), malloc(), calloc() і т. д.) зводяться до використання цього механізму.

Очевидно, що потрібно вміти знаходити список виділених областей віртуальної пам'яті і для кожного з них – список виділених блоків. Подивимося, як це робиться за допомогою функцій THL. У термінах THL область пам'яті називається heap. Є багато областей пам'яті – heap list. Виділеному всередині неї блоку відповідає термін «block of a heap». У циклі за допомогою функцій Heap32ListFirst() і Heap32ListNext() повертається список блоків пам'яті, які були розподілені. Знаючи ідентифікатор процесу та ідентифікатор області віртуальної пам'яті, який повертається в поле th32HeapID структури HEAPLIST32, можна побачити, що розподіляється пам'ять усередині цього блоку. Виділені області пам'яті можна отримати за допомогою функцій Heap32First() і Heap32Next(). Вони повертають структуру HEAPENTRY32.

Знаючи значення полів dwAddress і dwBlockSize, за допомогою функції Toolhelp32ReadProcessMemory() неважко отримати дані, що знаходяться у динамічній пам'яті процесу [3, 10, 11].

Фізичне проектування інтерфейсу середі розробки при створенні нового проекту зображено на

рис. 2. На ньому наведено зображення оболонки у якій створювався модуль проекту.

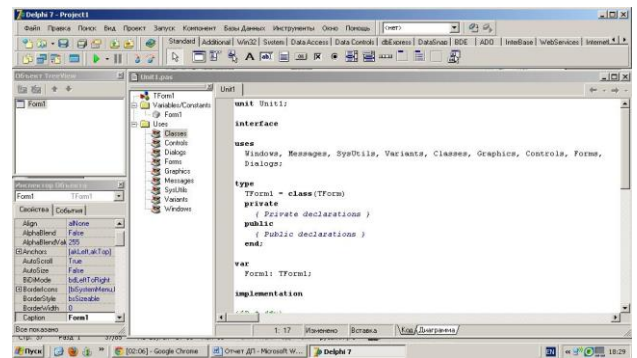


Рис. 2 – Оболонка створення проекту

Було проведено тестування зробленої розробки. Доказом тестування створеного проекту є демонстрація на рис. 1 роботи програми при отриманні інформації про добре відомий професіоналам процес WINWORD.EXE ().

Обравши процес у верхній частині програми ми можемо отримати інформацію про бібліотеки та модулі, які використовує обраний нами процес. На рис. 1 ми бачимо які бібліотеки використовує процес WINWORD.EXE.

Тестування розробки «Отримання інформації про активні процеси» було успішно проведено на кількох версіях ОС Windows, тобто можна говорити про досягнення сумісності, яка була одним з критеріїв вибору даного методу отримання інформації про активні процеси. Ніяких збоїв у роботі розробленого додатку не виникало.

Висновки. В роботі були розглянуті механізми створення процесів та структур, які забезпечують роботу зробленого додатку. Безпосередньо використовувати ці механізми програміст не може – вони виконуються операційною системою (можна «побачити» структури, за допомогою різних відгадчиків, наприклад WinDbg, SoftIce), проте їх розуміння важливе для ефективного використання розглянутих методів отримання списку активних процесів.

Було визначено, що найбільш доцільним є використання засобів бібліотеки Tool Help Library через кращу стабільність та підтримку цього методу усіх наданих версій операційної системи Windows 7/8/10.

Використання цієї бібліотеки полягає в виготовленні «знімків» стану процесів у системі, ця дія виконується функцією CreateToolhelp32Snapshot. Функцією Process32First «отримуємо» перший процес із зробленого «знімку». Перехід на наступні процеси виконується функцією Process32Next. Обидві останні функції заповнюють структуру PROCESSENTRY32, яка містить доволі детальну інформацію щодо процесу.

За допомогою API функцій було створено програмний продукт, що отримує детальну інформацію про активні процеси і вирішує поставлене завдання для якого раніше не було розроблених додатків.

Список літератури

1. Руссинович М. Внутреннее устройство Microsoft Windows / М. Руссинович, Д. Соломон. – М. : Русская редакция; СПб. : Питер; 2008. – 992 с.
2. Рихтер Д. WinRT: программирование на C# для профессионалов = Windows Runtime via C# / Джеффри Рихтер, Мартен ван де Боспорт. – М. : Вильямс, 2014. – 368 с.
3. Джонсон М. Харт. Системное программирование в среде Windows. / М. Харт Джонсон. – М. : Вильямс, 2005. – 592 с.
4. Deitel P. C++11 for Programmers (2nd Edition) / Paul Deitel, Harvey Deitel. – Pearson Education Inc., 2013. – 848 p.
5. Machado M. Customizing the Microsoft NET Framework Common Language Runtime / Manel Machado. – 2008. – 896 p.
6. Deshpande M. Item-based top-N recommendation algorithms / M. Deshpande, G. Karypis // ACM Transactions on Information Systems. – 2011. – Vol. 29, no. 1. – P. 143–177.
7. Nikovski D. Induction of compact decision trees for personalized recommendation / D. Nikovski, V. Kulev // Proceedings of the 2006 ACM Symposium on Applied Computing (SAC 2006). Dijon, France, April 2006. – Vol. 1. – Dijon, 2006. – P. 575–581.
8. Su X. A survey of collaborative filtering techniques. – Advances in Artificial Intelligence / Xiaoyuan Su, Taghi M. Khoshgoftaar. – New York : Hindawi Publishing Corporation, 2009. – P. 1–19. – doi: 10.1155/2009/421425
9. Linden G. Item-to-Item Collaborative Filtering / G. Linden, B. Smith, J. York // IEEE Internet Computing. – Los Alamitos, CA USA. – 2003. – P. 76–80.
10. Рихтер Д. Создание эффективных WIN32-приложений с учётом специфики 64-разрядной версии Windows. – Джеффри Рихтер. – СПб. : Питер «Русская редакция», 2011. – 752 с.
11. Krizhevsky A. ImageNet classification with deep convolutional neural networks / Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever, Geoffrey E. Hinton // Advances in Neural Information Processing Systems 25 (NIPS 2012). Vol. 25. – Lake Tahoe, Nevada, 2012. – P. 1097–1105.

References (transliterated)

1. Russinovich M., Solomon D. *Vnutrennee ustroystvo Microsoft Windows* [Windows Internals]. Moscow, Russkaja Redakcija Publ. and Saint Petersburg, Piter Publ., 2008. – 992 p.
2. Jeffrey Richter, Marten van de Bospoort. *WinRT: programirovaniye na C# dlya professyonalov* [Windows Runtime via C#]. Moscow, Vil'jams Publ., 2014. 368 p.
3. Johnson M. Hart. *Sistemnoe programirovaniye v srede Windows* [Windows System Programming]. Moscow, Vil'jams Publ., 2005. 592 p.
4. Deitel Paul, Deitel Harvey. *C++11 for Programmers (2nd Edition)*. Pearson Education Inc. Publ., 2013. 848 p.
5. Manel Machado Customizing the Microsoft .NET Framework Common Language Runtime 2008. 896 p.
6. Deshpande M., Karypis G. Item-based top-N recommendation algorithms. *ACM Transactions on Information Systems*. 2011, vol. 29, no. 1, pp. 143–177.
7. Nikovski D., Kulev V. Induction of compact decision trees for personalized recommendation. *Proceedings of the 2006 ACM Symposium on Applied Computing (SAC 2006)*. Vol. 1. Dijon, France, April 2006, pp. 575–581.
8. Su Xiaoyuan, Khoshgoftaar Taghi M. A survey of collaborative filtering techniques. *Advances in Artificial Intelligence*. New York, Hindawi Publishing Corporation, 2009, pp. 1–19. doi: 10.1155/2009/421425
9. Linden G., Smith B., York J. Item-to-Item Collaborative Filtering. *IEEE Internet Computing*. Los Alamitos, CA USA, 2003, p. 76–80
10. Richter J. Sozdanie jeffektivnyh WIN32-prilozhenij s uchjotom specifiky 64-razrjadnoj versii Windows [Programming Applications for Microsoft WINDOWS]. – Saint Petersburg, Piter Publ. and Moscow, Russkaja Redakcija Publ., 2011. – 752 p.
11. Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G. ImageNet classification with deep convolutional neural networks. *Advances in Neural Information Processing Systems 25 (NIPS 2012)*. Vol. 25. Lake Tahoe, Nevada, 2012, pp. 1097–1105.

Надійшла (received) 05.02.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Контроль виконуваних екземплярів додатків в Windows 7/8/10 / С. О. Лобода, Д. О. Дубовий // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 28 (1250). – С. 60–64. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-0023.

Контроль исполняемых экземпляров приложений в Windows 7/8/10 / Е. А. Лобода, Д. А. Дубовой // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 28 (1250). – С. 60–64. – Библиогр.: 11 назв. – ISSN 2079-0023.

Control of the executable applications in Windows 7/8/10 / Е. А. Loboda, D. A. Dubovoy // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No. 28 (1250). – P. 60–64. – Bibliogr.: 11. – ISSN 2079-0023.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Лобода Євген Олександрович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри обчислювальної техніки та програмування; м. Харків, Україна; тел.: +38(057) 336-41-68; e-mail: loboda.eugene@gmail.com.

Лобода Евгений Александрович – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», профессор кафедры вычислительной техники и программирования; г. Харьков, Украина; тел.: +38(057) 336 41 68; e-mail: loboda.eugene@gmail.com.

Loboda Eugene Alexandrovich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Professor at the Department of Computer Engineering and Programing; tel.: +38(057) 336-41-68; e-mail: loboda.eugene@gmail.com.

Дубовий Дмитро Олександрович – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; студент факультет комп'ютерних та інформаційних технологій; тел.: +38(095) 871-48-66.

Дубовой Дмитрий Александрович – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»; студент факультета компьютерных и информационных технологий; тел.: +38(095) 871-48-66.

Duboviy Dmiro Aleksandrovych – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", student, Faculty of Computer and Information Technology; tel.: +38(095) 871-48-66.

Є. О. ЛОБОДА, Є. О. ТИМОФЕЙ

ВІДСТЕЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ІЗ РІЗНИМИ ОЗНАКАМИ У WINDOWS 7/8/10

Розроблено програмний модуль визначення переліку процесів, що виконуються в комп'ютері і надання інформації про їх поточний стан, ідентифікатори й пріоритети виконання активних процесів, перелік задіяних dll бібліотек. Метою науково-дослідної роботи було розробити програмний модуль сумісний з різними останніми версіями операційної системи Windows, який вперше забезпечує за допомогою діалогового вікна отримання розширеної інформації про всі діючі додатки та надає можливість позбавлення від тих з них, що вийшли з під контролю. Проведено тестування зробленої розробки додатку.

Ключові слова: модуль, процес, операційна система, контроль, ідентифікатор, пріоритет, тестування.

Разработан программный модуль определения перечня процессов, выполняемых в компьютере и отображения информации о их текущем состоянии, идентификаторы, приоритеты выполнения, перечень используемых dll библиотек. Целью научно-исследовательской работы было разработать программный модуль совместимый с различными последними версиями операционной системы Windows, который впервые обеспечивает с помощью диалогового окна получение расширенной информации о всех исполняемых приложениях и даёт возможность избавления от тех из них, которые вышли из под контроля. Выполнено тестирование работоспособности созданного приложения.

Ключевые слова: модуль, процесс, операционная система, контроль, идентификатор, приоритет тестирование.

A software module to determine the list of processes running on your computer and display information about their current status, IDs, perform the priorities list of used dll libraries. The aim of research was to develop a software module is compatible with a variety of the latest versions of the Windows operating system, which for the first time provides a dialog box to obtain extensive information on all executable applications and makes it possible to get rid of those that are out of control. Described sequentially all the steps of creating a conceptual project: carried out a detailed analysis of known attempts to accomplish the task; Described sequentially all the steps of creating a conceptual project: carried out a detailed analysis of the known attempts to perform the assigned tasks; We developed a method to obtain the optimal solution of the problem and justified project architecture with a given software functionality; logical design is made with the creation of the source code of software components and development of resources: physical design produced by running the executable. Functioning of the development has been tested on several versions of Windows. This testing fully confirmed the development operation, even when the process of getting rid of that came out under mortgaged for their control.

Keywords: module, a process, operating system, control, ID, priority, testing.

Вступ. Дуже часто користувачу комп'ютера важливо отримувати інформацію і спостерігати за станом вікон на екрані локального комп'ютера та дізнаватися детальну інформацію про них та їх зв'язок з іншими вікнами[1–11]. Наприклад: яке вікно є активне; яке знаходиться у фокусі; яке захопило управління мишею, особливо на великих екранах та якщо екранів декілька; як ця інформація виглядає з позиції різних інших вікон, тощо.

Постановка проблеми. Проведений пошук і аналіз існуючих програм про відстеження процесів з різними ознаками з отриманням інформації та спостереженням за станом вікон на локальному комп'ютері та дізнанням детальної інформації їх зв'язку на жаль відсутні. Тому була поставлена задача написати новий програмний продукт.

Огляд існуючих засобів і технологій рішення поставленого завдання. Особливість вирішення завдання утруднюється тим, що сучасні версії Windows не дозволяють прямий доступ проникнення у системні "таємниці" інших процесів. В сучасній операційній системі Windows застосована технологія, яка розділяє стан обміну між процесами системи для ізоляції їх один від одного. Можливості виконання завдання цієї наукової роботи можуть надати лише деякі, з великими обмеженнями системно орієнтовані API функції Windows.

Для отримання різноманітної інформації про систему в початкових версіях Windows надавався інтерфейс у вигляді лічильників продуктивності. Цей інтерфейс дозволяв отримати набір глибоко вкладених одна в одну структур. Для отримання будь-якої

інформації потрібно прочитати з ключа реєстру HKEY_PERFORMANCE_DATA значення із спеціально сформованим ім'ям. У результаті повертається набір вкладених структур, багато з яких мають змінний розмір. З появою в Windows NT 4.0 лічильники продуктивності було надано у бібліотеці Performance Data Helper (PDH). Він став зручнішим для вимірювання даних, однак, ця бібліотека не входила в комплект постачання Windows NT 4.0, вона поширювалася лише у складі додатка Microsoft Platform SDK. Потім, з Windows 2000 вона була перенесена у PDH.DLL і стала присутньою за замовчуванням.

Система вимірювання лічильниками продуктивності в Windows реалізована за допомогою поняття об'єкта, для якого здійснюється підрахунок продуктивності. Кожен об'єкт може мати один або більше примірників, і для кожного об'єкта існує свій набір лічильників продуктивності. Завдання нашої розробки полягає на отримання значень лічильників. Основна складність у використанні лічильників продуктивності полягає в тому, що назви об'єктів і лічильників продуктивності є локалізованими. Це означає, що, наприклад, на російській версії Windows необхідно використовувати зарезервовані константи «Процес» і «Ідентифікатор процесу» замість «Process» і «ID Process» для original версії Windows. Щоб отримати інформацію щодо процесів, як і для отримання локалізованих імен об'єктів і формування повного шляху до лічильника, необхідно писати допоміжну функцію, яка б здійснювала зворотне перетворення. Тож лічильники продуктивності

– це потужний і гнучкий механізм, але, він неочевидний і незручний.

На апаратному (внутрішньому) рівні інформація від пристроїв (клавіатури, миші, ...) потрапляє в систему і пересилається відповідним віконним процедурам. Створюючи модель технології введення даних, Microsoft прагнула, щоб жодний потік не міг порушити роботу інших потоків. Загальна схема моделі апаратного введення в Windows системі зображена нижче на рис. 1 для приклада використанні чотирьох вікон (A1, B1, B2, C1). При запуску система створює собі особливий потік необробленого вводу RIT (Raw Input Thread) і системну чергу апаратного введення SHIQ (System Hardware Input Queue). RIT і SHIQ – це фундамент, на якому побудована вся модель апаратного введення Windows.

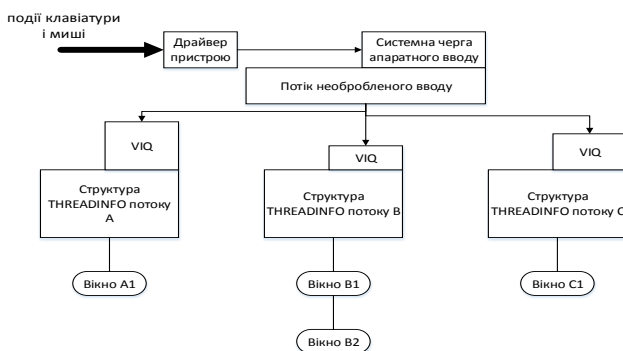


Рис. 1 – Модель апаратного вводу

Зазвичай RIT бездіяльна, чекаючи появи якогось елемента в SHIQ коли користувач натискає і відпускає клавішу на клавіатурі або кнопку миші, або переміщує мишу, відповідний драйвер пристрою додає апаратну подію у SHIQ. Тоді RIT пробуджується, витягує цей елемент із SHIQ, перетворює його в повідомлення (WM_KEY*, WM_BUTTON*, WM_MOUSEMOVE, ...) і ставить в кінець черги віртуального введення VIQ (Virtualized Input Queue) потрібного потоку. Далі RIT повертається в початок циклу і чекає появи наступного елемента в SHIQ. RIT ніколи не перестає реагувати на події апаратного введення – весь його код написаний самою фірмою Microsoft і дуже ретельно протестований.

Введення з клавіатури направляється потоком необробленого вводу (RIT) у чергу віртуального введення якогось потоку, але тільки не у вікно RIT події від клавіатури в чергу потоку безвідносно конкретного вікна. Коли потік викликає GetMessage(), подія від клавіатури витягується з черги і перенаправляється вікно (створеному потоком), на якому в даний момент зосередили фокус введення. Щоб направити клавіатурний ввід в інше вікно, потрібно вказати, в чергу якого потоку RIT необхідно розмістити події від клавіатури, а також «повідомити» змінним стану вводу потоку, яке вікно буде перебувати у фокусі. Вікно, що втрачає фокус, прибирає використовуваний для позначення фокусу прямокутник або гасить курсор введення, а вікно, яке

отримує фокус, малює такий прямокутник або показує курсор введення. RIT направляє користувача введення з клавіатури в чергу віртуального введення тільки одного з потоків одноразово.

Механізм роботи з потоками процесу ідентичний механізму, описаному для модулів, тільки викликаються інші API Windows.

Доступ до пам'яті процесу має великі труднощі. Відомо, що в Win32 отримати доступ до пам'яті одного процесу з іншого офіційно неможливо. Проте в THL є функція ProcessMemory(), що дозволяє отримати копію блоку пам'яті іншого процесу. Для дослідження динамічної пам'яті процесу виділяються області у віртуальній пам'яті, яка створює відповідний об'єкт (heap) в адресному просторі процесу. З допомогою API можливе виділення пам'яті у середині цього.

Вікна, створені в різних потоках зазвичай обробляють введення даних незалежно один від одного. Тобто вони мають свої власні стани введення даних (фокус; активність; захоплення мишею, чи ні; стан клавіші; стан черги і так далі). Ці дані синхронізовані з обробкою введення даних інших потоків.

Для підвищення ізоляції потоків, один від одного, система підтримує додаткову концепцію – локальний стан введення LIS (Local Input State). Кожен потік володіє власним станом вводу, відомості про який зберігаються в структурі THREADINFO. В інформацію про цей стан включаються дані про чергу віртуального введення потоку і група змінних, яка містить керуючу інформацію про стан введення.

Відносно клавіатури підтримуються наступні відомості:

- 1) яке вікно перебуває у фокусі клавіатури;
- 2) яке вікно активно в даний момент;
- 3) які клавіші натиснуто;
- 4) стан курсору введення.

Відносно миші підтримуються наступні відомості:

- 1) яким вікном захоплена миша;
- 2) яка форма курсору миші;
- 3) чи бачимо цей курсор.

Так як у кожного потоку свій набір змінних стану вводу, то й представлення про вікно, що знаходиться у фокусі, про вікно, що захопило мишу, і т. п. у них теж суто свої. З точки зору потоку, клавіатурний фокус або є у одного з вікон, або його немає в жодного вікна у всій системі. Те ж саме відноситься і до миші або вона захоплена одним з вікон, або не захоплена ніким. В додаток до цього, є API функція AttachThreadInput(), яка надає інформацію про спільне використання однієї черги різними потоками та може змінити локальний стан введення і черги віртуального введення.

Операційна система неявно з'єднує черги віртуального введення двох потоків, якщо якийсь із них встановлює пастку реєстрації (journal record hook) або пастку відтворення (journal playback hook). Коли пастка знімається, система відновлює схему організації черги введення, що існувала до установки

пастки. Установкою пастки реєстрації потік повідомляє, що хоче отримувати повідомлення про всіх апаратні події, що викликаються користувачем. Потік зазвичай зберігає або реєструє цю інформацію в файлі. Так як користувацьке введення повинне бути зареєстроване в тому порядку, в якому воно відбувалося, всі потоки в системі починають розділяти одну чергу віртуального введення для синхронізації обробки введення. Відмовостійкість моделі введення досягається завдяки тому, що у кожного потоку є власні змінні локального стану введення, а підключення потоку до RIT і відключення від нього відбувається по мірі необхідності.

З точки зору потоку, клавіатурний фокус або є у одного з вікон, або його немає у жодного вікна, у всій системі. Те ж саме відноситься і до миші або вона захоплена одним з вікон, або не захоплена ніким.

Windows дозволяє додаткам створювати і управляти призначеним для користувача інтерфейсом. Додатки визначають загальну поведінку і зовнішній вигляд їх вікон, створюючи класи вікон і відповідні процедури вікна. Клас вікна ідентифікує замовчуванням такі характеристики, як: чи обробляє вікно клік миші або має чи ні воно меню. Відповідна процедура вікна містить код, який визначає поведінку вікна, обробляє завдання і введенні користувачем дані. Додатки отримують зв'язок з мишею і клавіатурою у вигляді повідомлень. Система перетворює рухи миші, кліки миші і натиснення клавіш на входні повідомлення і поміщує ці повідомлення в чергу повідомлень для додатка. Система автоматично забезпечує черги повідомлень для кожного додатку. Додаток використовує повідомлення функцій для вилучення повідомлень з черги і відправляє їх у відповідну процедуру вікна для обробки.

Постановка завдання. За результатами наведеного вище огляду існуючих засобів отримання інформації про вікна було прийнято рішення: розробити програмне забезпечення з діалоговим вікном з виводом на ньому щосекундну інформацію про слідує стани вікон: активне вікно, що знаходиться у фокусі та вікна, які захопили управління мишею. Також програмний продукт повинен мати змогу спостерігати за локальним станом введення тільки в одному потоці та коректно повідомляти інформацію про вікна незалежно від того, який потік створив це чи інше вікно. Необхідно забезпечувати відсутність тупикових ситуацій у ході своєї роботи. При виникненні помилки – коректно завершувати роботу, не впливаючи на роботу і стан операційної системи Windows. Розробка повинна коректно функціонувати під керуванням всіх різних версій Windows, від Windows XP до Windows 10.

Було визначено, що для розробки діючого проекту найбільш доцільним є використання в ньому API функції Windows `AttachThreadInput()` через кращу стабільність та підтримку цього методу більшою кількістю останніх версій операційної системи Windows. Ця функція створена компанією Microsoft,

отже програми, що будуть її використовувати, знезацька не втратять свою працездатність [3]. Дана функція дозволяє підключати або вимикати механізми обробки вводу даних одного з потоків до механізму іншого потоку. Переваги застосування цього методу в тому, що є можливість керування інформацією про стан вікон:

- 1) один потік може підключати свою обробку вводу до іншого потоку;
- 2) потоки можуть спільно використовувати свої статуси введення даних;
- 3) потік може забезпечити установку фокусу клавіатури в вікні іншого потоку.

Для застосування такої програми не потрібні спеціалізовані сервери, багатопроцесорні системи та мережі.

Обґрунтування архітектури створюваного проекту. Для відповідності до сучасних вимог розробки було прийнято рішення:

- мати діалоговий інтерфейс взаємодії з користувачем;
- виводити детальну інформацію про стан вікон в реальному часі з оновленням щосекунди;
- спостерігати за локальним станом введення тільки одного визначеного потоку;
- мати сумісність з усіма останніми версіями операційної системи Windows.

Керування програмою користувач виконує кою. Інформація відображається в елементах діалогового вікна. Для реалізації такої програми не потрібні спеціалізовані сервери, багатопроцесорні системи та мережі.

Тестування створеного проекту. Після запуску виконуючого файлу зробленого проекту побачимо діалогове вікно з різними елементами графічного інтерфейсу користувача (рис. 2)

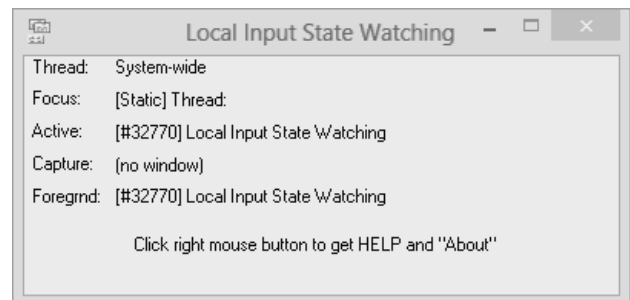


Рис. 2 – Початковий вид діалогового вікна

Після запуску програма відстежує активізацію вікон в усіх частинах системи, на всіх екранах комп'ютера. На це вказує надпис `System-wide` у верхній частині діалогового вікна. Але розробка `Local Input State Watching` може спостерігати за локальним станом введення тільки в одному потоці. Якщо вибрати цей режим, програма буде повідомляти, що «думає» потік про свій стан введення. Щоби програма контролювала стан введення тільки в одному потоці, треба клацнути лівою кнопкою миші, та, не відпускаючи кнопку, перемістити курсор миші у вікно, яке створено іншим потоком, після цього

відпустити кнопку. Наприклад, запустимо «Блокнот» та виберемо його вікно в Local Input State Watching. Отримаємо результат приведений на рис. 3.

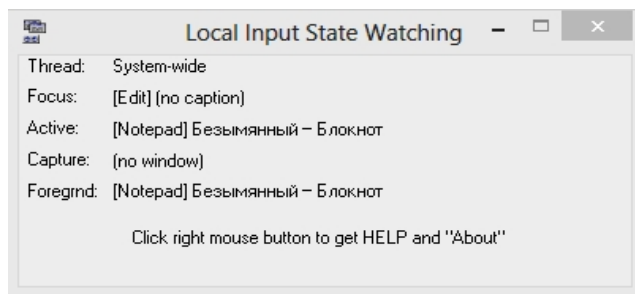


Рис 3 – Відслідковування стану вікна та фокусу вводу

Розглянемо іншу функціональність – запустимо стандартний «Калькулятор» та виберемо його вікно в Local Input State Watching то побачимо таку інформацію, що відображена на рис. 4.

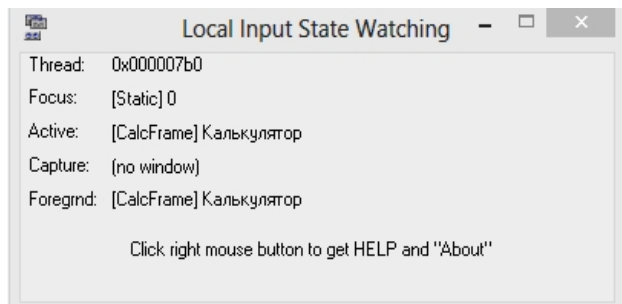


Рис. 4 – Вибір спостереження за локальним станом введення тільки одного потоку

Ідентифікатор потоку Калькулятора отримав значення 0x000007b0. В цьому випадку програма буде налаштована на спостереження за локальним станом введення тільки цього потоку. Але якщо клацнути будь-яку кнопку або зайти в меню, то Local Input State Watching негайно відреагує на це, повідомивши відповідні зміни фокусу.

Однак, якщо тепер активізувати вікно, створене іншим додатком, наприклад «Мій комп'ютер», вікно Local Input State Watching буде виглядати так, як це зображено на рис. 5.

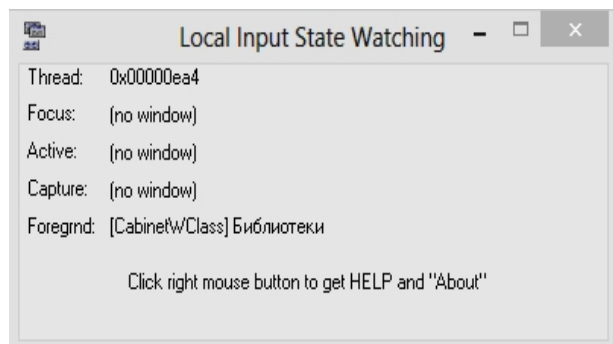


Рис. 5 – Активізація вікна іншого додатка при спостереженні за першим

Як можна побачити з рис. 5, «Калькулятор» вважає що немає не одного з вікон, які б знаходились у фокусі, були б активними, чи захопили мишу.

Висновки. Тестування розробки «Відстеження процесів з різними ознаками» було успішно проведено на кількох останніх версіях Windows, та їх підмножинах: Windows Mobile, Windows CE, Microsoft Silverlight, NET Framework і NET Compact Framework. Тобто можна казати про досягнення наданої сумісності розробки, що була одним з критеріїв вибору даного методу відстеження процесів. Ніяких збоїв у роботі розробки не виникало.

Список літератури:

1. Руссинович М. Внутреннее устройство Microsoft Windows / М. Руссинович, Д. Соломон. – М. : Русская редакция; СПб. : Питер, 2008. – 992 с.
2. Рухтер Д. WinRT: программирование на C# для профессионалов = Windows Runtime via C# / Джеффри Рухтер, Мартен ван де Боспорт. – М. : Вильямс, 2014. – 368 с.
3. Джонсон М. Х. Системное программирование в среде Windows / М. Х. Джонсон. – М. : Вильямс, 2005. – 592 с.
4. Deitel H. M. C++ for Programmers, 2nd Edition Publisher / Harvey M. Deitel. – Prentice Hall, 2013. – 848 с.
5. Machado M. Customizing the Microsoft .NET Framework Common Language Runtime / Manel Machado. – 2008. – 896 p.
6. Deshpande M. Item-based top-N recommendation algorithms / M. Deshpande, G. Karypis // ACM Transactions on Information Systems. – 2011. – Vol. 29, no. 1. – P. 143–177.
7. Nikovski D. Induction of compact decision trees for personalized recommendation / D. Nikovski, V. Kulev // Proceedings of the 2006 ACM Symposium on Applied Computing (SAC 2006). Dijon, France, April 2006. – Vol. 1. – Dijon, 2006. – P. 575–581.
8. Su X. A survey of collaborative filtering techniques. – Advances in Artificial Intelligence/ Xiaoyuan Su, Taghi M. Khoshgoftaar. – New York : Hindawi Publishing Corporation, 2009. – P. 1–19. – doi: 10.1155/2009/421425
9. Linden G. Item-to-Item Collaborative Filtering / G. Linden, B. Smith, J. York // IEEE Internet Computing. – Los Alamitos, CA USA. – 2003. – P. 76–80.
10. Рухтер Д. Создание эффективных WIN32-приложений с учётом специфики 64-разрядной версии Windows. – Джеффри Рухтер. – СПб. : Питер «Русская редакция», 2011. – 752 с.
11. Krizhevsky A. ImageNet classification with deep convolutional neural networks / Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever, Geoffrey E. Hinton // Advances in Neural Information Processing Systems 25 (NIPS 2012). Vol. 25. – Lake Tahoe, Nevada, 2012. – P. 1097–1105.

Bibliography (transliterated)

1. Russinovich M., Solomon D. *Vnutrennee ustroystvo Microsoft Windows* [Windows Internals]. Moscow, Russkaja Redakcija Publ. and Saint Petersburg, Piter Publ., 2008. – 992 p.
2. Jeffrey Richter, Marten van de Bospoort. *WinRT: programmyrovanye na C# dlya professionalov* [Windows Runtime via C#]. Moscow, Vil'jams Publ., 2014. 368 p.
3. Johnson M. Hart. *Sistemnoe programmyrovanye v srede Windows* [Windows System Programming]. Moscow, Vil'jams Publ., 2005. 592 p.
4. Deitel Paul, Deitel Harvey. *C++11 for Programmers (2nd Edition)*. Pearson Education Inc. Publ., 2013. 848 p.
5. Manel Machado *Customizing the Microsoft .NET Framework Common Language Runtime* 2008. 896 p.
6. Deshpande M., Karypis G. Item-based top-N recommendation algorithms. *ACM Transactions on Information Systems*. 2011, vol. 29, no. 1, pp. 143–177.
7. Nikovski D., Kulev V. Induction of compact decision trees for personalized recommendation. *Proceedings of the 2006 ACM Symposium on Applied Computing (SAC 2006)*. Vol. 1. Dijon, France, April 2006, pp. 575–581.
8. Su Xiaoyuan, Khoshgoftaar Taghi M. A survey of collaborative filtering techniques. *Advances in Artificial Intelligence*. New York, Hindawi Publishing Corporation, 2009, pp. 1–19. doi: 10.1155/2009/421425
9. Linden G., Smith B., York J. Item-to-Item Collaborative Filtering. *IEEE Internet Computing*. Los Alamitos, CA USA, 2003, p. 76–80

10. Richter J. Sozdanie jeffektivnyh WIN32-prilozhenij s uchjotom specifiky 64-razrjadnoj versii Windows [Programming Applications for Microsoft WINDOWS]. – Saint Petersburg, Piter Publ. and Moscow, Russkaja Redakcija Publ., 2011. – 752 p.
11. Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G. ImageNet classification with deep convolutional neural networks. *Advances in Neural Information Processing Systems 25 (NIPS 2012)*. Vol. 25. Lake Tahoe, Nevada, 2012, pp. 1097–1105.

Надійшла (received) 12.05.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Відстеження процесів із різними ознаками у Windows 7/8/10 / Є. О. Лобода, Є. О. Тимофей // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 28 (1250). – С. 65–69. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-0023.

Отслеживание процессов с различными признаками в Windows 7/8/10 / Е. А. Лобода, Е. О. Тимофей // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 28 (1250). – С. 65–69. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-0023.

Tracking processes with different characteristics in Windows 7/8/10 / E. A. Loboda, E. O. Timofey // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov : NTU "KhPI", 2016. – No. 28 (1250). – P. 65–69. – Bibliogr.: 11. – ISSN 2079-0023.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Лобода Євген Олександрович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри обчислювальної техніки та програмування; тел.: +38(057) 336-41-68; e-mail: loboda.eugene@gmail.com

Лобода Евгений Александрович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри вичислювальної техніки та програмування; г. Харків, Україна; тел.: +38(057) 336-41-68; e-mail: loboda.eugene@gmail.com

Loboda Eugene Alexandrovich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Professor at the Department of Computer Engineering and Programming; tel.: +38(057) 336-41-68; e-mail: loboda.eugene@gmail.com

Тимофей Євген Олегович – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; студент факультету комп'ютерних та інформаційних технологій; тел.: +38(098) 542-53-73).

Тимофей Евгений Олегович – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; студент факультета комп'ютерних та інформаційних технологій; тел.: +38(098) 542-53-73).

Timofey Eugene Olegovich – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", student of Faculty of Computer and Information Technology, tel.: +38(098) 542-53-73.

УДК 004.891.3

С. Ф. ЧАЛИЙ, І. Б. ПРИБИЛЬНОВА**ПОБУДОВА СИТУАЦІЙНОГО ПРЕДСТАВЛЕННЯ ЗНАТЬ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЛОГІВ**

В роботі розглянуто проблему побудови ситуаційних моделей представлення знань з використанням логів процесів. Розроблено методи пошуку патернів ситуації у вигляді послідовностей подій на трасах логів, а також побудови схеми дій ситуації, що використовує отримані патерни. Метод пошуку ситуацій комбінує використання обмежень по охопленню патерном трасам логів і по частоті появи послідовності подій ситуації у файлі логів. Метод побудови схеми дій ситуації призначений для побудови workflow – схеми ситуації з використанням алгоритму process mining на основі патерну у вигляді послідовності ситуацій, що дає можливість побудувати модель процесу у вигляді послідовності ситуацій із визначенням обмежень для кожної ситуації. Використання запропонованих методів дозволяє адаптувати модель ситуації та процесу в цілому до поточного стану предметної області з використанням відповідних правил.

Ключові слова: представлення знань, інтелектуальний аналіз процесів, ситуація, ситуаційне обчислення, обмеження.

В работе рассмотрена проблема построения ситуационных моделей представления знаний с использованием логов процессов. Разработаны методы поиска паттернов ситуации в виде последовательностей событий на трассах лога, а также построения схемы действий ситуации с использованием полученных паттернов. Метод поиска ситуаций комбинирует использование ограничений по охваченным патерном трассам лога и по частоте появления последовательности событий ситуации в файле лога. Метод построения схемы действий ситуации предназначен для построения workflow - схемы ситуации с использованием алгоритма process mining на основе паттерна в виде последовательности ситуаций, что дает возможность построить модель процесса в виде последовательности ситуаций с определением ограничений для каждой ситуации. Использование предложенных методов позволяет адаптировать модель ситуации и процесса в целом к текущему состоянию предметной области с использованием соответствующих правил.

Ключевые слова: представления знаний, интеллектуальный анализ процессов, ситуация, ситуационное вычисления, ограничения.

The problem of constructing situational models of knowledge representation using logs of processes is considered in the paper. The methods of searching for situation patterns in the form of sequences of events on log lines are developed, as well as the construction of a scheme of action of the situation using the obtained patterns. The situation search method combines the use of constraints on the paths covered by the log and the frequency of occurrence of the sequence of situation events in the log file. The method of constructing the scheme of the situation is designed to construct a workflow - a scheme of the situation using the process mining algorithm on the basis of the pattern in the form of a sequence of situations, which makes it possible to construct a model of the process in the form of a sequence of situations with the definition of constraints for each situation. Using the proposed methods allows us to adapt the model of the situation and the process as a whole to the current state of the subject using the appropriate rules.

Keywords: knowledge representation, processes mining, situation, situational calculation, constraints.

Вступ. Інтелектуальний аналіз процесів направлений на побудову їх моделей на основі дослідження записів про їх поведінку. Побудова ситуаційних моделей представлення знань в задачах інтелектуального аналізу процесів (process mining) передбачає пошук шаблонів поведінки дискретних процесів у конкретних ситуаціях, що визначаються станом предметної області. Такі патерни повинні відповідати заданій множині обмежень [1].

Поведінка дискретних процесів, як правило, фіксується в файлах логів у вигляді послідовності подій. Кожна з подій відображує виконання або зміну стану однієї з операцій процесу. Послідовний набір подій, що відповідає одній реалізації процесу, становить трасу логів. Побудова послідовностей дій процесу на основі аналізу його логів виконується методами process mining [2]. В загальному вигляді задача пошуку шаблонів поведінки полягає в визначенні послідовностей подій із трас логів з обмеженням на мінімальну кількість появ шаблону в файлі логів та подальшій побудові схеми подій одним з методів process mining. Однак використання лише одного обмеження у більшості випадків є недостатнім для пошуку патернів. Зависокий поріг дозволить отримати лише найбільш загальні ситуативні патерни виконання процесу, що не дозволить описати його поведінку у нетипових або виняткових ситуаціях, які виникають внаслідок непередбачених зовнішніх впливів. Результатом низького порогу є зavelика

кількість патернів, що не дозволяє узагальнити опис відповідної ситуації.

Тому вирішення проблеми побудови ситуаційних моделей на основі аналізу логів потребує врахування додаткових обмежень та відповідного переходу до інтелектуального аналізу процесів в обмеженнях, на основі поєднання методів process mining та constraint programming (програмування в обмеженнях). Програмування в обмеженнях становить собою парадигму, у відповідності до якої властивості рішення задаються у вигляді обмежень. Останні задають відносини між змінними. Рішенням задачі є кінцевий набір значень, що задовольняє всім обмеженням. В якості змінних, що характеризують ситуацію, в задачах інтелектуального аналізу процесів виступають атрибути подій. Атрибути характеризують дії процесу, об'єкти предметної області, з якими взаємодіє процес.

Зазначене свідчить про актуальність поєднання переваг обох підходів при побудові ситуаційних моделей представлення знань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Ситуаційне представлення знань відображує темпоральні знання у вигляді наборів ситуацій [3]. Стан кожної ситуації може бути описано засобами темпоральної логіки, а зміна станів задається як послідовність подій, що відображають результати виконання відповідних дій [4].

Однак прийнятий в ситуаційному обчисленні

підхід передбачає, що кожна ситуація відповідає результатам однієї дії процесу, тобто переходи між ситуаціями необхідно виконувати після кожної дії [4, 5]. Недоліком такого підходу є побудова «плаского», неструктурованого опису процесу в цілому, без виділення проміжних результатів.

Аналогічний неструктурований workflow - опис формується методами process mining в результаті аналізу логів процесів [2]. Така модель послідовності дій процесу задає схему його роботи в цілому, без визначення конкретних умов (ситуацій) для вибору відповідних послідовностей дій. Тобто отримана в результаті інтелектуального аналізу модель не дозволяє виявити причинно-наслідкові зв'язки для виконання дій та в подальшому адаптувати і виконувати процес на основі логічного виводу на таких знаннях.

Таким чином, питанням побудови заснованого на знаннях представлення дискретних процесів не приділяється достатньо уваги.

Метою цієї статті є побудова методу пошуку патернів ситуації у вигляді послідовностей подій на трасах логу, а також методу побудови схеми дій ситуації, що використовує отримані патерни. Це дає можливість на основі аналізу логу розділити процес на ситуації та представити знання про кожну ситуацію у вигляді алгоритму дій та обмежень на ці дії з урахуванням властивостей об'єктів, з якими оперує процес. Внаслідок такого рішення послідовність дій у конкретній ситуації вибирається з використанням правил вибору дій.

Методи побудови ситуаційних моделей. представлення знань.

Ситуаційна модель представлення знань містить у собі логічний опис стану ситуації; набір послідовностей дій, що реалізують окремі підпроцеси, а також обмеження для ситуації.

Дана модель використовується в рамках ситуаційного підходу до подання і моделювання темпоральних знань. У відповідності до даного підходу, знання про дискретні процеси представлені у формі множини ситуацій. Для кожної ситуації задаються умови виникнення та послідовність дій, тобто опис алгоритму поведінки процесу у даній ситуації. Після завершення заданого алгоритму змінюється стан предметної області – тобто виникає нова ситуація. Пов'язані з ситуацією обмеження задають можливі послідовності дій процесу в залежності від поточного стану предметної області.

Послідовність ситуацій задає опис дискретного процесу. Перехід між ситуаціями відбувається на транзакційній основі, тобто лише після повного завершення пов'язаного із ситуацією алгоритму. Часткове виконання алгоритму свідчить про те, що поточна ситуація продовжується.

У відповідності до наведеного опису ситуації як елемента дискретного процесу, можна зробити висновок, що при записі поведінки процесу ситуація відображується у вигляді набору підмножин послідовностей подій, заданих на різних трасах логу. Обмеження на виконання дій процесу записані в файлі

логу у вигляді відповідних значень атрибутів подій. Останні задають значення атрибутів об'єктів, з якими взаємодіє процес під час виконання цих дій.

Загальна проблема пошуку ситуацій на основі аналізу логів зводиться до пошуку послідовностей подій, що зустрічаються у заданій кількості трас логу.

Послідовність подій E_i , що відповідає i -ситуації, визначається наступним чином:

$$E_i = \left\{ e_{ij} \mid \forall e_{ij} \exists e_{ij-1} : e_{ij-1} \rightarrow e_{ij}, E = \bigcup_i E_i \right\}, \quad (1)$$

де e_{ij} – подія з траси логу процесу, що відповідає дії в i -й ситуації;

e_{ij-1} – подія, що є попередньою для e_{ij} на трасі логу;

E – множина всіх подій логу.

Вирішення проблеми пошуку ситуації потребує пошуку пар множин (послідовності подій, траси логу) при обмеженнях на відносну кількість трас:

$$s_i = \left\{ (E_i, \Pi_k) \mid \frac{|\Pi_k|}{|\Pi|} \geq \theta, L = \bigcup_k \Pi_k, E_i \subseteq \Pi_k \right\}, \quad (2)$$

де L – лог процесу;

s_i – i -ситуація;

Π_k – підмножина трас логу, для яких відбувалась ситуація s_i ;

θ – поріг для виявлення патернів ситуації.

Для подальшої уніфікації розгляду ситуації та методів її побудови відображення множини подій будемо формувати у двійковому вигляді, тобто якщо елемент e_{ij} множини подій логу E належить до потрібної ситуації s_i , то його відображення $e_{ij}^* = 1$, в іншому випадку $e_{ij}^* = 0$. Аналогічно для трас – якщо на трасі π виникли події ситуації, то відображення для траси приймає значення 1:

$$\pi \in \Pi_k \Rightarrow \pi^* = 1, \quad (3)$$

де π – траса логу;

π^* – двійкове відображення траси логу.

У відповідності до виразу (2), для опису ситуації як послідовності подій використовують два обмеження:

– по частоті появи ситуації, тобто $\frac{|\{\Pi_k\}|}{|\Pi|} \geq \theta$;

– по охопленим трасам логу Π_k .

Перше обмеження з урахуванням двійкового представлення відображень подій та трас обчислюється через суму трас, для яких виконується умова (3):

$$\frac{\sum_l \pi_{kl}^*}{|\Pi|} \geq \theta, \quad (4)$$

де π_{kl}^* – двійкове відображення траси логу, на якій зафіксовано патерн ситуації.

Оскільки кількість трас у файлі логу однакова для всіх ситуацій на значних проміжках часу, то при пошуку ситуацій знаменником у виразі (4) можна знехтувати.

Друге обмеження дозволяє визначити підмножину трас, які є суттєвими для досягнення результатів процесу з точки зору користувача. Наприклад, при виконанні процесу з мінімальними витратами часу або інших ресурсів.

Поріг (4) може бути встановлений з використанням двох підходів. У відповідності до першого, потрібно апріорно задати кількість трас логу, на яких виникла потрібна ситуація. Згідно другого підходу, доцільно комбінувати обидва обмеження та шукати мінімальне значення θ , при умові виконання обмеження по охопленню трасам.

Запропонований метод пошуку патернів ситуації як множини подій містить у собі наступні етапи.

Етап 1. Побудова матриці розміру $|E| \times |\Pi|$ для відображення у двійковому вигляді подій на трасах логу. Елементи даної матриці мають значення «1» в тому випадку, якщо подія присутня на трасі логу, та «0» у протилежному.

Етап 2. Визначення події e_{ij} з мінімальним значенням $\sum_l \pi_{kl}^*$. При апріорному визначенні θ виконується перевірка обмеження (4).

Етап 3. Видалення трас, в яких не представлена подія e_{ij} .

Етап 4. Перевірка обмеження по охопленню трас логу. У випадку невиконання даного обмеження подія e_{ij} видаляється, а траса повертається до ситуації. В протилежному – e_{ij} включається до складу ситуації.

Етап 5. У випадку виключення події виконується перевірка на цілісність ситуації у відповідності до умови (5).

$$\exists \pi_k : \forall e_{ij} \in E_i \exists e_{i-1} \rightarrow e_{ij}, e_{i-1}, e_{ij} \in \pi_k, \quad (5)$$

де π_k – траса логу, що задовольняє обмеженню по охопленню трас.

Якщо умова (5) виконується, то перейти до етапу 2. В іншому випадку виділяються дві ситуації. По кожній з нових ситуацій робота алгоритму починається з етапу 1.

Таким чином, метод комбінє використання обмежень по охопленню трасам логу і по частоті появи послідовності подій ситуації. Спочатку розглядається подія з мінімальним значенням $\sum_l \pi_{kl}^*$

та робиться спроба включати дану подію до складу ситуації. При виконанні спроби видаляються траси, які не містять у собі необхідної події. Видалення трас зменшує охоплення для ситуації, що розглядається. Тому необхідно перевірити, чи задовільняється дане обмеження. Якщо обмеження не виконується, то поточну подію необхідно видалити із даної ситуації.

Потім розглянуті кроки повторюються для іншої події. Додатково перевіряється обмеження на цілісність ситуації, тобто для кожної пари подій (e_{i-1}, e_{ij}) ситуації повинна існувати хоча б одна траса, на якій вони записані послідовно. Результатом даного методу є послідовність подій, що складає ситуацію.

Результуюча послідовність залежить в першу чергу від визначення обмеження охоплення. В загальному випадку траси можуть бути віднесені до множини Π_k за різними критеріям, представленими у вигляді атрибутів подій.

Семантика цих критеріїв залежить від виду процесу. Наприклад, для бізнес-процесів у якості критеріїв можуть бути вибрані: ролі та прізвища виконавців, підприємство або країна, де виконувався процес. Для процесів у соціальних мережах критеріями можуть виступати групи персональних даних користувачів, проміжки часу, коли користувачі взаємодіяли в мережі, тощо. Для процесів розробки програмного забезпечення – категорія програмного продукту.

Отримана в результаті застосування розробленого методу послідовність подій ситуації може містити різні значення частоти появи для різних подій. Це означає, що на різних трасах логу виконання дій процесу в конкретній ситуації йшло в різній послідовності, в залежності від поточного стану об'єктів, з якими оперує процес. Тому для отримання представлення знань про дії процесу необхідно інтегрувати результати пошуку у парадигму process mining.

Ідея такої інтеграції полягає у фільтрації складових трас логу та видаленні подій, що не мають відношення до отриманої ситуації.

Метод побудови схеми дій ситуації містить у собі розглянутий вище пошук патернів, фільтрацію подій та побудову workflow – схеми з використанням алгоритму process mining. Метод складається з наступних етапів.

Етап 1. Формування обмежень по охопленню трас. Вхідними даними етапу є множина атрибутів об'єктів, з якими взаємодіє процес, а також значень цих атрибутів. Результатом етапу є множина Π_k .

Етап 2. Побудова патернів ситуацій у вигляді послідовностей подій у відповідності до розглянутого вище методу.

Етап 3. Фільтрація підмножини Π_k трас логу. Зі вказаної підмножини трас видаляються події, що не належать до знайденого патерну. Результатом даного етапу є відфільтрований лог, який може бути використаний для побудови схеми дій процесу.

Етап 4. Побудова workflow – схеми для знайденої ситуації з використанням алгоритмів process mining.

Етап 5. Доповнення дій із workflow – схеми обмеженнями на виконання у вигляді пар «атрибут-значення». На даному етапі використовуються вхідні дані – обмеження охоплення трас, а також події з патерну ситуації.

Кожна подія у складі логу містить у собі опис значень атрибутів відповідних об'єктів. До цих

атрибутів належать характеристики дії, яка зафіксована у вигляді події логу. Це дає можливість співставити дії ситуації та значення відповідних атрибутів.

Висновки. Розроблено методи пошуку патернів ситуації у вигляді послідовностей подій на трасах логу, а також побудови схеми дій ситуації, що використовує отримані патерни.

Перший метод комбінує використання обмежень по охопленню трасам логу і по частоті появи послідовності подій ситуації у файлі логу. Отримана в результаті застосування методу послідовність подій забезпечує можливість формування графу дій процесу в заданій ситуації.

Другий метод призначений для побудови workflow – схеми ситуації з використанням алгоритму process mining на основі патерну у вигляді послідовності ситуацій, що дає можливість побудувати модель процесу у вигляді послідовності ситуацій із визначенням обмежень для кожної ситуації.

В практичному плані використання запропонованих методів дозволяє адаптувати модель ситуації та процесу в цілому до поточного стану предметної області з використанням відповідних правил вибору дій.

Список литературы

1. *Mannila H.* Levelwise search and borders of theories in knowledge discovery / *H. Mannila, H. Toivonen* // *Data Mining Knowledge Discovery*. – 1997. – № 1 (3). – P. 241–258.
2. *Van der Aalst W. M. P.* *Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes* / *W. M. P. Van der Aalst*. – Springer, Berlin Heidelberg, 2011. – 352 p.
3. *Reiter R.* *Knowledge in Action: Logical Foundations for Specifying and Implementing Dynamical Systems* / *R. Reiter*. – MIT Press, 2001. – 448 p.
4. *Reiter R.* On knowledge-based programming with sensing in the situation calculus / *R. Reiter* // *ACM Transactions on Computational Logic*. – 2001. – № 2 (4). – P. 433–457.
5. *Van Harmelen F.* *Handbook of Knowledge Representation (Foundations of Artificial Intelligence)* / *F. van Harmelen, V. Lifschitz, B. Porter*. – Elsevier Science, 2008. – 1034 p.

References (transliterated)

1. *Mannila H., Toivonen H.* Levelwise search and borders of theories in knowledge discovery. *Data Mining Knowledge Discovery*. 1997. no. 1 (3), pp. 241–258.
2. *Van der Aalst W. M. P.* *Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes*, Springer, Berlin Heidelberg, 2011. 352 p.
3. *Reiter R.* *Knowledge in Action: Logical Foundations for Specifying and Implementing Dynamical Systems*, MIT Press, 2001. 448 p.
4. *Reiter R.* On knowledge-based programming with sensing in the situation calculus. *ACM Transactions on Computational Logic*. 2001, no. 2 (4), pp. 433–457.
5. *Van Harmelen F., Lifschitz V., Porter B.* *Handbook of Knowledge Representation (Foundations of Artificial Intelligence)*, Elsevier Science, 2008. 1034 p.

Надійшла (received) 22.05.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Побудова ситуаційного представлення знань на основі аналізу логів / С. Ф. Чалий, І. Б. Прибільнова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 28 (1250). – С. 70–73. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-0023.

Построение ситуационного представления знаний на основе анализа логов / С. Ф. Чалий, И. Б. Прибільнова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 28 (1250). – С. 70–73. – Библиогр.: 5 назв. – ISSN 2079-0023.

Construction of a situational representation of knowledge based on the analysis of logs / S.F. Chaly, I.B. Pribylnova // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – № 28 (1250). – P. 70–73. – Bibliogr.: 5. – ISSN 2079-0023.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Чалий Сергій Федорович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційних управляючих систем Харківського національного університету радіоелектроніки, м. Харків, тел.: (057) 702-14-51; e-mail: serhii.chalyi@nure.ua.

Прибільнова Інна Борисівна – доцент кафедри економічної кібернетики та управління економічною безпекою Харківського національного університету радіоелектроніки, м. Харків, тел.: (057) 702-14-90; e-mail: inna.butukina@nure.ua.

Чалий Сергей Федорович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных управляющих систем Харьковского национального университета радиоэлектроники, г. Харьков, тел.: (057) 702-14-51; e-mail: serhii.chalyi@nure.ua.

Прибільнова Инна Борисовна – доцент кафедры экономической кибернетики и управления экономической безопасностью Харьковского национального университета радиоэлектроники, г. Харьков, тел.: (057) 702-14-90; e-mail: inna.butukina@nure.ua.

Chaly Serhii – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Professor of the Department of Information Control Systems of the Kharkiv National University of Radioelectronics, c. Kharkiv, (057) 702-14-51; e-mail: serhii.chalyi@nure.ua.

Pribylnova Inna – Associate Professor of the Department of Department of Economic Cybernetics and Management of Economic Security of the Kharkiv National University of Radioelectronics, c. Kharkiv, (057) 702-14-90; e-mail: inna.butukina@nure.ua.

В. М. ЛЕВИКІН, О. В. ЧАЛА

МОДЕЛЬ БАЗИ ЗНАТЬ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПРОЦЕСНОГО УПРАВЛІННЯ

В роботі розроблено представлення знань для інформаційної системи процесного управління. Зазначене представлення знань містить у собі набір артефактів, з якими взаємодіє бізнес-процес, а також залежності між цими артефактами і між значеннями їх атрибутів. Артефакти включають в себе будь-які сутності, що використовуються процесом. Відносини між артефактами підрозділяються на статичні обмеження, а також правила вибору дій і об'єктів, що залежать від часу. Розроблене представлення може бути побудовано на основі аналізу логів бізнес-процесів методами інтелектуального аналізу процесів і даних. Запропоновано модель бази знань ІС процесного управління. Модель включає в себе розроблене представлення знань, а також набір операцій з визначення властивостей артефактів, побудови і уточнення представлення знань. Модель забезпечує можливість інкрементного поповнення бази знань по мірі виконання бізнес-процесів.

Ключові слова: база знань, інтелектуальний аналіз процесів, процесне управління, контекст, артефакт.

В работе предложено представление знаний для информационной системы процессного управления. Данное представление знаний включает в себя набор артефактов, с которыми взаимодействует бизнес-процесс, а также зависимости между этими артефактами и между значениями их атрибутов. Артефакты включают в себя любые используемые процессом сущности. Отношения между артефактами подразделяются на статические ограничения и зависящие от времени правила выбора действий и объектов. Разработанное представление может быть построено на основе анализа логов бизнес-процессов методами интеллектуального анализа процессов и данных. Предложена модель базы знаний ИС процессного управления. Модель включает в себя разработанное представление знаний, а также набор операций по извлечению свойств артефактов, построению и уточнению представления знаний. Модель обеспечивает возможность инкрементного пополнения базы знаний по мере выполнения бизнес-процессов.

Ключевые слова: база знаний, интеллектуальный анализ процессов, процессное управление, контекст, артефакт.

In this paper, knowledge representation for the information system of process control is offered. This knowledge representation includes a set of artifacts with which the business process interacts, as well as the relationships between these artifacts and between the values of their attributes. Artifacts include any entities used by the process. The relationship between artifacts is divided into static constraints and time-dependent rules for selecting actions and objects. The developed view can be built on the basis of analyzing the logs of business processes using methods of intelligent analysis of processes and data. A model of knowledge base IP of process control is proposed. The model includes the developed representation of knowledge, as well as a set of operations for extracting the properties of artifacts, constructing and refining the knowledge representation. The model provides an opportunity for incremental replenishment of the knowledge base as the business processes are carried out.

Keywords: knowledge base, intelligent process analysis, process control, context, artifact.

Вступ. Системи процесного управління передбачають виділення в діяльності підприємства та побудову моделей множини бізнес-процесів (БП). Кожен з бізнес-процесів описує послідовність дій, необхідну для вирішення відповідної функціональної задачі без врахування зв'язку з організаційною структурою підприємства [1].

Процесне управління підприємством виконується за допомогою управління бізнес-процесами з використанням їх моделей [2]. При використанні процесного підходу реалізується управління по відхиленню, що в умовах постійних змін вимог ринку, складу виконавців, заміни ресурсів процесу потребує постійного контролю адекватності моделей бізнес-процесів.

Вирішення цієї проблеми для класу знання-ємних бізнес-процесів (ЗБП) пов'язане зі значними труднощами, тому що такі процеси можуть змінювати задану в моделі послідовність дій на основі рішень виконавців (knowledge workers) [3]. В результаті знижується адекватність процесної моделі.

При ухваленні рішень про зміну ходу виконання ЗБП виконавці використовують як загальнодоступні явні знання, так і персональні знання і досвід [4]. Персональні знання зазвичай містять у собі недокументовані бізнес-правила, а також шаблони виконання дій, і тому не включаються в модель бізнес-процесу при її створенні і конфігурації.

Таким чином, при реалізації управління гнучкими бізнес-процесами, що адаптуються на основі знань, актуальною є проблема виділення, формалізації і використання знань для забезпечення адекватності

процесної моделі. Відзначимо, що традиційні методи виявлення знань вимагають значних витрат людських ресурсів, що свідчить про актуальність використання альтернативних підходів до виявлення знань, зокрема на основі аналізу поведінки бізнес-процесів при процесному управлінні.

Для вирішення наведеної проблеми необхідно представити знання бізнес-процесу окремо від його традиційної моделі, у вигляді окремої бази знань (БЗ), що містить патерни та правила вибору дій процесу, а також обмеженнями на виконання таких дій. Структура такої БЗ значною мірою залежить від особливостей бізнес-процесів, вхідних даних, що використовуються для виявлення знань, а також підходів до побудови та постійного поповнення бази знань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ключова особливість гнучких знання-ємних бізнес-процесів полягає в тому, що при їх виконанні і адаптації використовуються як явні такі неявні знання [3]. При цьому неявні патерни управління, а також обмеження на виконання БП відбивають персональний досвід виконавців і мають наступні характеристики [4, 5]:

- враховують поточний стан контексту виконання бізнес-процесу;
- представлені в неявному виді;
- не відбиті в його формальній моделі.

Вказані особливості процесного підходу для гнучких знання-ємних бізнес-процесів показують, що виконавці можуть підвищити ефективність процесного управління за рахунок використання нових шаблонів і правил в порівнянні з представленими у фор-

мальній моделі [4].

Для того, щоб включити додаткові можливості в модель, необхідно виділити відповідні знання і представити їх у формальному виді – тобто провести екстерналізацію знань, після чого доповнити базу знань інформаційної системи. Завдання екстерналізації і формування бази знань вимагають розробки відповідних формальних принципів і підходів [6].

Можливість виділення розглянутих знань забезпечується тим, що до складу інформаційно-управляючої системи зазвичай входить модуль запису логів. Тому у системах процесного управління сліди застосування розглянутих неявних знань відображаються у логах бізнес-процесів. Це забезпечує умови для виявлення і подальшої формалізації неявних залежностей на основі аналізу логів БП методами інтелектуального аналізу процесів (process mining) [7]. Потім виділені залежності можуть бути включені до складу бази знань ІУС.

Проте питання побудови баз знань інформаційних систем процесного управління на основі аналізу логів процесів нині розроблені недостатньо.

Метою цієї статті є побудова моделі бази знань інформаційної системи процесного управління, яка забезпечувала б поповнень знань на основі аналізу поведінки бізнес-процесів, представленої у форматі логів ІУС.

Знання, що забезпечують підтримку процесного управління, задають як обмеження на хід виконання ЗБП, так і нові, не враховані в апріорній моделі бізнес-процесу, можливості ефективного управління в залежності від поточного контексту виконання дій.

Вимоги до представлення і виділення знань при управлінні гнучкими багатоваріантними бізнес-процесами. Структура гнучких знання-емних БП відрізняється від структури традиційного бізнес-процесу з апріорно заданою послідовністю дій. Останній зазвичай описується за допомогою набору моделей, що відображають різні аспекти функціонування БП: процесів, даних, функцій, входів і виходів, а також моделі організації, в якій виконується процес. Недолік такої структуризації стосовно заснованих на знаннях бізнес-процесів полягає в наступному.

При побудові моделей традиційних БП з заданим набором послідовностей дій залежності, що визначають вибір цих дій, а також обмеження на виконання дій розподілені по різних аспектах процесу. Це створює труднощі при оперативному вдосконаленні гнучких процесів на основі знань виконавців.

Запропонована структуризація гнучкого знання-емного бізнес-процесу дозволяє виділити три ключові компоненти в його структурі: контекст процесу; набір патернів, правил і обмежень, що визначають вибір дій, з урахуванням поточного стану контексту та його елементів; набір послідовностей дій бізнес-процесу у вигляді його workflow (ланцюжків робіт).

Вказана структура забезпечує можливість виділення знань на основі аналізу поведінки процесу і подальшого доповнення моделі шляхом включення до неї нових залежностей, які дозволяють або обмежують

використання послідовностей дій в конкретному контексті.

Слід зазначити, що традиційна структура бізнес-процесу зводиться до запропонованої схеми шляхом застосування орієнтованого на артефакти опису контексту [8]. Артефактами в даному випадку є об'єкти предметної області, що використовуються бізнес-процесом, або впливають на хід виконання бізнес-процесу. Стан контексту визначається станом артефактів і взаємозв'язками між ними. Стан артефактів визначається поточними значеннями їх атрибутів.

Тому у формі артефактів можуть бути представлені не лише матеріали, комплектуючі, підрозділи організації, виконавці користувачі, обладнання, інфраструктура, але і окремі дії процесу.

В умовах змін вимог ринку, складу виконавців, обладнання, та інших ресурсів бізнес-процесу знижується адекватність його моделі. Тому при управлінні з використанням знань виконується постійне вдосконалення бізнес-процесів. Таке удосконалення передбачає інкрементне доповнення рівня знань процесної моделі виявленими залежностями. У модель при цьому включаються як відомі формальні, так і екстерналізовані неформальні знання виконавців. Під екстерналізацією розуміють перетворення неявних знань в явний, документований вигляд.

Для обґрунтування запропонованої структури бази знань інформаційної системи процесного управління деталізуємо особливості використання, представлення і виявлення знань при управлінні знання-емними бізнес-процесами.

По-перше, знання можуть бути застосовані для вирішення таких завдань процесного управління:

- підтримки виконання БП;
- реорганізації або реінжинірингу процесу зі зміною окремих послідовностей дій або моделі процесу в цілому;
- отримання результатів процесу.

По-друге, при управлінні ходом виконання ЗБП можуть бути використані два види знань:

- формалізовані (чи документовані) знання, які включені до моделі бізнес-процесу;
- персональні знання виконавців, формалізація яких традиційними методами пов'язана зі значними труднощами.

По-третє, знання для вказаних процесів можуть бути отримані та використані двома різними способами:

- як результат (вихід) бізнес-процесу, отриманий внаслідок його успішного завершення;
- в якості результату дій персоналу, дій ЗБП, що призводять до зміни алгоритму, під час його виконання; при цьому використовуються формалізовані досвід і персональні знання виконавців процесу.

Виходячи із запропонованої структуризації знання-емного бізнес-процесу, знання у БЗ повинні відображати такі його структурні особливості, що забезпечують можливість адаптивного процесного управління:

- залежності між діями процесу, які формують його послідовність робіт (workflow);

– залежності між об'єктами процесу; під ними розумітимемо усі сутності предметної області, з якими взаємодіє (наприклад, використовує) ЗБП;

– залежності між об'єктами і діями процесу, які визначають можливі послідовності операцій процесу залежно від наявності і стану пов'язаних з цими діями об'єктів;

– залежності між діями декількох процесів, що виконуються паралельно.

Надалі і об'єкти і дії розглядатимемо як артефакти бізнес-процесу.

Таким чином, знання у БЗ інформаційної системи процесного управління повинні характеризуватися наступними ключовими властивостями:

– контекстна залежність;

– наявність правил, патернів вибору дій, а також обмежень на допустимі в конкретному контексті дії.

Залежність від **контексту** показує, що при виконанні дій процесу необхідно враховувати сукупність артефактів, з якими взаємодіє бізнес-процес, а саме:

– залежності між артефактами предметної області;

– поточний стан цих артефактів.

Виконаний аналіз особливостей представлення, використання і виявлення знань при процесному управлінні дозволяє сформулювати наступні вимоги до завдань формування і поповнення бази знань інформаційної системи:

– виділення знань як окремої складової гнучких багатоваріантних бізнес-процесів;

– розподіл необхідних для реалізації процесного управління знань на патерни вибору послідовностей дій бізнес-процесу і обмеження на виконання таких дій;

– необхідність постійного уточнення складової знань на основі зіставлення планової поведінки бізнес-процесу, що задається його моделлю, а також його поточної поведінки, зафіксованої у формі послідовності подій в його лозі (реєстраційному журналі);

– забезпечення можливості екстерналізації знань, які були використані виконавцями для зміни поведінки ЗБП засобами інтелектуального аналізу даних і процесів.

Модель бази знань інформаційної системи процесного управління. В якості вхідної інформації при побудові бази знань ІС процесного управління можуть бути використані як неструктуровані, так і структуровані дані.

Логи інформаційних систем процесного управління структурують дані про виконання БП по окремих процесах. Кожен екземпляр процесу, що був виконаний, фіксується у вигляді впорядкованої за часом послідовності подій. Тому такі логи розглядатимемо як структуровані вхідні дані.

Дані у логах інформаційних систем, що реалізують функціональне управління, розглядатимемо як неструктуровані. У таких логах події зазвичай впорядковані в часі, але не пов'язані з конкретними процесами. Тобто лог містить «змішану» послідовність подій, які відображують виконання різних функціональних задач.

Структуровані початкові дані можуть бути використані при доповненні бази знань і відповідному уточненні моделей бізнес-процесів, а неструктуровані – при вирішенні задачі переходу до процесного управління, первинній побудові бази знань і формуванні прототипів процесних моделей.

Результуюча структура бази знань базується на реляційній моделі, та містить інформацію про властивості артефактів предметної області, а також зв'язки між цими артефактами. Можливість такого узагальнення представлення знань виникає внаслідок того, що в якості артефактів розглядаються не тільки об'єкти, що використовуються бізнес-процесом, але і його дії. Тому знання про статичні і динамічні властивості БП як об'єкту управління можуть бути представлені єдиним чином.

Відповідно до розглянутих особливостей представлення знань в системах процесного управління, для зберігання інформації і знань про артефакти у базі знань доцільно використовувати елементи наступних базових типів:

– артефакт;

– залежність між артефактами;

– атрибут артефакту;

– залежність між атриб. Af утами.

Тоді представлення знань для інформаційної системи процесного управління має вигляд:

$$Kr = \{Af, R\}, \quad (1)$$

де Kr – множина артефактів, які характеризуються набором своїх атрибутів;

R – множина зв'язків між артефактами і їх атрибутами.

Кожен з артефактів характеризується множиною атрибутів і їх можливих значень:

$$Af = \{Af_i\}, Af_i = \{a_{ij}\}, a_{ij} = \{v_{ij}^m\}, \quad (2)$$

де Af_i – артефакт предметної області;

a_{ij} – атрибут артефакту;

v_{ij}^m – значення атрибута артефакту; Af

Множина відношень представляється наступним чином:

$$R = \{ \langle a_{ij}, a_{lk} \rangle \} \cup \{ \langle v_{ij}^s, v_{lk}^n, \{t_m\} \} | t_m \in T \}, \quad (3)$$

де $\langle a_{ij}, a_{lk} \rangle$ – впорядковане відношення між атрибутами артефактів;

$\langle v_{ij}^s, v_{lk}^n, \{t_m\} \rangle$ – відношення між значеннями атрибутів;

$\{t_m\}$ – множина моментів часу, для яких виконується відношення між значеннями атрибутів;

T – множина міток часу для зафіксованих у файлі логу подій.

Таким чином, представлення знань Kr включає як статичні залежності між атрибутами артефактів, так і залежності між значеннями цих атрибутів, що змінюються протягом часу.

Тоді зв'язки між артефактами (або атрибутами) можна розглядати в якості обмежень, а зв'язки між значеннями атрибутів – в якості правил (шаблонів) вибору дій.

Наприклад, зв'язки між найменуваннями операцій і конкретною роллю, а також ім'ям виконавця задають правило пріоритетного вибору конкретного працівника на певну роль при виконанні заданої операції бізнес-процесу.

З урахуванням приведеної семантики відношень (3) представлення знань приймає наступний вигляд:

$$\begin{aligned} Kr &= \{Af, RI, Cn\}, \\ Cn &= \{Cn_d\}, Cn_d = \langle a_{ij}, a_{lk} \rangle \\ RI &= \{RI_z\}, RI_z = \langle v_{ij}^s, v_{lk}^n, \{t_m\} \mid t_m \in T \end{aligned} \quad (4)$$

де Cn – залежності, що визначають обмеження на виконання бізнес-процесу;

RI – правила, що задають вибір конкретних артефактів (наприклад, виконавців, дій) при виконанні процесу.

Оскільки відносини для правил і обмежень задають порядок між атрибутами їх значеннями відповідно, то окремі елементи Cn и RI доцільно перекласифікувати наступним чином:

$$Cn_d \equiv a_{ij} \Rightarrow a_{lk}, \quad (5)$$

$$\begin{aligned} RI_z &\equiv v_{ij}^s \Rightarrow v_{lk}^n \mid \forall v_{ij}^s \exists t_{sm} \wedge \\ &\forall v_{lk}^n \exists t_{nm}, t_{sm}, t_{nm} \in T \end{aligned} \quad (6)$$

де t_{sm} – мітка часу події логу, в описі якої вказано значення v_{ij}^s атрибуту a_{ij} ;

t_{nm} – мітка часу події логу, в описі якої вказано значення v_{lk}^n атрибуту a_{lk} .

Основні операції, які забезпечують формування моделі подання знань Kr , включають в себе:

- виявлення атрибутів артефактів;
- узагальнення знань про предметну область у вигляді залежностей між артефактами і їх атрибутами;
- установка пріоритетів для залежностей в базі знань;
- ітеративне уточнення і доповнення залежностей.

Представлений вибір операцій базується як на особливостях вхідних даних – логу процесу, так і на ітеративному характері процесного управління: після завершення бізнес-процесу виконується аналіз його результатів та, при необхідності, коригування моделі. Знову процес запускається вже з уточненою моделлю.

Представлення знань (4), а також їх складових необхідно доповнити для того, щоб забезпечити можливість виконання введених операцій по роботі зі знаннями.

По-перше, введемо в узагальнені правила і обмеження:

$$Kr = \{Af, RI, Cn, RI^*, Cn^*\}, \quad (7)$$

де RI^* – інтегровані правила;

Cn^* – інтегровані обмеження.

Правила RI^* об'єднують кілька залежностей між атрибутами артефакту:

$$RI^* = \bigvee_i RI_i, \{RI_i\} \subset RI, \quad (8)$$

де RI_i – узагальнені правила.

Підмножина обмежень Cn_j узагальнюється аналогічно:

$$Cn^* = \bigvee_j Cn_j, \{Cn_j\} \subset Cn, \quad (9)$$

По-друге, для правил і обмежень задаються пріоритети.

По-третє, для кожного атрибута може бути задано кілька найменувань, що використовуються в логах бізнес-процесів.

База знань Kb інформаційної системи процесного управління включає в себе як представлення знань у формі (7), доповнене ваговими коефіцієнтами, так і розглянутий набір операцій по роботі з цим представленням:

$$Kb = \langle Kr^w, F \rangle, \quad (10)$$

де Kr^w – представлення знань з заданими для правил ваговими коефіцієнтами;

F – набір операцій по роботі с Kr^w .

Висновки. Розроблено представлення знань для інформаційної системи процесного управління. Зазначене представлення знань містить у собі набір артефактів, з якими взаємодіє бізнес-процес, а також зв'язки між цими артефактами. Артефакти включають в себе сутності, що використовуються процесом, зокрема виконавців, операції тощо. В рамках запропонованого опису знань кожен артефакт характеризується набором атрибутів, а також можливими значеннями цих атрибутів. Відносини між артефактами включають в себе статичні обмеження і правила вибору дій і об'єктів, що залежні від часу.

Розроблене представлення може бути побудовано на основі аналізу логів бізнес-процесів методами process, data mining.

Вперше запропоновано модель бази знань ІС процесного управління. Модель включає в себе розроблене представлення знань, а також набір операцій з виявлення властивостей артефактів, побудові і уточненню уявлення знань. Модель забезпечує можливість інкрементного поповнення бази знань і, на цій основі, підвищення ефективності процесного управління в умовах використання знань виконавців для впливу на хід виконання бізнес-процесу.

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. Korf // 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. *Ross R.G. Business Rule Concepts: Getting to the Point of Knowledge / R.G. Ross.* – Business Rule Solutions Incorporated, 2013. – 162 p.
6. *El-Den J.A. Tacit knowledge externalization among geographically distributed small groups/ J. A. El-Den.* – PhD Thesis's, University of Technology, Sydney, Australia, 2009. – 323 p.
7. *Van der Aalst W. M. P. Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes / W. M. P. Van der Aalst.* – Springer, Berlin Heidelberg, 2011. – 352 p.
8. *Cohn D. Business artifacts: A data-centric approach to modeling business operations and processes / D. Cohn, R. Hull // Bulletin of the IEEE Computer Society Technical Committee on Data Engineering.* – 2009. – № 32 (3). – P. 1–7.

References (transliterated)

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. *Ross R.G. Business Rule Concepts: Getting to the Point of Knowledge, Business Rule Solutions Incorporated, 2013. 162 p.*
6. *El-Den J.A. Tacit knowledge externalization among geographically distributed small groups, PhD Thesis's, University of Technology, Sydney, Australia, 2009. 323 p.*
7. *Van der Aalst W. M. P. Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes, Springer, Berlin Heidelberg, 2011. 352 p.*
8. *Cohn D., Hull R. Business artifacts: A data-centric approach to modeling business operations and processes. Bulletin of the IEEE Computer Society Technical Committee on Data Engineering. 2009, no. 32(3), pp. 1–7.*

Надійшла (received) 22.05.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Модель бази знань інформаційної системи процесного управління / В. М. Левикін, О. В. Чала // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 28 (1250). – С. 74–78. – Бібліогр.: 8 назв. – ISSN 2079-0023.

Модель базы знаний информационной системы процессного управления / В. М. Левыкин, О. В. Чалая // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 28 (1250). – С. 74–78. – Библиогр.: 8 назв. – ISSN 2079-0023.

Model of the knowledge base of the process management Information system / V. M. Levykin, O. V. Chala // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No. 28 (1250). – P. 74–78. – Bibliogr.: 8. – 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.

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.

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.

Чалая 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.

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.

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.

М. Д. ГОДЛЕВСКИЙ, Д. А. ДАБАГЯН

МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ БАНКА В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННЫХ РЕСУРСОВ

Пропонується модель оптимізації привабливості банку на основі ряду критеріїв, заданих експертами. Модель містить ієрархію критеріїв, побудовану за допомогою методу аналізу ієрархій. Важливість критеріїв визначалася за допомогою методу парних порівнянь Саати. Проводиться параметричний аналіз важливості критеріїв для оцінки ступеня впливу критерію на оцінку банку. На основі цього аналізу, формується математична модель вирішення задачі розподілу інвестицій за цими критеріями оптимальним чином.

Ключові слова: метод парних порівнянь, оцінка привабливості банку, задача розподілу ресурсів, оптимізація функціонування банку, метод аналізу ієрархій.

Предлагается модель оптимизации привлекательности банка на основе ряда критериев, заданных экспертами. Модель содержит иерархию критериев, построенную с помощью метода анализа иерархий. Важность критериев определялась с помощью метода парных сравнений Саати. Проводится параметрический анализ важности критериев для оценки степени влияния критерия на оценку банка. На основе этого анализа, формируется математическая модель решения задачи распределения инвестиций по данным критериям оптимальным образом.

Ключевые слова: метод парных сравнений, оценка привлекательности банка, задача распределения ресурсов, оптимизация функционирования банка, метод анализа иерархий.

A model is proposed for optimizing the attractiveness of the bank on the basis of a number of criteria set by experts. The model contains a hierarchy of criteria built using the hierarchy analysis method. The importance of the criteria was determined using the Saati pair comparison method. A parametric analysis of the importance of the criteria for assessing the degree of influence of the criterion on the assessment of the bank is carried out. Based on this analysis, a mathematical model of solving the problem of investment distribution according to these criteria is formed in the optimal way. The resource allocation problem is solved using the simplex method.

Keywords: paired comparison method, bank attractiveness evaluation, resource allocation problem, optimization of banking process, hierarchy analysis method.

Введение. На сегодняшний день, банковская система Украины находится в состоянии кризиса. В условиях нынешней экономической ситуации, население перестает доверять банкам, соответственно, уменьшается число вкладчиков. С другой стороны, в самой банковской системе существует конкуренция. Поэтому, любой банк кровно заинтересован в завоевании доверия населения, и, как следствие, в привлечении новых клиентов.

В силу упомянутых причин, руководства банков проводят политику оптимизации деятельности с целью повышения доверия, повышения качества обслуживания и увеличения привлекательности банка для клиентов.

Обзор существующих подходов к оцениванию банка. На сегодняшний день, существует ряд работ, посвященных привлекательности банка для клиентов. В данной статье, под привлекательностью понимается следующее: привлекательность организации будет рассматриваться как совокупность свойств, отличающих ее от других хозяйствующих объектов более высокой степенью удовлетворения своими услугами потребностей населения, эффективностью деятельности, возможностью и динамикой адаптации к условиям рыночной конъюнктуры [1].

Существует множество критериев оценки привлекательности банка. Например, имидж банка, качество и удобство обслуживания в нем, наличие и привлекательность услуг, финансовые показатели и др. [2].

Обычно, оценка финансовой организации происходит уже после того, как клиент воспользовался ее услугами. Одна из возможных классификаций критериев:

- качественные первостепенные – репутация и надежность банка;
- количественные первостепенные – тарифы и комиссии;
- количественные нерегулярные – разовые выплаты за выдачу, за досрочное расторжение договора и т. д.;
- качественные второстепенные – личные симпатии к сотрудникам, наличие стоянки и т. п. [3].

Наиболее важными критериями являются безопасность банковских операций (надежность), качество обслуживания и вежливость сотрудников, тарифы (финансовый аспект) [4].

Разумеется, различные социальные группы имеют различные критерии оценивания. Например, для студентов (и для молодежи) важнейшими критериями являются безопасность, доступность банкоматов 24/7, объем сети АТМ и отделений, а также простота открытия банковского счета и наличие технических новинок среди банковских продуктов [5, 6].

Основной критерий оценивания – надежность банка (это следует из рассмотренных ранее работ. Надежность коммерческого банка — это оценка деятельности банка определенным субъектом экономических отношений, которая подтверждает способность банка в стратегическом аспекте своевременно и в полном объеме выполнить взятые на себя обязательства вне зависимости от экономической и политической обстановки в стране [7].

Следующий критерий оценивания – качество обслуживания. Это совокупность механизмов, мероприятий, правил и атрибутов, влияющих на удовле-

творенность клиентов при контакте с банком, но напрямую не связанных с выполнением основных банковских бизнес-процессов (реализацией продуктов и услуг). [8].

Таким образом, проблематика оценки привлекательности банка достаточно подробно освещена. Из обзора выше следует, что основными критериями являются надежность банка и качество обслуживания. Критерий качества подразумевает также и спектр услуг, но в данной работе спектр услуг выделяется в отдельную группу.

На оптимизацию работы банка с целью увеличения привлекательности выделяются определенные средства. Однако существует проблема распределения этих средств: какие критерии оценки банка следует оптимизировать в первую очередь, и как? Для предложения пути решения этой проблемы, в данной работе предлагается построение модели иерархии критериев оценки банка (на основе открытых статистических данных, обзора работ и экспертных суждений), оценки их важности с помощью метода парных сравнений, и проведение параметрического анализа для определения степени влияния каждого критерия на конечную оценку банка.

Объектом исследования данной статьи является оценка привлекательности банка клиентами. Предмет исследования – оптимизация работы банка с целью повышения оценки, уровня доверия, и привлечения новых клиентов.

Постановка задачи. На основе рассмотренных выше работ, и проведенном опросе ряда экспертов относительно критериев оценки банка, можно выделить 3 основных группы критериев: надежность, качество обслуживания, спектр услуг.

Критерии надежности банка – влияют на уровень доверия клиента к банку. Основные критерии надежности – это размер уставного капитала, объем активов

банка, объем вложений физических лиц (это также можно считать степенью лояльности вкладчиков), размер банка (объем филиальной сети), рейтинги в независимых агентствах, размер ставок по вкладам (существенная разница ставок со среднерыночной ставкой может быть предпосылкой банкротства банка и исчезновения руководства с деньгами вкладчиков), обороты в наличной валюте (большие размеры наличных оборотов – основания для подозрений в использовании банка для отмывания денег), вложения в акции, наличие в руководстве политических деятелей, объем кредитного портфеля (это основной актив банка, и оптимальная доля кредитного портфеля в составе активов – от 50 до 80%).

Критерии качества обслуживания – это количество отделений, количество банкоматов, отзывы клиентов, возможность эмиссии карт МПС, наличие своего процессинга.

Критерии спектра услуг – это наличие сервисов дистанционного банковского обслуживания (интернет клиент-банк), наличие мобильных приложений, возможность оплаты онлайн-игр, услуг связи, коммунальных услуг, заказ ж/д и/или авиабилетов, услуга СМС-информирования, возможность управления счетом посредством отправки факсимильных сообщений в банк (телефонный банкинг).

Формирование иерархии критериев оценки банка. Таким образом, воспользовавшись методом анализа иерархий, формируется иерархия критериев. На верхнем уровне расположена главная цель: оценка банка. Нижележащий уровень содержит группы критериев (надежность, качество, спектр услуг).

Далее идет уровень, содержащий критерии по группам.

Наконец, нижний уровень содержит возможные альтернативы.

Иерархия критериев приведена на рисунке 1.1.

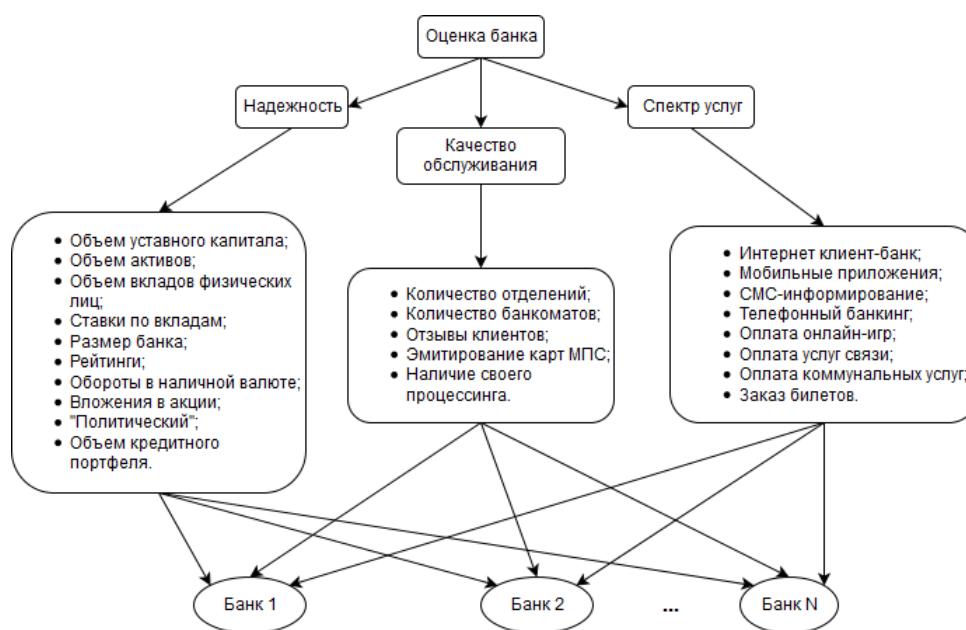


Рис.1 – Иерархия критериев оценки банка

Оценка важности критериев. Используется метод парных сравнений Саати. Для каждой группы критериев строится матрица парных сравнений, заполняется значениями (с помощью экспертов), и нормируется результат.

На рисунке 2 приведена круговая диаграмма для критериев надежности. Указана важность каждого критерия (в процентах).

Диаграмма построена на основании матриц парных сравнений.

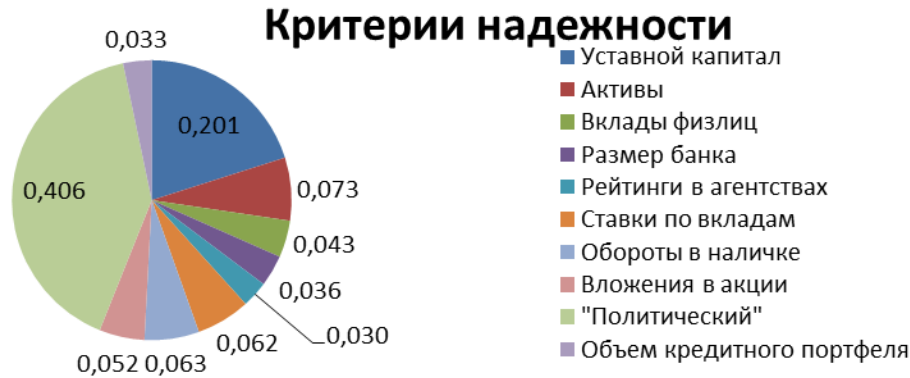


Рис.2 – Важность критериев надежности

Аналогичные расчеты были проведены для каждой группы критериев.

Как видно из рисунка, основным критерием является принадлежность владельца банка к политической элите (в силу действующих обстоятельств).

Следующий по важности критерий – объем уставного капитала, и так далее.

Аналогичная процедура была проведена для всех групп критериев. Исходя из определения важности, часть критериев была признана несущественными. К примеру, на рисунке 1.2 видно, что критерий «Рейтинги в агентствах» является несущественным. Критерий принадлежности владельца банка к политической элите является самым важным, но оптимизировать его путем инвестирования невозможно – поэтому он также отсекается. Из группы «Спектр услуг» исключены критерии «Телефонный банкинг» (по причине устаревания), и «СМС-информирование» – услуга предоставляется всеми банками.

Параметрический анализ критериев и формирование оптимизационной задачи. Для оптимизации оценки банка по различным критериям требуются различные объемы инвестиций. Например, для оптимизации оценки по объему уставного капитала, сумма инвестиций исчисляется миллионами гривен, а при оптимизации сервисов ДБО сумма измеряется десятками тысяч гривен. Таким образом, следует определить, оптимизация какой группы критериев даст максимальный результат при минимальных вложениях. Для этого необходимо определения влияния каждого критерия на общую оценку проводится параметрический анализ.

На основе анализа, для каждого критерия формируется функция полезности: зависимость результирующей оценки банка от суммы инвестиций, внесенных на оптимизацию этого критерия. Формируется оптимизационная задача следующего вида:

$$\sum_{i=1}^n f_i(x_i) \rightarrow \max,$$

$$\sum_{i=1}^n x_i \leq L,$$

$$0 \leq x_i \leq m_j, i = \overline{1..n}, j = \overline{1..k}.$$

где x – сумма инвестиций в критерий;

$f(x)$ – результат вложения суммы x в критерий;

m – предельное значение инвестирования для критерия (после него дальнейшее инвестирование бесполезно).

Пороговые значения определяются по-разному. Например, для оптимизации уставного капитала пороговым значением является среднее значение объемов уставных капиталов топ-10 банков страны. Для оптимизации ДБО пороговое значение выставляется на основе оценки стоимости работ (или в зависимости от з/п сотрудников, занятых этим вопросом), и т. д.

Тестовый пример. Была решена тестовая задача. Для каждого критерия была выведена функция полезности (на основе параметрического анализа критериев). Для простоты, функции имеют линейный вид.

Например, функция полезности инвестирования в объем уставного капитала выглядит так:

$$f(x) = 0.003 * \left(\frac{x}{10^9}\right) = 3 \cdot 10^{-12} \times x,$$

$$0 \leq x \leq 24 \cdot 10^{19}.$$

То есть, каждый миллиард инвестирования в уставной капитал увеличивает оценку банка на 0.003. Пороговое значение – средний объем уставного капитала топ-10 банков Украины.

Целевые функции для остальных критериев выглядят аналогично.

Некоторые критерии не являются оптимизируемыми – например, критерий, является ли владелец банка политическим деятелем – инвестирование в такой критерий нецелесообразно и невозможно. Поро-

говые значения могут присутствовать не у всех критериев.

В таблице 1 приведена связь между переменными задачи и критериями.

Таблица 1 – Связь между переменными задачи и критериями

№	Обозначение	Критерий	Ограничение
1	x_1	Уставной капитал	$\leq 24 \cdot 10^9$
2	x_2	Ставки по вкладам	$\leq 5 \cdot 10^7$
3	x_3	Активы	$\leq 10^{10}$
4	x_4	Объем кредитного портфеля	$\leq 10^7$
5	x_5	Вложения физических лиц	$\leq 10^7$
6	x_6	Работа с МПС	$\leq 5 \cdot 10^7$
7	x_7	Развитие ДБО	$\leq 2 \cdot 10^9$
8	x_8	Количество отделений	$\leq 5 \cdot 10^8$
9	x_9	Количество банкоматов	$\leq 5 \cdot 10^8$
10	x_{10}	Оплата за коммунальные услуги	$\leq 10^5$
11	x_{11}	Оплата за онлайн-игры	$\leq 2 \cdot 10^5$
12	x_{12}	Оплата за услуги связи	$\leq 5 \cdot 10^4$
13	x_{13}	Заказ билетов	$\leq 5 \cdot 10^4$

Тогда задача выглядит следующим образом:

$$3x_1 \cdot 10^{-12} + 2x_2 \cdot 10^{-9} + 15x_3 \cdot 10^{-13} + 5x_4 \cdot 10^{-10} + 2x_5 \cdot 10^{-9} + 5x_6 \cdot 10^{-9} + 4x_7 \cdot 10^{-9} + x_8 \cdot 10^{-10} + x_9 \cdot 10^{-10} + 5x_{10} \cdot 10^{-10} + x_{11} \cdot 10^{-9} + x_{12} \cdot 10^{-9} + 15x_{13} \cdot 10^{-10} \rightarrow \max,$$

$$x_1 \leq 24 \cdot 10^{19},$$

$$x_2 \leq 5 \cdot 10^7,$$

$$x_3 \leq 10^{10},$$

$$x_4 \leq 10^7,$$

$$x_5 \leq 10^7,$$

$$x_6 \leq 5 \cdot 10^7,$$

$$x_7 \leq 10^9,$$

$$x_{10} \leq 10^5,$$

$$x_{11} \leq 2 \cdot 10^5,$$

$$x_{12} \leq 5 \cdot 10^4,$$

$$x_{13} \leq 5 \cdot 10^4,$$

$$\sum_{i=1}^{13} x_i \leq 5 \cdot 10^9.$$

Решением такой задачи будет следующий вектор:

$$\bar{x}^* = \{1.8796 \cdot 10^9; 5 \cdot 10^7; 0; 10^7; 10^7; 5 \cdot 10^7; 2 \cdot 10^9; 5 \cdot 10^8; 5 \cdot 10^8; 10^5; 2 \cdot 10^5; 5 \cdot 10^4; 5 \cdot 10^4\}.$$

Выводы. Из решения задачи следует, что первоочередным по важности критерием является развитие сервисов ДБО – с учетом глобальной компьютеризации, этот критерий набирает все большую важность и требует значительно меньших затрат для оптимизации. Дальнейшие критерии, такие как объем уставного капитала, расширение филиальной сети и т. д. требуют больших затрат при меньшей эффективности.

Таким образом, подтверждается перспективность сегмента ДБО.

Список литературы

1. Андреева О. С. Оценка привлекательности коммерческой организации для корпоративных клиентов. / О. С. Андреева, Е. В. Назмутдинова // Экономика и предпринимательство. – 2015. – № 10. – С. 3–6.
2. Третьякова О. Как выбирают банки / О. Третьякова // Вестник Уральского института прикладной политики и экономики. – 2001. – С. 21–25.
3. Платонова Ю. Ю. Современные аспекты удержания клиентов в банке / Ю. Ю. Платонова, С. Е. Зайченко // Научный журнал КубГАУ. 2012. – № 76 (02). – С. 992–1003. – Режим доступа: ej.kubagro.ru/2012/02/pdf/18.pdf – Дата обращения: 20 мая 2017.
4. Titko Jelena. Customer satisfaction and loyalty in Latvian retail banking / Elena Titko, Natalja Lace // Economics and management. – 2010. – No. 15. – P. 1031–1038. – ISSN 1882-6515
5. Saad Iftikar. Factors of attractiveness towards the Commercial Banks among the students: Study of Public Sector Universities of Faisalabad, Pakistan. / Saad Iftikar, Atif Sattar, Abdullah Nazir Bajwa, Husnain Ali // Euro-Asian Journal of Economics and Finance. – 2014. – Vol. 2, issue 1. – P. 55–65. – ISSN 2310-4929.
6. Cleopas Chigamba. Factors influencing the choice of Commercial Banks by University Students from South Africa. / Cleopas Chigamba, Olawale Fatoki // International Journal of Business and Management. – 2011. – Vol. 6. – No. 6. – P. 66–76.
7. Масленникова Д. С. Оценка надежности банка: цели и критерии для партнеров и для самого банка / Д. С. Масленникова // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. – 2011. – № 6. – С. 4–11. – ISSN 1991-3087.
8. Исаев Р. А. Способы обеспечения и улучшения качества обслуживания клиентов банка / Р. А. Исаев // Методы менеджмента качества. – 2011. – № 6. – С. 54–58.

References (transliterated)

1. Andreeva O. S., Nazmutdinova E. V. Otsenka privlekatelnosti kommercheskoj organizacii dlia korporativnykh klientov [Evaluation of a commercial organization for corporate clients]. *Ekonomika i predprinimatelstvo*. 2015, no. 10, pp. 3–6.
2. Tretiakova O. Kak vybirajut banki [How to choose bank]. *Vestnik Ural'skogo instituta prikladnoj politiki i jekonomiki*. 2001, pp. 21–25.
3. Platonova J.J., Zaichenko S.E. Sovremennye aspekty uderzhanija klientov v banke [Modern aspects of the customer retention in the bank]. *Nauchnyj zhurnal KubGAU*. 2012, no. 76 (02), pp. 992–1003. Available at: ej.kubagro.ru/2012/02/pdf/18.pdf. (accessed 20.05.2017)
4. Titko Jelena, Lace Natalja. Customer satisfaction and loyalty in Latvian retail banking. *Economics and management*. 2010, no. 15, pp. 1031–1038. ISSN 1882-6515.
5. Saad Iftikar, Atif Sattar, Abdullah Nazir Bajwa, Husnain Ali. Factors of attractiveness towards the Commercial Banks among the students: Study of Public Sector Universities of Faisalabad, Pakistan. *Euro-Asian Journal of Economics and Finance*. 2014, vol. 2, issue 1, pp. 55–65. ISSN 2310-4929.
6. Cleopas Chigamba, Olawale Fatoki. Factors influencing the choice of Commercial Banks by University Students from South Africa. *International Journal of Business and Management*, 2011, vol. 6, no. 6, pp. 66–76.
7. Maslennikova D.S. Otsenka nadezhnosti banka: celi i kriterii dlya partnerov i samogo banka [Evaluation of bank's reliability: points and criteria for partners and for the bank]. *Zhurnal nauchnykh publikacij aspirantov i doktorantov*. 2011, no. 6, pp. 4–11. ISSN 1991-3087.
8. Isaev R.A. Sposoby obespechenija i ulucheniya kachestva obsluzhivaniya klientov banka [Ways to ensure and improve the quality of customer service in the bank]. *Metody menedzhmenta kachestva*. 2011, no. 6, pp. 54–58.

Поступила (received) 24.05.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Модель оптимізації привабливості банку в умовах обмежених ресурсів / М. Д. Годлевський, Д. О. Дабагян // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 28 (1250). – С. 79–83. – Бібліогр.: 8 назв. – ISSN 2079-0023.

Модель оптимизации привлекательности банка в условиях ограниченных ресурсов / М. Д. Годлевский, Д. А. Дабагян // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 28 (1250). – С. 79–83. – Библиогр.: 8 назв. – ISSN 2079-0023.

Model for optimizing the attractiveness of a bank in conditions of limited resources / M. D. Godlevsky, D. A. Dabagian // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No. 28 (1250). – P. 79–83. – Bibliogr.: 8. – ISSN 2079-0023.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Годлевський Михайло Дмитрович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри ПІІТУ; e-mail: god_asu@kpi.kharkov.ua.

Годлевский Михаил Дмитриевич – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», заведующий кафедрой ПИИТУ; e-mail: god_asu@kpi.kharkov.ua.

Godlevsky Mikhail Dmitrievich – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Head of Department SEMIT; e-mail: god_asu@kpi.kharkov.ua.

Дабагян Давид Олександрович – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», студент; тел.: (095) 048-09-94; e-mail: d.dabagyan@gmail.com.

Дабагян Давид Александрович – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», студент; тел.: (095) 048-09-94; e-mail: d.dabagyan@gmail.com.

Dabagian Davyd Aleksandrovich – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", student; tel.: (095) 048-09-94; e-mail: d.dabagyan@gmail.com.

UDK 519.8

*O. A. KOZINA, N. N. STRATIENKO***MODEL OF PRIMARY PIVOTS' PRIORITIZATION IN STARTUPS**

Обґрунтовано важливість і корисність пріоритизації первинних опорних точок. Показано, що процес відбору опорних точок є частиною експерименту по обґрунтуванню або спростуванню первинних гіпотез про ефективність обраних параметрів у розвитку проекту. Виконано огляд методів формулювання первинних гіпотез. Проаналізовано недоліки методів пріоритизації опорних точок. Показана необхідність роздільної підготовки гіпотез з якісними і кількісними оцінками. Запропоновано модель-схема розрізнення первинних опорних точок на статичні і динамічні. На наступних етапах життєвого циклу стартапів можливі інші методи пріоритизації опорних точок.

Ключові слова: опорні точки, пріоритет, стартап, гіпотези, експеримент.

Обоснована важность и полезность приоритизации первичных опорных точек. Показано, что процесс отбора опорных точек является частью эксперимента по обоснованию или опровержению первичных гипотез об эффективности выбранных параметров в развитии проекта. Выполнен обзор методов формулирования первичных гипотез. Проанализированы недостатки методов приоритизации опорных точек. Показана необходимость раздельной подготовки гипотез с качественными и количественными оценками. Предложена модель-схема различения первичных опорных точек на статические и динамические. На последующих этапах жизненного цикла стартапов возможны другие методы приоритизации опорных точек.

Ключевые слова: опорные точки, приоритет, стартап, гипотезы, эксперимент.

Importance and useful of primary pivots prioritization is grounded. It is shown that the selection of pivots is part of the experiment to confirm or disprove the primary hypotheses about the effect of the selected parameters on the development of the project. An analytical review of the methods for primary hypotheses formulating is carried out. The disadvantages of some methods of pivots prioritizing are analyzed. The necessity of separate preparation of hypotheses having qualitative and quantitative estimations of stakeholders is considered. A model-scheme of distinguish primary pivots on a set of static and dynamic ones is developed. Possibility to change the method of prioritizing pivots in next phases of the life cycle of a startup is accented.

Keywords: primary pivots, hypothesis, startup, priority, experiment.

Problem definition. The basis of the Lean Startup concept is a cycle of evolution: creation-measurement-learning, where the beginning of a cycle is a hypothesis, and the end is knowledge that is consumed by the evolution of the idea itself and can grow into the products necessary for clients. For startups trying to find product-market fit, lots of metrics can actually distract from the real work of launching a sustainable business. Tracked together, such metrics like: Burn Rate, Activation Rate, Daily Active Users to Monthly Active Users Ratio, Customer Churn Rate, Revenue Growth Rate help founders keep a pulse on the viability of the startup and signal when a course correction is in order [1]. It's easy to measure hundreds of different metrics for growing business. They answer the questions of how should a startup founder might measure the business at the highest level [2].

But in order to determine whether the startup is going to crash due to loss of interest of clients, it is necessary to continuously monitor the main parameters of the product being created, keep in touch with customers and stakeholders and most importantly then analyze received feedback. Where should you make the most effort to realize a startup? How correctly to formulate the primary hypotheses about the value of the product for potential customers? After all, depending on these formulations, you must choose and complete an experiment to collect responses and allocate static pivots with the highest priority or reconfigure the product and the entire business scheme as a whole.

Analysis of publications and recent researches. There are a number of reasons that lead to success or failure of startups. Using the model of startup management [3] founder of the startup should analyze the

requirements of the potential market for a still unformulated idea yet at Origin stage of a startup. This is quite difficult, because most recommendations on this topic are very general [4–6]. It is clear that it is quite dangerous to rely on intuition and it is necessary actually to make multicriteria optimization of the objective function in conditions with high degree of uncertainty in the shortest time.

Identification, description and understanding of the essence and business value of the parameter compose a hotspot in planning the experiment to determine its priority. For this purpose hypotheses about value of selected pivots are usually formulated. There are such classes of hypotheses: Persona Hypothesis, Problem Hypothesis, Value (motivation) Hypothesis, Value Hypothesis, Usability Hypothesis, Customer Creation Hypothesis. Clever formulation of such hypotheses allows to answer a lot of questions, on which startup owners must have correct and objective answers even in Origin phase. These are examples of such questions that can also be used to write interviews with the stakeholders [7]: Does persona with interest to your project exist? Can you name or find 5-10 examples? Do you understand potential clients really well? Do you understand how they relate to your area of interest? Do the problems you're solving really exist? Is it more of a 'job to be done' or a need, desire? How important is the problem or problems? How is potential client solving them now? How much better than the best alternative is your product at delivering on the problem? Can you get this client's attention? Capture their interest? Connect with a strong fundamental desire?

As seen, some of these questions will give qualitative estimates of startup's pivots. Can they be considered as such, from which it is possible to obtain

quantitative estimates for prioritizing pivots? Most of the recommendations for identifying pivots, especially primary ones, are limited to topics for creating plan of

interviews or a list of questions that need to be answered by experienced clients or experts who will define priorities to pivots [8].

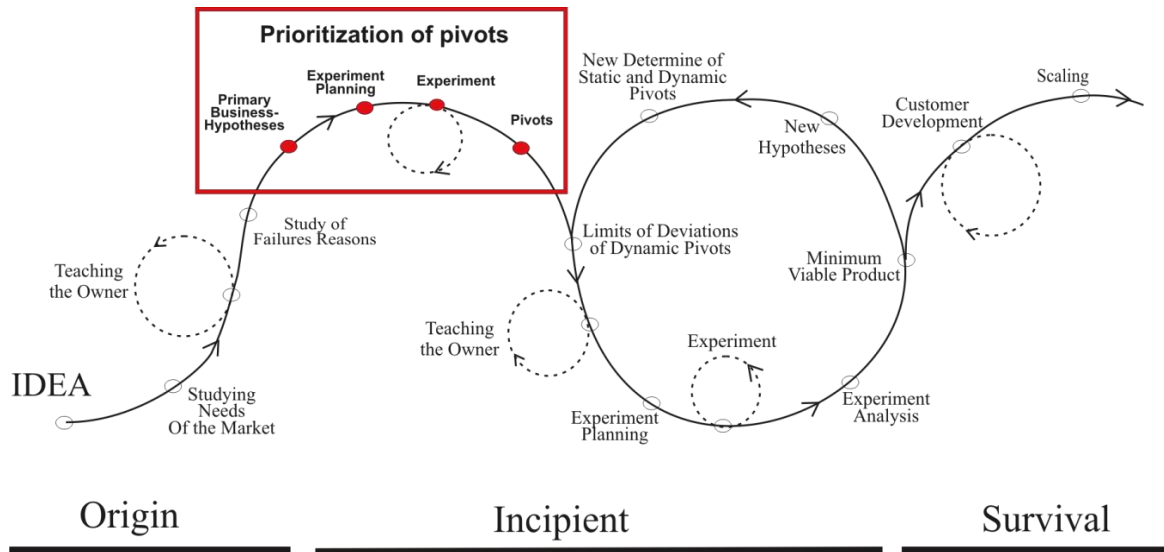


Fig. 1 – Generalized model of the initial stages of a startup growing

But priority-setting decisions in startup management should be based on evidence, objective reasons and principles accepted by the stakeholders as relevant for needs in their contexts [9].

In general, primary hypotheses reflect on the innovative functional parameters of a startup and represent the criteria for evaluating of business idea. In IT-projects, the criteria for evaluating an idea are considered as user requirements and for them the ranking techniques have developed [10]. Alternatively, for IT-startup there is possibility to create a realistic demo version of the product, post it online, attract to it some traffic and test required pivots. But if your startup is not IT-project? Or how do select static pivots if your startup has not passed on MVP phase?

Thus, today there is no model of prioritization of either hypotheses or pivots at various stages of the startup life-cycle.

The purpose of the work is to develop a non-specific model of separating the primary pivots of a startup according to obtained priorities, which should be applicable in various business areas.

Results and discussion. Let that for separates pivots it is necessary represent primary hypotheses in testable format that allows a structured experiment to prove or disprove them. The group of unchangeable static pivots possesses the property of unique identification of the innovation idea of a startup, and a group of changeable dynamic pivots enable the adjustment of the entire project and allow create a viable business model at the next stage. So, objective numerical testing of primary hypotheses is the process of planning, executing and analyzing the results of an experiment for distinguish on static and dynamic pivots of the project

In same time, at first, for planning the primary experiment to confirm the main business parameters of a startup, it is necessary to form a list of primary pivots that

can be estimated numerically by potential clients and stakeholders of the project. Primary pivots, the answers to which can be expressed in a qualitative form only, must be additionally estimated by discrete choice experiments (DCE) [11]. Respondents choose their preferred option from set of answers, each of it varying over a range of scores. Then these individual answers are aggregated.

Secondly, it is necessary to formulate a list of primary hypotheses. Then, multiple-criteria decision analysis (MCDA) technique should be selected in order to plan an experiment for collecting opinions of stakeholders. According to all this propositions, some steps shown inside the rectangular on Figure 1 had been reformulate into the algorithm of determine of high-priority static pivots (Fig. 2).

Selection of MCDA technique depends first of all to current stage of the startup in its life-cycle. That is why the MoSCoW technique used for prioritizing primary pivots in a collaborative fashion is not good choice. As known, the MoSCoW method prescribes to distinguish between parameters on [12]:

- Business Value hypotheses. This parameter provides the most business value;
- Technical Risk hypotheses. This parameter gives a significant risk of project failure if not implemented successfully;
- Implementation Difficulty hypotheses. This parameter is the easiest to implement;
- Urgency hypotheses. This parameter have a high degree of urgency be implemented and in used by the stakeholders.

In incipient stage of startup life-cycle there is lack of rationale background how to rank competing pivots: why something is must rather than should.

In this situation method Quality Function Deployment (QFD) which focuses solely on what a

business needs to do to satisfy its stakeholders has good view. QFD supposes that overall stakeholders' satisfaction

can be represented by a linear additive value function of the degree of attainment of stakeholders' demands [13].

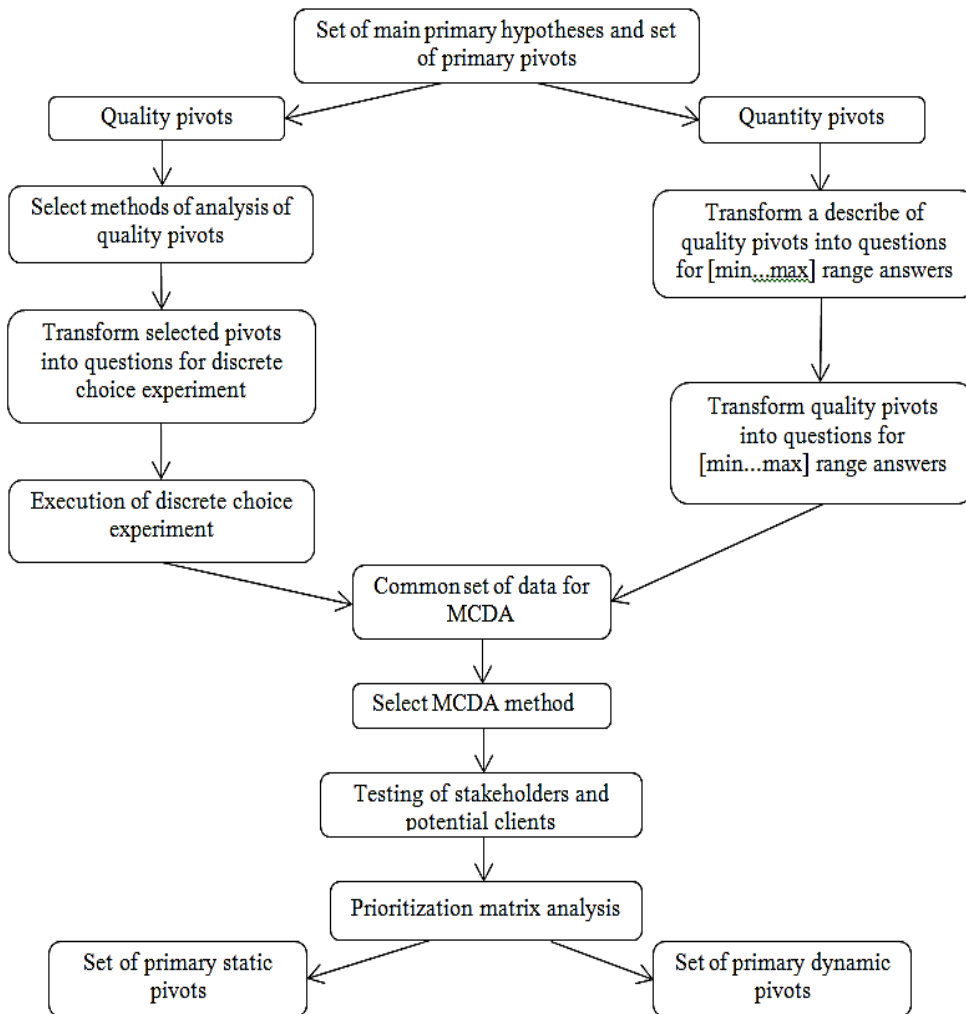


Fig. 2 – Algorithm of distinguish static and dynamic primary pivots by priorities

But it means that all pivots should belong to the same level of abstraction and it's impossible to analyze together parameters related to cost, the length of the product life cycle, long-term strategy or available resources of startup. Additionally, all pivots should be non-conflicting.

So, in order to take important decision in very high level of uncertainty which exist in prioritization of primary pivots we propose to use the Prioritization Matrix. In the Prioritization Matrix each row describes a type of primary hypotheses, for example:

- Business Value hypotheses. This parameter provides the most business value;
- Technical Risk hypotheses. This parameter gives a significant risk of project failure if not implemented successfully;
- Implementation Difficulty hypotheses. This parameter is the easiest to implement.
- Urgency hypotheses. This parameter have a high degree of urgency be implemented and in used by the stakeholders. Each column in the Prioritization Matrix describes the pivots from common set.

Demonstration example of filling the Prioritization Matrix for the smart house startup represent in Table 1, where the [1...9] range is used for estimation of pivots and the [0...5] range is used for estimation of weights of hypotheses.

Table 1 – Example of filling the Prioritization Matrix for the smart house startup

Pivots	Hypotheses				Total
	Business Value	Technical Risk	Implementation Difficulty	Urgency	
Weight of hypothesis	4	5	2	3	
Engineer support 24/7	2	0	1	1	13
Mobile access to admin panel	0	2	2	2	20
Multilingual interface	1	1	1	0	11
Size of the box ≤ 10×10 cm	3	3	1	4	41

Weights of hypothesis should be filed by team of the startup. For stakeholders' tests can be used any uniform

[min...max] scale with an unrestricted range. Results of stakeholders' tests give the relative importance of the pivot to according hypothesis and are filed in the Prioritization Matrix also. Than results of the multiplication of these scores on weight of according hypothesis are cumulates in total column. Pivots with the highest total scores receive greater priority than those with lower scores.

Pivots with maximum priority compose the set of primary static pivots; remaining pivots form the set of primary dynamic pivots. From table 1 pivots «Size of the box $\leq 10 \times 10$ cm» and «Mobile access to admin panel» form the set of primary static pivots and pivots «Engineer support 24/7» and «Multilingual interface» form the set of primary dynamic pivots.

This easy technique can be easily accomplished and repeat with new values in short time, but it may also lead to the use of incorrect unjustified assumptions. And the main difficulty lies in the inability to immediately determine that obtained results about pivots' splitting are incorrect, because at this stage there is no reference data.

Starting from the next cycle, with repeated prioritization of pivots, it is necessary to revise and reformulate the hypotheses, expose them to new weights or even use other prioritization techniques for pivots. Because there are already results of primary prioritization, then it is possible to evaluate probabilities of existing of first and second kind errors, and also to develop a mechanism for returning the business-model to the previous state.

Conclusions. The problem of definition of most important parameters in innovation project on the primary stage is considered. The subject area is examined; an analytical review of the methods for solving the indicated problem is made. The developed model of distinguish between static and dynamic pivots based on the analysis of primary hypotheses allows to establish the priorities of pivots in the initial phase of a startup from any industry. Using of proposed model can reduce the probability of startup failures at an early stage. Other models of pivots' prioritization can be used at other stages of startup life-cycle.

References

1. Tyson L. The Ultimate Startup Metrics Guide: 5 KPIs That VCs Recommend / L. Tyson // Geckboard. – 4 October 2016. – Available at: <https://www.geckboard.com/blog/ultimate-startup-metrics-guide-5-kpis-vc-recommend/#.WUaWFrPNf9>. (accessed 20.06.2017)
2. Tunguz T. Your Startup's 10 Most Important Metrics Recommend / T. Tunguz // Tomasz Tunguz. – 26 March 2013. – Available at: <http://tomtunguz.com/your-startups-10-most-important-metrics/>. (accessed 20.06.2017)
3. Козіна О. А., Стратієнко Н. К. Модель управління IT-стартапами / О. А. Козіна, Н. К. Стратієнко // Вісник НТУ «ХП». Сер.: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами. – 2017. – № 2 – С. 64–71.
4. Baltussen R., Mikkelsen E., Tromp, N. Balancing efficiency, equity and feasibility of HIV treatment in South Africa – development of programmatic guidance / R. Baltussen, E. Mikkelsen, N. Tromp // BioMedCentral. – 9 October 2013. – Available at: <https://resource-allocation.biomedcentral.com/articles/10.1186/1478-7547-11-26>. (accessed 20.06.2017)
5. Sauro J. 7 Techniques for Prioritizing Customer Requirements / J. Sauro // MeasuringU. – 9 September 2014. – Available at: <https://measuringu.com/prioritize-requirements/>. (accessed 20.06.2017)

6. Crowe J. Billion-Dollar Pivots: Key Lessons Behind 3 Incredible Success Stories / J. Crowe // Openview. – 11 March 2015. – Available at: <http://labs.openviewpartners.com/3-successful-startup-pivot-examples/#.WUw9kLiPNf->. (accessed 20.06.2017)
7. Cowan A. Your Lean Startup / A. Cowan // Cowan+. – Available at: http://www.alexandercowan.com/creating-a-lean-startup-style-assumption-set/#02_Focusing_Testable_Hypotheses. (accessed 20.06.2017)
8. Kaushik A. You Are What You Measure, So Choose Your KPIs (Incentives) Wisely! / A. Kaushik // Occam's Razor by Avinash Kaushik. – 23 April 2012. – Available at: <https://www.kaushik.net/avinash/measure-choose-smarter-kpis-incentives/>. (accessed 20.06.2017)
9. Baltussen R., Niessen L. Priority Setting of Health Interventions: The Need for Multi-Criteria Decision Analysis / R. Baltussen, L. Niessen // NCBI. – 21 August 2006. – Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1560167/#>. (accessed 20.06.2017)
10. Вугєрє К. Разработка требований к программному обеспечению / К. Вугєрє. – М.: Русская Редакция, 2004. – 576 с.
11. Adams J., Bateman B., Becker F. Effectiveness and acceptability of parental financial incentives and quasi-mandatory schemes for increasing uptake of vaccinations in preschool children: systematic review, qualitative study and discrete choice experiment / J. Adams, B. Bateman, F. Becker // NCBI. – Health Technol Assess, 19 November 2015. – Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26562004>. (accessed 20.06.2017)
12. Lessing E. How to do a MoSCoW Analysis and prioritize requirements effectively in a complex environment? / E. Lessing // Business analysis excellence. – 30 March 2015. – Available at: <http://business-analysis-excellence.com/how-to-do-a-moscow-analysis/>. (accessed 20.06.2017)
13. van de Poel I. Methodological problems in QFD and directions for future development / I. van de Poel // Research in Engineering Design. – 30 May 2007. – Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00163-007-0029-7#aboutcontent>. (accessed 20.06.2017)

References (transliterated)

1. Tyson L. The Ultimate Startup Metrics Guide: 5 KPIs That VCs Recommend / L. Tyson // Geckboard. – 4 October 2016. – Available at: <https://www.geckboard.com/blog/ultimate-startup-metrics-guide-5-kpis-vc-recommend/#.WUaWFrPNf9>. (accessed 20.06.2017)
2. Tunguz T. Your Startup's 10 Most Important Metrics Recommend / T. Tunguz // Tomasz Tunguz. – 26 March 2013. – Available at: <http://tomtunguz.com/your-startups-10-most-important-metrics/>. (accessed 20.06.2017)
3. Kozina O. A., Stratiienko N. K. Model' upravlenija IT-startapami [Model of IT-startups Management]. Visnyk NTU "KhPI". Ser.: Stratehichne upravlinnja, upravlinnja portfelyamy, prohramamy ta proektamy [Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Strategic management, portfolio, program and project management]. Kharkov, NTU "KhPI" Publ., 2017, no. 2, pp. 64–71.
4. Baltussen R., Mikkelsen E., Tromp, N. Balancing efficiency, equity and feasibility of HIV treatment in South Africa – development of programmatic guidance / R. Baltussen, E. Mikkelsen, N. Tromp // BioMedCentral. – 9 October 2013. – Available at: <https://resource-allocation.biomedcentral.com/articles/10.1186/1478-7547-11-26>. (accessed 20.06.2017)
5. Sauro J. 7 Techniques for Prioritizing Customer Requirements / J. Sauro // MeasuringU. – 9 September 2014. – Available at: <https://measuringu.com/prioritize-requirements/>. (accessed 20.06.2017)
6. Crowe J. Billion-Dollar Pivots: Key Lessons Behind 3 Incredible Success Stories / J. Crowe // Openview. – 11 March 2015. – Available at: <http://labs.openviewpartners.com/3-successful-startup-pivot-examples/#.WUw9kLiPNf->. (accessed 20.06.2017)
7. Cowan A. Your Lean Startup / A. Cowan // Cowan+. – Available at: http://www.alexandercowan.com/creating-a-lean-startup-style-assumption-set/#02_Focusing_Testable_Hypotheses. (accessed 20.06.2017)
8. Kaushik A. You Are What You Measure, So Choose Your KPIs (Incentives) Wisely! / A. Kaushik // Occam's Razor by Avinash Kaushik. – 23 April 2012. – Available at:

- <https://www.kaushik.net/avinash/measure-choose-smarter-kpis-incentives/>. (accessed 20.06.2017)
9. Baltussen R., Niessen L. Priority Setting of Health Interventions: The Need for Multi-Criteria Decision Analysis / R. Baltussen, L. Niessen // NCBJ. – 21 August 2006. – Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1560167/#>. (accessed 20.06.2017)
10. Vigers K. *Razrabotka trebovanij k programmnomu obespečeniju* [Software Requirements]. Moscow, Russkaja redakcija Publ., 2004. 576p.
11. Adams J., Bateman B., Becker F. Effectiveness and acceptability of parental financial incentives and quasi-mandatory schemes for increasing uptake of vaccinations in preschool children: systematic review, qualitative study and discrete choice experiment / J. Adams, B. Bateman, F. Becker // NCBJ. – Health Technol Assess, 19 November 2015. – Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26562004>. (accessed 20.06.2017)
12. Lessing E. How to do a MoSCoW Analysis and prioritize requirements effectively in a complex environment? / E. Lessing // Business analysis excellence. – 30 March 2015. – Available at: <http://business-analysis-excellence.com/how-to-do-a-moscow-analysis/>. (accessed 20.06.2017)
13. van de Poel I. Methodological problems in QFD and directions for future development / I. van de Poel // Research in Engineering Design. – 30 May 2007. – Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00163-007-0029-7#aboutcontent>. (accessed 20.06.2017)

Received 24.06.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Модель пріорітезації опорних точок у стартапах / О. А. Козіна, Н. К. Стратієнко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 28 (1250). – С. 84–88. – Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2079-0023.

Модель приоритезации опорных точек в стартапах / О. А. Козина, Н. К. Стратієнко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 28 (1250). – С. 84–88.. – Библиогр.: 13 назв. – ISSN 2079-0023.

Model of primary pivots' prioritization in startups / O. A. Kozina, N. K. Stratiienko // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No. 28 (1250). – P. 84–88.. – Bibliogr.: 13. – ISSN 2079-0023.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

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.

Козина 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.

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 Наталия Константиновна – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры программной инженерии и информационных технологий управления; 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.

УДК 303.732.4:004.82:005.7

Е. А. СОЛОВЬЕВА, Ю. В. ПАНАСОВСКАЯ

К ВОПРОСУ ОБ АКТУАЛЬНОСТИ СИСТЕМОЛОГИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ МЕНЕДЖМЕНТА ЗНАНИЙ

Обгрунтовано актуальність проведення досліджень предметної галузі «Компетенції менеджменту знань» за допомогою системного підходу ноосферного етапу розвитку науки. Вперше виконано аналіз існуючих підходів до визначення понять «компетенція», «компетентність», «компетенції менеджменту знань» та запропоновано їх робочі визначення за допомогою системологічного аналізу. Досліджені та розроблені об'єктні моделі вимог до компетенцій менеджменту знань та процесу їх формування. Запропоновані моделі можуть бути використані в якості основ нової інформаційної технології формування компетенцій менеджменту знань.

Ключові слова: менеджмент знань, компетенції, компетентність, компетенції менеджменту знань, вимоги до компетенцій, формування компетенцій, системологічний аналіз, системологічний класифікаційний аналіз, інформаційна технологія, конкурентоспроможність організації.

Обоснована актуальность проведения исследований предметной области «Компетенции менеджмента знаний» с помощью системного подхода ноосферного этапа развития науки. Впервые выполнен анализ существующих подходов к определению понятий «компетенция», «компетентность», «компетенции менеджмента знаний» и предложены их рабочие определения с помощью системологического анализа. Исследованы и разработаны объектные модели требований к компетенциям менеджмента знаний и процессу их формирования. Предложенные модели могут быть использованы в качестве основ новой информационной технологии формирования компетенций менеджмента знаний.

Ключевые слова: менеджмент знаний, компетенции, компетентность, компетенции менеджмента знаний, требования к компетенциям, формирование компетенций, системология, системологический анализ, системологический классификационный анализ, информационная технология, конкурентоспособность организации.

The relevance of the weakly structured subject area "Knowledge Management Competences" research using the system approach of the noospheric stage of science development is substantiated. For the first time, the research of existing approaches to the definition of the concepts "competence", "competency", "knowledge management competences" made and proposed their system working definitions based on the systemological determinant analysis. The model of the requirements to the professional knowledge and skills of employees possessing knowledge management competences has been researched and developed. The model takes into account the knowledge and skills which are necessary to perform the basic functions and tasks of knowledge management (for example, "the application of the systemological classification analysis for knowledge representation"). The model of requirements to personal knowledge and skills of employees possessing knowledge management competences has been investigated and developed. Such a model formalizes and visualizes the employee basic personal characteristics, which are necessary for the successful performance of professional tasks (for example, "system thinking", "take the initiative," etc.). Research was conducted and the requirements model of the effective organizing of the formation knowledge management competences process (for example, the method of training, develop of a curriculum, etc.) was developed. The requirements to the knowledge management competences and to the process of their formation should be based on the mission, strategy and objectives of the organization, which are reasonably to determine by means of the systemological analysis. The received object models are presented in the article in the form of the Use Case UML diagrams fragments. The results of the research can serve as an information base for the knowledge management implementation in organizations; can be used as the basis for a new systemological information technology of the knowledge management competences formation for the effective and operational formation of such competencies.

Keywords: knowledge management, competences, competence, knowledge management competences, requirements to competences, competences formation, systemology, systemological analysis, systemological classification analysis, competitiveness.

Введение. Важными процессами современной организации, ориентирующейся на развитие, стали процессы менеджмента знаний (МЗ). Организационные изменения во многом обусловлены динамичными изменениями внешней среды. Успешные организации становятся мобильными; внедряют инновации; используют стратегии, направленные на опережение конкурентов. Важная составляющая этих изменений – внедрение МЗ в организации.

В развитых странах знания используются для быстрой адаптации к изменениям окружающей среды в различных сферах деятельности, в бизнесе – для адаптации к постоянно меняющимся условиям рынка и запросам потребителей.

Применение знаний в различных сферах человеческой деятельности и процессах организации требует наличия технологий управления знаниями, с помощью которых знания можно превратить в мощные активы для решения поставленных задач. «Менеджмент знаний – это систематические процессы, благодаря которым создаются, сохраняются, распределяются и применяются основные элементы

интеллектуального капитала, необходимые для успеха организации; стратегия, трансформирующая все виды интеллектуальных активов в более высокую производительность, эффективность и новую стоимость» [1].

Организациям, которые стремятся идти в ногу со временем, быть впереди конкурентов и занимать лидирующую позицию в своем сегменте рынка, целесообразно внедрять МЗ, это позволит повысить конкурентоспособность организации. Поэтому организациям целесообразно формировать компетенции менеджмента знаний (КМЗ) у своих сотрудников, и это имеет большую практическую значимость. Формирование КМЗ обеспечит выполнение задач и функций, поставленных перед МЗ в организации.

Предметная область «Компетенции менеджмента знаний» является актуальной и востребованной в современном мире, однако она недостаточно исследована, слабо структурирована и нуждается в проведении дополнительных исследований. Применение системного анализа, в классическом его понимании, при исследовании данной предметной области неце-

лесообразно, так как он рассматривает, в основном, хорошо структурированные системы второй природы. В данном исследовании целесообразно применять системологию, так как она является наиболее эффективной для исследования слабоструктурированных (неструктурированных) и слабо формализованных (неформализованных) предметных областей.

Целесообразность применения менеджмента знаний в организациях и препятствия, возникающие при его внедрении. МЗ необходим в большинстве инновационных процессов, происходящих в организациях. Именно при внедрении инноваций в организации необходимо и целесообразно применение МЗ.

Существует практическая проблема – накопленные знания, обеспечивающие стабильность развития компании и её конкурентное преимущество на рынке, не используются нужными специалистами в полном объеме в необходимый для бизнеса момент времени. Неиспользуемые знания быстро устаревают, не окупаются, становятся бесполезными (вместе с усилиями тех людей, которые их создавали), из-за этого организация упускает потенциальную возможность получить дополнительное экономическое, социальное и морально-нравственное преимущество перед конкурентами. Для устранения этой проблемы необходимо решить функциональную задачу – систематизировать информацию и знания [1].

Применение МЗ в организациях позволит в первую очередь [2]:

- достигнуть поставленных целей организации за счет роста интеллектуального капитала и эффективного его использования;
- повысить эффективность принимаемых решений;
- поддерживать инновационные процессы;
- успешно обучать и мотивировать сотрудников;
- повысить конкурентоспособность;
- повысить эффективность большинства процессов в организации (например, процессов проектирования, изготовления, закупок и маркетинга).

С помощью МЗ организации получают возможность определять, какие знания необходимо приобрести, какие знания не представляют ценности, какие знания, и на каком уровне нужно и можно распространять [3]. Необходимо отметить, что для эффективного решения этих вопросов, следует сначала определить миссию, стратегии и цели организации, при этом целесообразно использовать системологический подход [4, 8, 9].

Внедрение МЗ в организацию на своем пути встречает ряд препятствий и трудностей. Этими препятствиями могут быть как сотрудники, так и недостаточность материальных активов организации. Например, сотрудники, долго работающие в данной организации, которых устраивает нынешнее положение вещей, не хотят менять что-то и развиваться, даже если это пойдет в ущерб компании.

Также возможен вариант, когда у организации есть желание внедрить МЗ, но не хватает материальных (финансовых) активов для того, чтобы принять на

работу инженера по знаниям или обучить кого-то из своих сотрудников и сформировать у них КМЗ.

На рис. 1 представлены основные препятствия, возникающие в процессе внедрения МЗ, они условно разделены на четыре группы: «Люди», «Управление», «Структура», «Знания» [5]. Для нашей страны эти препятствия являются характерными, так как большинство организаций и их сотрудников привыкли «плыть по течению» и инерционно реагировать на изменения, происходящие в окружающей среде. Профессиональный подход к МЗ позволит сгладить эти проблемы или избежать их.

Препятствия «понимание сущности управления знаниями» и «категорирование знаний» могут быть устранены за счет применения ноосферного системного подхода и систематизации знаний в этой области на основе системологического классификационного анализа (СКА) [6, 7].

Препятствия «инерция по отношению к изменениям», «слишком заняты – нет времени учиться», «мотивация» могут быть облегчены с помощью разработки и внедрения новой более эффективной системы мотивации сотрудников. Препятствия, связанные с управлением, могут быть устранены в том случае, когда руководство организации поймет важность процесса управления изменениями, в том числе поймет актуальность внедрения МЗ, какие преимущества можно получить от применения МЗ и успешно организует процесс внедрения.

Устранить многие препятствия целесообразно с применением ноосферного системного подхода [6–9]. Системологическое исследование позволит выявить возможное наличие тех или иных препятствий, а также понять их сущность, предпосылки и выработать меры по их предотвращению.

Также целесообразно ввести в организацию одну или несколько должностей, связанных с МЗ: директор по управлению знаниями, менеджер по управлению интеллектуальным капиталом, директор по обучению, технолог управления знаниями, аналитик консолидированной информации и т. д. Еще одним путем устранения препятствий является формирование КМЗ у сотрудников, которые длительное время работают в организации, это позволит организации получить специалиста нового профиля без дополнительных затрат обучение нового человека.

Компетенции менеджмента знаний и их определение на основе системологического анализа. МЗ в организации включает ряд задач, которые необходимо решать, и ряд функций, которые нужно выполнить. На их основе формируются требования к сотруднику, его знаниям и навыкам.

Как было показано выше, опытные компетентные профессионалы в этой области стали очень востребованы в организациях. Таким профессионалом может быть аналитик консолидированной информации, обладающий необходимым набором компетенций. Неотъемлемой частью компетентности аналитика являются компетенции, позволяющие ему работать с информацией и знаниями, применять их на практике и на основании полученных знаний формировать реко-

мендации для принятия обоснованных управленческих решений. Такими компетенциями являются КМЗ. Для дальнейшего исследования в этой области необ-

ходимо определить понятие «компетенции менеджмента знаний». Для этого сначала нужно определить понятие «компетенция».



Рис. 1 – Препятствия на пути внедрения МЗ

Для решения задачи определения данных понятий предлагается использовать ноосферный системный инструментарий [8, 9]. Применение этого подхода позволит рассмотреть предметную область «КМЗ» как систему, выявить ее надсистему, функциональное свойство, внешнюю и внутреннюю детерминанту системы. Это позволит объективнее сформулировать определения понятий «компетенции» и «компетентность».

Система – это «объект, свойства которого обусловлены функцией, сводящейся к поддержанию определенных свойств объекта на более высоком ярусе. Этот объект по отношению к рассматриваемому объекту (системе) представляет собой надсистему» [9, с. 112].

В терминологии системного подхода ноосферного этапа развития науки под функциональным свойством понимается – «потребность надсистемы в системе с определенной функцией, поддерживающей функциональную способность надсистемы» [9, с. 116].

Важными понятиями также являются:

– внешняя детерминанта системы – «главная причина формирования системы; определяющий выбор внутренней детерминанты функциональный запрос надсистемы на определенные взаимодействия рассматриваемой системы с другими системами этой надсистемы» [9, с. 108];

– внутренняя детерминанта системы – «главное, определяющее, функциональное свойство системы, по отношению к которому остальные свойства лишь поддерживают его изнутри» [9, с. 108].

Проанализируем с помощью ноосферного системного подхода [8] существующие подходы к пониманию компетенций. Взгляды исследователей на компетенции и их составляющие отличаются, а иногда оказываются диаметрально противоположными. Это связано со сложностью и мало изученностью пред-

метной области «Компетенции» и тем, что не принят общий подход к классификации компетенций, а именно есть множество классификаций, но ни одна из них не является общепринятой [10]. В большинстве источников компетенции разделяются на профессиональные, личностные и социальные. Был проведен системологический анализ предметной области «Компетенции», который показал, что целесообразно делить компетенции на профессиональные и личностные. Личностные компетенции, в свою очередь, следует разделять на социальные (поведение индивида в обществе) и когнитивные (способности к мышлению, анализу и т. д.). Такое разделение позволит сделать классификацию компетенций наиболее обоснованной и соответствующей правилам формальной логики (например, правилу деления объема понятия). В статье [11] была сделана попытка построить фрагмент параметрической (включающей свойства объектов) классификации компетенций, с помощью СКА [6, 7].

Вместе с термином «компетенция» часто используется термин «компетентность», который некоторые исследователи не определяют вообще или понимают под ним то же, что и под компетенциями. Можно выделить два основных подхода к пониманию этих понятий: первый – в разделении понятий «компетенция» и «компетентность», а второй – заключается в отождествлении этих понятий. Ученые, поддерживающие второй подход, не разделяют данные понятия, сторонники первого подхода принципиально разграничивают их. Предлагается определить понятия «компетенция» и «компетентность» на основе системного подхода ноосферного этапа развития науки с использованием детерминантного анализа. Детерминантный анализ – это «метод системологического анализа существенных свойств сложных систем (система понимается как функциональный объект), направленный на установление надсистемы рассматриваемой

системы, функционального запроса к ней и, таким образом, ее сущности» [9, с. 109]. Под сущностью понимается, «с одной стороны, следствие функционального запроса системы более высокого порядка (надсистемы), с другой стороны, внутренняя причина того, что у системы имеются ее сущностные функциональные свойства» [4].

Рассмотрим первый подход к определению понятий «компетенция» и «компетентность» с помощью системологического детерминантного анализа. В литературе [12] понятия «компетенция» и «компетентность» определяются следующим образом:

– компетенция – это заранее заданное социальное требование (норма) к подготовке человека, необходимой для его качественной продуктивной деятельности в определенной сфере;

– компетентность – владение человеком соответствующей компетенцией, включающей его личностное отношение к ней и предмету деятельности, то есть компетентность – личностное качество (совокупность качеств) и опыт деятельности в заданной сфере.

В приведенном выше определении компетенции понимаются как требования, то есть функциональный запрос на наличие определенных знаний и навыков у человека. Для организации определение компетенций можно сформулировать аналогичным образом: компетенция – это функциональный запрос организации на формирование у ее сотрудников определенных знаний и навыков, необходимых для продуктивной работы и выполнения поставленных перед сотрудником функций и задач.

Таким образом, с точки зрения системологии, понятие «Компетенция» следует понимать как функциональный запрос надсистемы (внешняя детерминанта системы) на формирование системы профессиональных знаний, навыков сотрудников и личностных качеств, а понятие «компетентность» будет рассматриваться как результат выполнения системой функционального запроса в процессе формирования компетенций сотрудников (внутренняя детерминанта).

Рассмотрим второй подход к определению понятий «компетенция» и «компетентность», который отождествляет эти понятия в одно понятие – «компетенция», с помощью системологического детерминантного анализа. В литературе [13] приведены два основных описания компетенций в рамках этого подхода:

– «функциональный», основан на описании задач и ожидаемых результатов. Поддерживается британскими учеными, которые определяют компетенции как: адекватную или достаточную квалификацию, способности; адекватные или достаточные физические или интеллектуальные качества; способность быть квалифицированным; способность делать что-либо хорошо или в соответствии со стандартом, приобретенная опытным путем или в результате обучения; умение быть квалифицированным и способным выполнять определенную роль, охватывающее знания, способности, поведение;

– «личностный», основное внимание уделяется качествам человека, обеспечивающим успех в работе.

Поддерживается американскими специалистами, которые определяют понятие компетенции как качества личности – знания, умения, способности (knowledge, skills, abilities).

Проанализировав данные определения, с помощью СКА [6, 7] и основываясь на полученных выше системологических результатах, можно сделать вывод, что «функциональный» подход к компетенциям соответствует определению термина «компетенция» как функционального запроса к системе на формирование определенных знаний, навыков, способностей и т. д. В свою очередь «личностный» подход можно определить как результат выполнения функционального запроса. В проведенном выше исследовании первого подхода к определению понятий «компетенция» и «компетентность», компетентность определялась как результат выполнения функционального запроса, поэтому справедливым будет утверждение, что определение термина «компетенция» с помощью личностного подхода совпадает с определением термина «компетентность». Из этого можно сделать вывод, что на содержательном уровне, последователи первого и второго подхода различают понятия «компетенция» и «компетентность», но формально разделяют их лишь ученые, поддерживающие первый подход.

На основании проведенного исследования и предложенных, на основе системологического детерминантного и классификационного анализа [4, 6–9] определений понятий «компетенция» и «компетентность» определим понятие «компетенции менеджмента знаний». Специалисты в данной области считают, что КМЗ – это компетенции, которые включают в себя такие знания и навыки, как поиск информации; концептуальное, аналитическое мышление; решение проблем; понимание сущности процессов организационного развития; обеспечение процесса приобретения сотрудниками новых знаний и навыков. Эти компетенции представляют собой «промежуточное звено между познавательными (когнитивными) и социальными навыками» [14].

Из этого определения следует, что сотрудник, владеющий КМЗ, кроме основных операций со знаниями, должен быть компетентным и в вопросах понимания сущности объектов, систем. В процессе понимания сущности целесообразно использовать системологию, системологический детерминантный и классификационный анализ [4, 6–9].

На наш взгляд, в приведенном выше определении КМЗ упущена важная составляющая – профессиональные знания и навыки, необходимые для работы со знаниями, их формализации и представления, навыки построения моделей знаний, знания и навыки использования методов и технологий инженерии и МЗ.

Основываясь на проведенном анализе, можно предложить как рабочее следующее определение компетенций менеджмента знаний. КМЗ – это запрос организации на наличие у сотрудников знаний и навыков (профессиональных, когнитивных и личностных), необходимых для работы со знаниями; понимания сущности объектов, систем, процессов; выполне-

ния задач и функций МЗ. Важной основой КМЗ является компетенция систематизации знаний, сформированная на основе СКА и новых критериях естественной классификации, которые обобщают правила формальной логики Аристотеля [6, 7].

На основе проведенного системологического исследования предложены определения основных понятий теории компетенций, которые позволят системно и с учетом требований определять компетенции и компетенции менеджмента знаний.

Можно сделать вывод, что предметные области «Компетенции» и «Компетенции менеджмента знаний» являются малоисследованными и слабоструктурированными и нуждаются в дальнейшем системологическом исследовании.

Целесообразность разработки моделей требований к КМЗ и процессу их формирования. Запрос организации (функциональный запрос) может меняться в соответствии с изменением окружающей среды, поэтому целесообразно определять миссию, стратегию, цель организации, требования к КМЗ, чтобы они были наиболее обоснованы и отвечали функциональному запросу организации. Целесообразно также использовать системологический детерминантный и классификационный анализ при разработке требований, которые будут обеспечивать выполнение функционального запроса к системе.

Компетентность сотрудника владеющего, КМЗ состоит, например, из таких составляющих: профессиональные знания и навыки; личностные знания и навыки; офисные знания и навыки; нравственно-социальные установки (рис. 2).

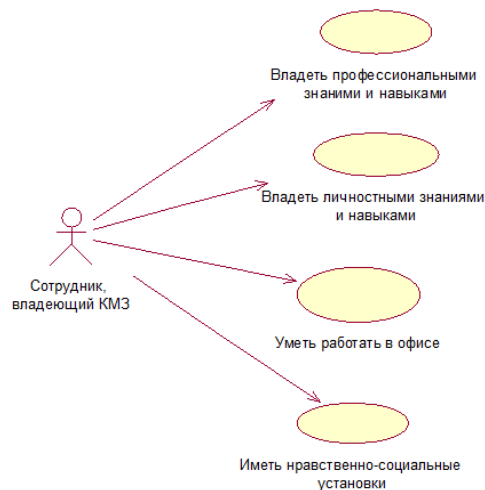


Рис. 2 – Примеры основных составляющих компетентности сотрудника, владеющего КМЗ

В работе [15] представлен фрагмент диаграммы требований к знаниям и навыкам аналитика консолидированной информации, владеющего КМЗ, на которой показаны знания и навыки сотрудников, необходимые для выполнения профессиональных задач и функций МЗ. Такая диаграмма может быть частично использована при разработке модели требований к

профессиональным знаниям и навыкам любого сотрудника, владеющего КМЗ (рис. 3). Модель учитывает основные знания и навыки, необходимые для поддержки выполнения функций и задач менеджмента знаний (например, извлечение знаний, систематизация знаний, представление знаний и др.).

Как было рассмотрено выше, КМЗ включают в себя не только профессиональные компетенции, но и личностные, поэтому целесообразно проводить исследования и разрабатывать не только требования к профессиональным знаниям и навыкам, но требования к личностным знаниям и навыкам сотрудника, владеющего КМЗ. Для разработки диаграммы требований к личностным знаниям и навыкам сотрудника, обладающего КМЗ, целесообразно использовать унифицированный язык моделирования UML. С помощью UML можно визуализировать, специфицировать, конструировать и документировать модели предметных областей; UML пригоден для моделирования любых систем: от информационных систем масштаба предприятия до систем реального времени, он позволяет рассмотреть систему с различных точек зрения, имеющих отношение к ее разработке и последующему развитию [16].

На рис. 4 представлен фрагмент диаграммы требований к личностным навыкам сотрудника, владеющего КМЗ.

Модель формализует и визуализирует основные требования к личностным характеристикам сотрудника, обладающего КМЗ, например, проявление инициативы, внимательность к деталям. Это позволит определить «слабые места» сотрудников и в дальнейшем устранить их, путем дополнительного обучения, тренингов, семинаров и т. д.

Целесообразно разработать модель требований к эффективной организации процесса формирования КМЗ (рис. 5) [17]. Такая модель формализует основные требования к процессу формирования КМЗ, в том числе к способам обучения; ко времени, затраченному на обучение и т. д. Данные требования должны основываться не только на миссии, стратегии и целях организации, но и на опросе сотрудников, что позволит определить уровень мотивации, направленности на обучение и в дальнейшем, учитывая пожелания сотрудников, усовершенствовать процесс формирования КМЗ. Формирование КМЗ у сотрудников приведет к росту уровня интеллектуального капитала организации и позволит достигнуть поставленных организацией целей за счет эффективного его использования.

В соответствии с выявленными требованиями, целесообразно разработать модель формирования КМЗ. Используя такую модель при организации процесса формирования КМЗ, организация сможет мотивировать сотрудников, правильно организовать обучение, увеличить продуктивность и результативность обучения, а также эффективнее и быстрее сформировать КМЗ.

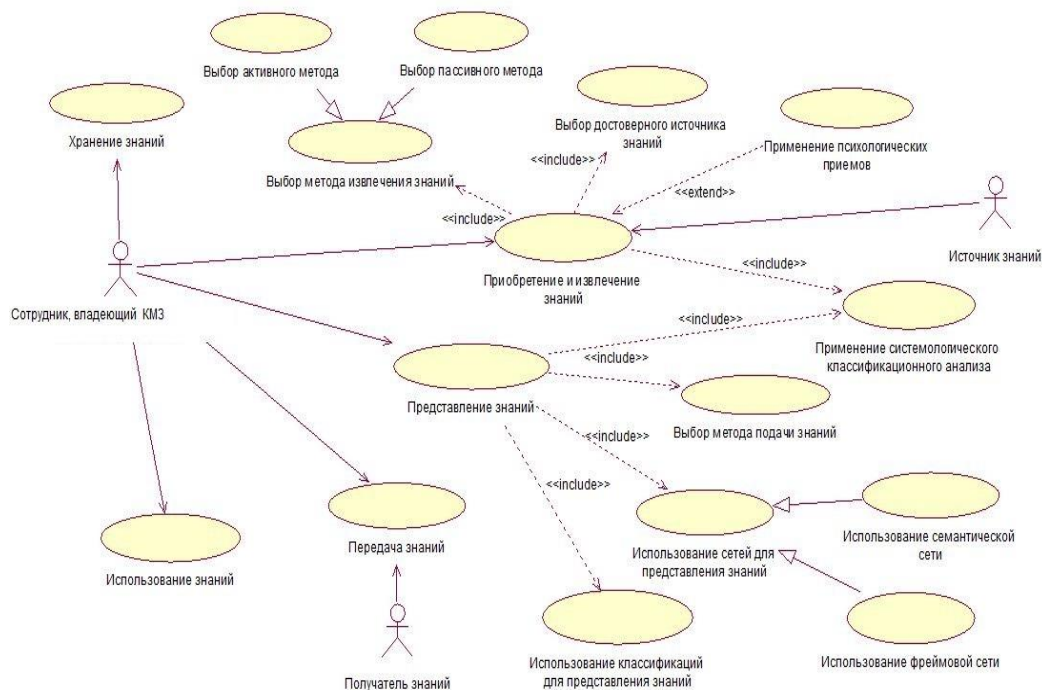


Рис. 3 – Фрагмент диаграммы требований к профессиональным знаниям и навыкам сотрудника, обладающего КМЗ

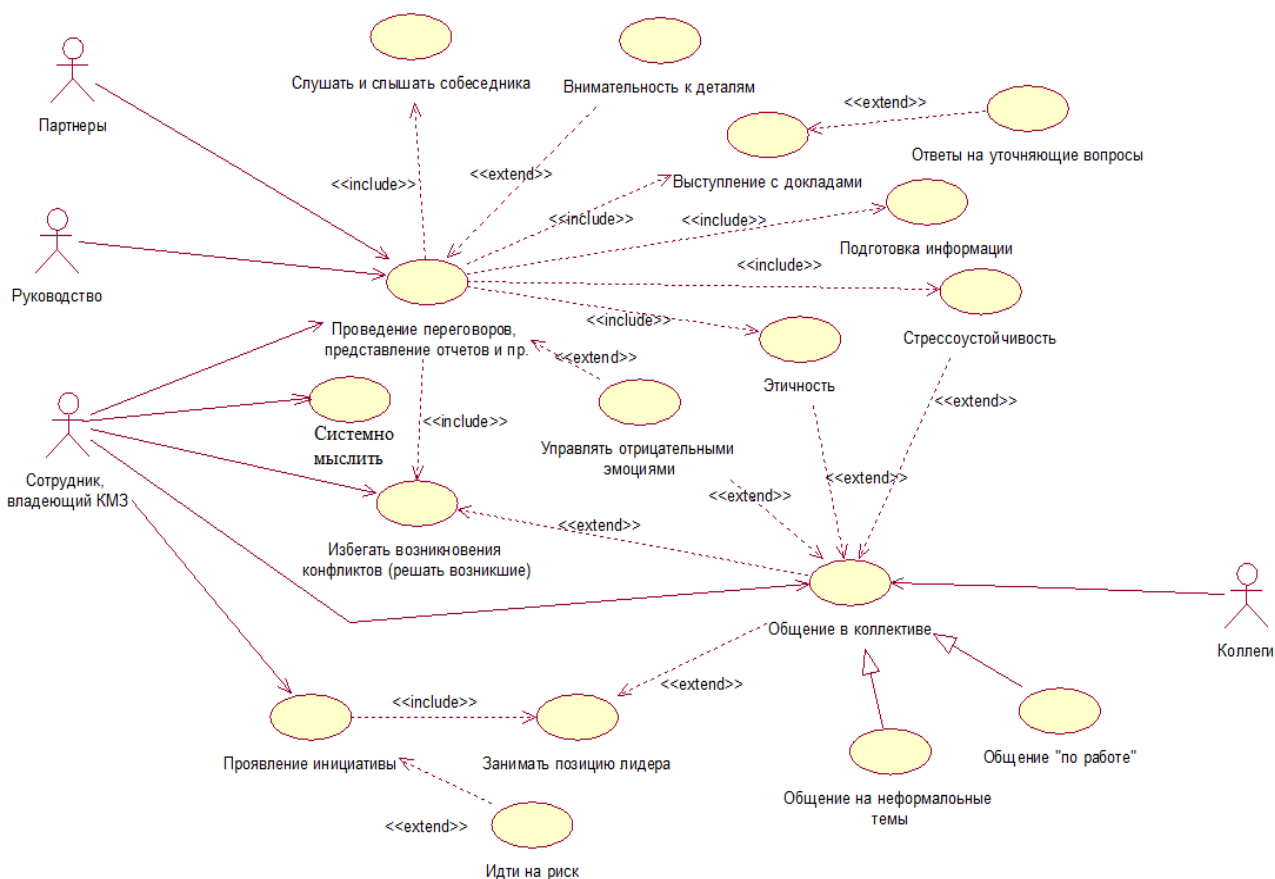


Рис. 4 – Фрагмент диаграммы требований к личностным знаниям и навыкам сотрудника, обладающего КМЗ

Результаты, полученные в статье (новые системологические определения понятий «компетенция», «компетентность», «компетенции менеджмента знаний» и модели требований), могут служить информа-

ционной базой внедрения менеджмента знаний в организациях и быть основой новой системологической информационной технологии формирования компетенций менеджмента знаний.

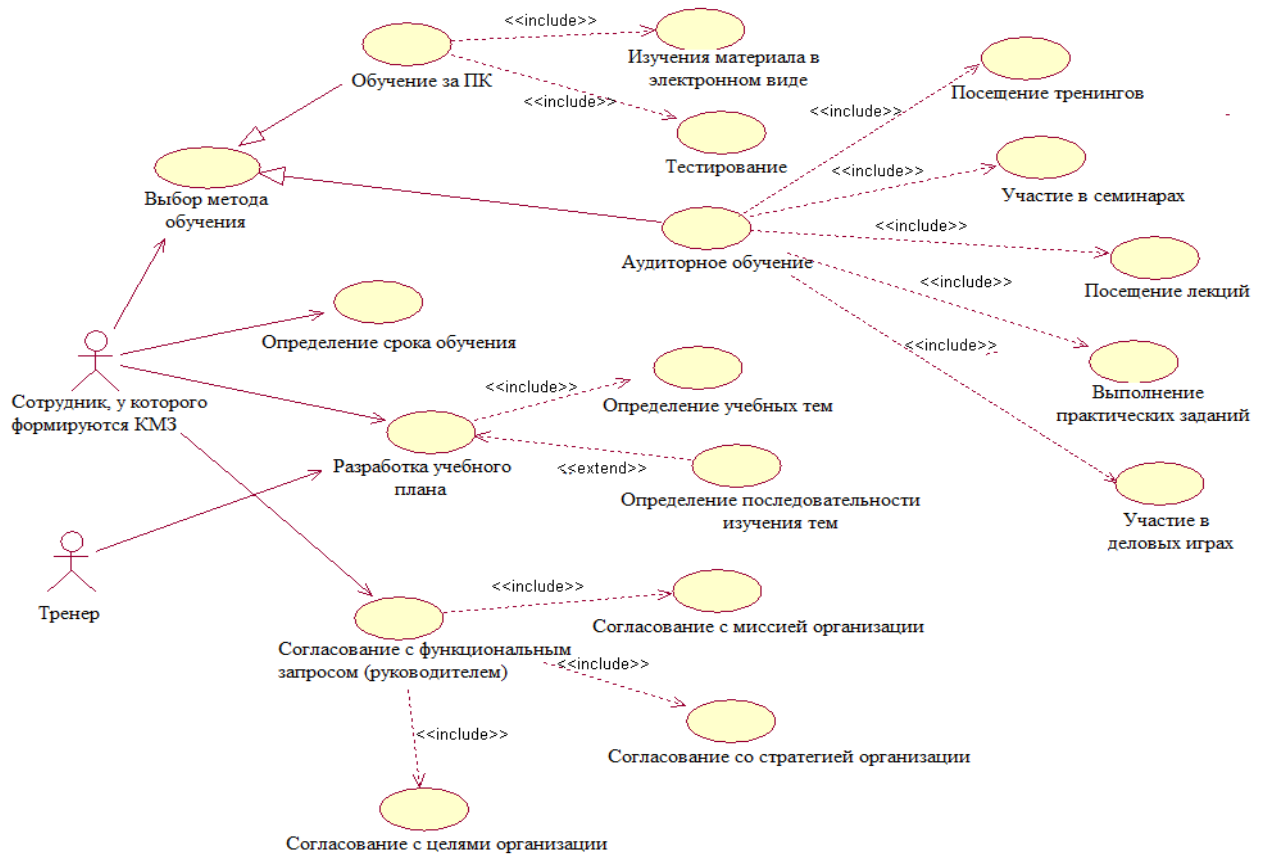


Рис. 5 – Фрагмент диаграммы требований организации процесса формирования КМЗ

Основные задачи исследования предметной области «Компетенции менеджмента знаний». Из-за малой исследованности предметная область «Компетенции менеджмента знаний» является слабоструктурированной, в ней отсутствуют общепринятые определения понятий, отсутствуют родовидовые определения понятий, не выявлена взаимосвязь между данной предметной областью и смежными предметными областями. Из этого можно сделать вывод, что в первую очередь целесообразно провести системологическое исследование КМЗ, систематизировать КМЗ. Как показано выше, следует также разработать метод формирования КМЗ и построить модели формирования и сохранения КМЗ в организации. Для проведения глубокого исследования предметной области «Компетенции менеджмента знаний» необходимо решить такие задачи:

- системологическое исследование и построение параметрической классификации КМЗ, на основе СКА и критериев естественной классификации [6, 7];
- исследование и разработка модели знаний предметной области «Компетенции менеджмента знаний» на основе параметрической классификации;
- развитие метода, моделей и технологий формирования КМЗ, с учетом параметрической классификации КМЗ;
- разработка модели анализа и оценки интеллектуального капитала сотрудников, владеющих КМЗ;

– анализ и выработка рекомендаций по практическому использованию полученных результатов для повышения конкурентоспособности организаций.

Решение этих задач позволит исследовать и внедрить системологические методы, модели, новые информационные технологии формирования КМЗ, анализа и оценки интеллектуального капитала сотрудников организаций, которые будут актуальны и обоснованы, и их применение позволит повысить конкурентоспособность организаций.

Теоретическая значимость исследования предметной области «Компетенции менеджмента знаний» заключается в том, что применение СКА [6, 7] позволит системно и наиболее эффективно решить поставленные задачи с определением и применением глубинных знаний.

Практическая значимость исследования заключается в том, что полученные результаты могут быть использованы:

- при внедрении МЗ в организацию;
- специалистами и руководителями организаций при разработке стратегий развития компаний;
- HR-менеджерами при подборе и обучении персонала;
- сотрудниками организаций, которые мотивированы к саморазвитию и самосовершенствованию;
- преподавателями ВУЗов в процессе преподавания дисциплин, связанных с МЗ, управлением персонала.

Выводы. В ходе работы получены следующие результаты:

- проанализирована целесообразность внедрения МЗ в организациях; показаны препятствия, возникающие в процессе внедрения и пути их устранения;
- исследована слабоструктурированная предметная область «Компетенции менеджмента знаний», проанализированы определения понятий «компетенция», «компетентность», «компетенции менеджмента знаний» на основе системологического детерминантного анализа, что позволило сформулировать их новые системные определения с помощью ноосферного системного подхода;
- обоснована целесообразность использования системологического детерминантного и классификационного анализа для решения компетентностных задач, связанных с пониманием сущности объектов;
- исследована и разработана объектная модель требований к профессиональным знаниям и навыкам сотрудника, обладающего КМЗ, что позволило формализовать требования к КМЗ;
- проведен анализ целесообразности разработки требований к КМЗ и построена UML-диаграмма требований к личностным знаниям и навыкам сотрудника, владеющего КМЗ;
- исследована и разработана объектная модель требований к эффективной организации процесса формирования КМЗ.

В работе впервые применен для исследования КМЗ системологический анализ ноосферного этапа развития науки [8, 9] что позволяет более объективно определить КМЗ и учесть их существенные свойства.

Следует отметить, что предметная область «Компетенции менеджмента знаний» нуждается в системологическом исследовании и дальнейшей систематизации знаний в ней, в целях повышения эффективности деятельности организации, ее конкурентоспособности.

Результаты проведенных исследований могут служить информационной базой внедрения менеджмента знаний в организациях; основой новой системологической информационной технологии формирования компетенций менеджмента знаний и быть использованы для эффективного и оперативного формирования таких компетенций.

Список литературы

1. Орлова Т. М. Управление знаниями / Т. М. Орлова, А. Л. Гапоненко – М. : Эксмо, 2008. – 550 с.
2. Менеджмент знаний : подход к внедрению. – Режим доступа : <http://www.management.com.ua/hrm/hrm051.html> – Дата обращения : 15 мая 2016.
3. Управление знаниями как функция деятельности организации – Режим доступа : <http://dis.ru/library/558/26251/> – Дата обращения : 15 мая 2016.
4. Мельников Г. П. Системология и языковые аспекты кибернетики / Г. П. Мельников – М. : Советское радио, 1978. – 368 с.
5. Экономика знаний. – Режим доступа : <http://www.slideshare.net/ssuser7406d7/3-33038002> – Дата обращения : 15 мая 2016.
6. Соловьева Е. А. Естественная классификация: системологические основания / Е. А. Соловьева. – Харьков : ХНУРЭ, 1999. – 222 с.

7. Solov'eva E. A. *Mathematical Modeling of Conceptual System: a Method and Criteria of a Natural Classification* / E. A. Solov'eva // *Automatic Document and Mathematical Linguistics*. – 1991. – Vol. 25, no. 2. – P. 44–56.
8. Bondarenko M. F. *Analysis Of Systemological Tools For Conceptual Modeling Of Application Fields* / M. F. Bondarenko, S. I. Matorin, E. A. Solovyova // *Automatic Document and Mathematical Linguistics*. – 1997. – Vol. 30, no. 2. – P. 33–45.
9. Бондаренко М. Ф. Основы системологии / М. Ф. Бондаренко, Е. А. Соловьева, С. И. Маторин. – Харьков : ХНУРЭ, 1998. – 118 с.
10. Овчинников А. В. Универсальная модель профессиональных компетенций / А. В. Овчинников // Интернет-журнал «Науковеденье» – июль-август 2014. – Режим доступа : <http://naukovedenie.ru/PDF/100EVN414.pdf> – Дата обращения : 15 апреля 2017.
11. Panasovska Y. *Knowledge Management Toolset Analysis for Learning Organizations* / K. Solovyova, A. Danilov, Y. Panasovska, M. Kobrin // *International Journal "Information Content and Processing"*. – 2014. – Vol. 1, № 4. – P. 351–359.
12. Хуторской А. В. Современная дидактика. Учебное пособие. 2-е издание, переработанное / А. В. Хуторской. – М. : Высшая школа, 2007. – 639 с.
13. Что такое профессиональные компетенции? – Режим доступа : <http://www.twirpx.com/topic/600/> – Дата обращения : 15 мая 2016.
14. Менеджмент знаний и подготовка кадров. – Режим доступа : <http://cyberleninka.ru/article/n/medzhment-znaniy-i-podgotovka-kadrov> – Дата обращения : 15 января 2017.
15. Panasovska Y. *On the Training of Consolidated Information Analysts* / K. Solovyova, A. Danilov, O. Pishchukhina, et al // *International Journal "Information Models&Analyses"*. – 2014. – Vol. 3, № 4. – P. 372–386.
16. Буч Г. Язык UML. Руководство пользователя / Г. Буч, Дж Рамбо, И. Якобсон – Режим доступа : http://site-monitor.ru/doc/UML_HTML/gl_02.htm – Дата обращения : 29 ноября 2016.
17. Панасовська Ю. В. Аналіз вимог співробітників організації до процесу формування компетенцій менеджменту знань / Ю. В. Панасовська // 21-й Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті». Зб. матеріалів форуму. Т. 9. – Харьков : ХНУРЭ, 2017. – С. 28–29.

References (transliterated)

1. Orlova T. M., A. L. Haponenko. *Upravlenye znaniyami* [Knowledge Management]. Moscow, Eksmo Publ., 2008. 550 p.
2. *Menedzhment znaniy: podkhod k vnedreniyu* [Knowledge Management: Approach to Implementation]. Available at : <http://www.management.com.ua/hrm/hrm051.html> (accessed 15.06.16).
3. *Upravlenie znaniyami kak funktsiya deyatel'nosti organizatsii* [Knowledge management as a function of the organization's activities]. Available at : <http://dis.ru/library/558/26251/> (accessed 15.06.16).
4. Mel'nikov G. P. *Sistemologiya i yazykovye aspekty kibernetiki* [Systemology and linguistic aspects of cybernetics]. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1978. 368 p.
5. *Ekonomika znaniy* [Economics of knowledge]. Available at : <http://www.slideshare.net/ssuser7406d7/3-33038002> (accessed 15.06.16).
6. Solovyova E. A. *Estestvennaya klassifikatsiya: sistemologicheskie osnovaniya* [Natural classification: systemological grounds]. Khar'kov, NURE Publ., 1999. 222 p.
7. Solov'eva E. A. *Mathematical Modeling of Conceptual System: a Method and Criteria of a Natural Classification. Automatic Document and Mathematical Linguistics*. 1991, vol. 25, no. 2, pp.44–56.
8. Bondarenko M. F., Matorin S. I., Solovyova E. A. *Analysis Of Systemological Tools For Conceptual Modeling Of Application Fields. Automatic Document and Mathematical Linguistics*. 1997, vol. 30, no. 2, pp. 33–45.
9. Bondarenko M. F., Solovyova E. A., Matorin. S. I. *Osnovy sistemologii* [Fundamentals of systemology]. Khar'kov, NURE Publ., 1998. 118 p.
10. Ovchinnikov A. V. *Universal'naya model' professional'nykh kompetentsiy* [The universal model of professional competences].

- Available at : <http://naukovedenie.ru/PDF/100EVN414.pdf>.
(accessed 15.03.17).
11. Panasovska Y., Solovyova K., Danilov A., Panasovska Y., Kobrin M. *Knowledge Management Toolset Analysis for Learning Organizations. International Journal "Information Content and Processing"*. 2014, vol. 1, no 4, pp. 351–359.
12. Khutorskoi A. V. *Sovremennaiia dydaktyka* [Modern Didactics]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2007. 639 p.
13. *Chto takoe professional'nye kompetentsii?* [What is professional competence?]. Available at : <http://www.twirpx.com/topic/600>. (accessed 15.09.16)
14. *Menedzhment znaniy i podgotovka kadrov* [Knowledge Management and Training]. Available at : <http://cyberleninka.ru/article/n/menedzhment-znaniy-i-podgotovka-kadrov>. (accessed 15.01.17)
15. Panasovska Y., Solovyova K., Danilov A., Pishchukhina O., etc. *On the Training of Consolidated Information Analysts. International Journal "Information Models&Analyses"*. 2014, vol. 3, no 4, pp. 372–386.
16. Booch G., Rumbaugh J., Jacobson I. *Yazyk UML. Rukovodstvo pol'zovatelya* [The UML language. User guide]. Available at : http://sitemonitor.ru/doc/UML_HTML/gl_02.htm (accessed 29.11.16).
17. Panasovska Y. V. *Analiz vymoh spivrobitnykiv orhanizatsiyi do protsesu formuvannya kompetentsiy menedzhmentu znan'* [Analysis of the requirements of the organization's employees to the process of forming of knowledge management competencies]. *21-y Mizhnarodnyi molodizhnyi forum «Radioelektronika ta molod u XKhl stolitti». T9* [21st International Youth Forum "Radio Electronics and Youth in the 21st Century". Vol. 9]. Kharkov, NURE Publ., 2017, pp.28–29.

Поступила (received) 19.05.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

До питання про актуальність системологічного дослідження процесу формування компетенцій менеджменту знань / К. О. Соловійова, Ю. В. Панасовська // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 28 (1250). – С. 89–97. – Бібліогр.: 17 назв. – ISSN 2079-0023.

К вопросу об актуальности системологического исследования процесса формирования компетенций менеджмента знаний / Е. А. Соловьева, Ю. В. Панасовская // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 28 (1250). – С. 89–97. – Библиогр.: 17 назв. – ISSN 2079-0023.

On the question of systemological research importance of knowledge management competencies formation / K. O. Solovyova, Y. V. Panasovska // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No. 28 (1250). – P. 89–97. – Bibliogr.: 17. – ISSN 2079-0023.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Соловійова Катерина Олександрівна – доктор технічних наук, професор, зав. каф. Соціальної інформатики, ХНУРЕ, м. Харків; тел.: (057) 702-15-91; e-mail: gt_ekasolo@yahoo.com

Соловьева Екатерина Александровна – доктор технических наук, профессор, зав. каф. Социальной информатики, ХНУРЭ, г. Харьков; тел.: (057) 702-15-91; e-mail: gt_ekasolo@yahoo.com

Solovyova Kateryna Oleksandrivna – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Social Informatics Department, NURE, Kharkiv; tel.: (057) 702 15 91; e mail: gt_ekasolo@yahoo.com

Панасовська Юлія Валеріївна – аспірант, асистент каф. Соціальної інформатики, ХНУРЕ, м. Харків; тел.: (057) 702 15 91; e mail: yuliia.panasovska@nure.ua

Панасовская Юлия Валерьевна – аспирант, ассистент каф. Социальной информатики, ХНУРЭ, г. Харьков; тел.: (057) 702 15 91; e mail: yuliia.panasovska@nure.ua

Panasovska Yuliia Valeriivna – postgraduate, assistant of Social Informatics Department, KNURE, Kharkiv; tel.: (057) 702 15 91; e mail: yuliia.panasovska@nure.ua

УДК 004.02:007

Д. О. ШТЕЙНБРЕХЕР**ВИКОРИСТАННЯ ІНСТРУМЕНТІВ УПРАВЛІННЯ ЗНАННЯМИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВЗАЄМОДІЇ УНІВЕРСИТЕТІВ ТА ПРОМИСЛОВОСТІ**

Представлено огляд основних напрямків діяльності університетів в галузі трансферу знань та запропоновано концептуальну схему взаємодії університетів та промисловості. Викладено фактори негативного впливу на стійкий розвиток системи кооперації університетів і промисловості. Запропоновано, онтологічну модель кооперації університетів з підприємствами промислової галузі, що розроблена за допомогою сучасних інструментів управління знаннями. Модель апробована трьома українськими ВНЗ в рамках проекту Темпус. Підкреслено необхідність впровадження моделі трансферу знань, яка дозволяє підвищити інноваційний потенціал вітчизняних підприємств.

Ключові слова: управління знаннями, кооперація, промисловість, університет, модель, інновації.

Представлен обзор основных направлений деятельности университетов в области трансфера знаний и предложена концептуальная схема взаимодействия университетов и промышленности. Изложены факторы негативного влияния на устойчивое развитие системы кооперации университетов и промышленности. Предложена онтологическая модель кооперации университетов с предприятиями промышленной отрасли, разработанная с помощью современных инструментов управления знаниями. Модель была апробирована тремя украинскими вузами в рамках проекта Темпус. Подчеркнута необходимость внедрения модели трансфера знаний, которая позволяет повысить инновационный потенциал отечественных предприятий.

Ключевые слова: управления знаниями, кооперация, промышленность, университет, модель, инновации.

There have been proposed the overview of the main activities of universities in knowledge transfer and proposed conceptual framework of collaboration between universities and industry. Expounded list of factors which influence knowledge management tools at the university level, affecting the sustainability of the system of cooperation between universities and industry. The ontology model of cooperation between universities and industry was developed in connection with modern knowledge management tools. The model was tested by three Ukrainian universities as part of the Tempus project. Was emphasized the necessity of knowledge transfer model implementation, which can increase the innovative capacity of Ukrainian industry.

Key words: knowledge management, collaboration, industry, university, model, innovations.

Вступ. Динамізм розвитку економіки знань змушує підприємства шукати нові підходи не тільки до управління корпоративними знаннями, але й до нових знань. Тому, у суспільстві, заснованому на знаннях [1], університети, замість традиційної академічної ролі, отримали більш широку функцію розробки і просування інновацій.

Перехід від системи «закритих інновацій» до «відкритих інновацій» [2] зумовив необхідність створення партнерства між університетами та підприємствами різних галузей економіки для спільного проведення наукових досліджень. Співробітництво в галузі створення інновацій дозволяє розробити оптимальну бізнес-модель, знизити витрати на науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи (НДДКР), збільшити обсяг випуску продукції, а також досліджувати принципово нові ринки інноваційної продукції.

Зарубіжні дослідники приділяють значну увагу проблемам трансферу знань та технологій [3, 4, 5, 6], моделям кооперації університетів та промисловості [4, 7] та функціям університетів у побудові інноваційної системи [8, 9]. Крім того, внесок у вивчення проблем трансферу знань зробили такі вітчизняні вчені, як Г. О. Андрощук, Т. С. Медведкін, Л. Г. Смоляр та ін.

Однак, проблема організації ефективного трансферу знань між університетом та промисловістю досліджена недостатньо, що підтверджується низьким рівнем інноваційної активності українських підприємств.

Постановка задачі. Актуальною науковою проблемою є побудова моделі кооперації університету та промисловості, яка використовує інструменти

управління знаннями і відповідає сучасним економічним умовам. Для вирішення поставленої задачі в роботі проводиться аналіз сучасних досліджень в області трансферу знань, з метою виявлення ролі університету в економіці та підходів до управління трансфером знань, а також пропонується метрика визначення впливу заданих факторів (мотивація, бар'єри, переваги, недоліки, моделі взаємодії) на інтенсивність процесів трансферу знань між промисловістю та університетами.

Нова роль університетів в суспільстві основаному на знаннях. Вираз «суспільство знань» набуло широкого використання протягом останніх 20 років і все частіше використовуються для осмислення процесів, що відбуваються в господарському і політичному житті, в інформаційній сфері, в структурах освіти і науки, у відносинах всередині та між організаціями. В опублікованому ЮНЕСКО звіті [3] стверджується: «Сьогодні загально визнано, що знання перетворилося на предмет колосальних економічних, політичних і культурних інтересів настільки, що може служити для визначення якісного стану суспільства, контури якого лише починають перед нами вимальовуватися».

Університети, замість традиційної академічної ролі суспільного відтворення і розповсюдження сертифікованих знань, отримали більш широку функцію в створенні та просуванні інновацій.

На основі тристоронніх мереж (Trilateral networks) взаємодії науки, уряду і виробництва [4] та моделі гібридної організації було розроблено концептуальну схему взаємодії університету та промисловості (рис. 1).

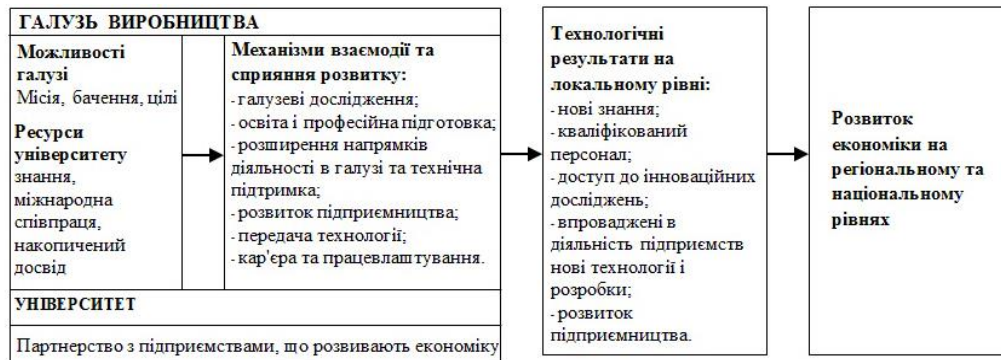


Рис. 1 – Концептуальна схема взаємодії університету та промисловості

Структура взаємодії відображає відносини університету з промисловими підприємствами, їх вплив на економічний розвиток регіону через ряд механізмів, які впливають на розвиток через технологічні результати, що підвищують ефективність діяльності підприємств. Ці результати можуть бути структуровані за трьома функціями університету: освіта (кваліфікований персонал: підготовка випускників або підвищення кваліфікації співробітників), наукові дослідження (нові знання), а також передача знань суспільству (доступ до інноваційних досліджень, впроваджені в діяльність підприємств нові технології і розробки; розвиток підприємництва).

Як зазначається в дослідженні [7], університет самостійно виконує підприємницьку діяльність в процесі комерціалізації інновацій, таким чином створюючи позитивний вплив на розвиток економіки. Крім того, університет розглядається як центр трансферу знань [6], головним об'єктом діяльності якого є обмін результатами досліджень, об'єктами інтелектуальної власності, участь у реалізації стартапів, створення spin-off компаній [9].

Деякі університети пішли іншим шляхом і зосередили свою увагу на встановленні зв'язків з кінцевими користувачами знань через комерціалізацію академічних знань та сприяння передачі технологій на їх основі. Аналіз актуальних досліджень показав, що комерціалізація вважається найбільш ефективним інструментом для формування академічної вигоди університету (фінансової та іміджевої). Крім того, він є вимірюваним показником прийняття ринком результатів наукових досліджень університету [10]. З метою підтримки комерціалізації академічних знань на базі університетів створюються офіси трансферу знань, наукові парки, інкубатори та інші організаційні структури управління інноваціями, розробляються внутрішні правила, норми та процедури.

Управління процесом передачі знань між університетами та промисловістю є предметом як вітчизняних [11, 12], так і іноземних [13, 14] досліджень, в яких відзначається необхідність нової моделі трансферу знань, яка має більшу ефективність в умовах нової знання-орієнтованої економіки. На сьогоднішній день діяльність з управління трансфером знань сфокусована в більшій мірі на трансфері технологій та захисті інтелектуальної

власності, що не завжди відповідає потребам університетів в повній мірі.

На шляху реалізації механізмів передачі знань між університетами та промисловістю, автор роботи [8] визначає багато труднощів, серед яких ключову роль відіграють наступні: дефіцит кваліфікованих кадрів; нестача коштів; низький рівень маркетингу та послідовної стратегії виходу на ринок наукових досліджень.

З іншого боку, компанії, які працюють в умовах жорсткої конкуренції (особливо на міжнародному ринку), для підтримки рівня конкурентоспроможності, зацікавлені у використанні не тільки внутрішніх, але й зовнішніх інноваційних ідей і технологій. Спираючись на дослідження [13] і [15] можна зробити висновок, що співпраця між університетами та їх промисловими партнерами в контексті відкритих інновацій спрямована на їх підтримку в обміні науково-дослідними ресурсами (знання, ідеї, досвід, патенти, інноваційний потенціал та ін.) з метою створення і підвищення цінності розроблених продуктів і запропонованих послуг.

Модель кооперації між університетом та промисловістю. В рамках даного дослідження, університет виступає як джерело знань (відповідно до традиційного підходу). Таким чином, процес трансферу знань, який може бути інтегрований в університетах, розглядається в цій статті з точки зору університету.

Спираючись на дослідження [7], в якому визначаються найбільш розповсюджені види діяльності університетів, пов'язані з трансфером знань, можна виділити наступні:

- патентування та ліцензування;
- створення spin-off компаній;
- мережі взаємодії університету та промисловості;
- посилення міжнародної кооперації;
- постійний професійний розвиток;
- управління мережею випускників;
- діяльність з пошуку та реалізації грантів.

Перелічені види діяльності університету в поєднанні визначають рівень активності університету в співробітництві з галуззю. Автор [6] виділяє чотири рівня розвитку співробітництва університету з промисловістю (рис.2).

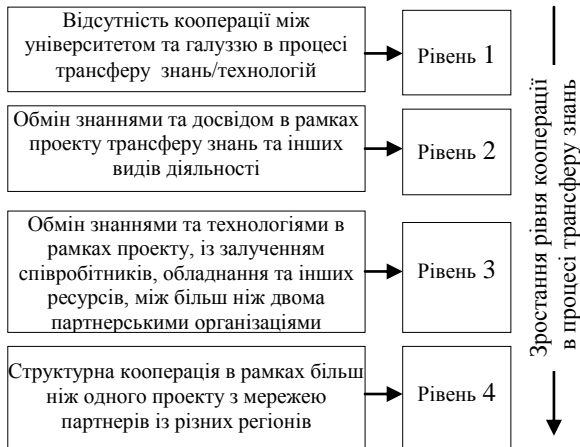


Рис. 2 – Оцінка рівня кооперації в процесі трансферу знань та технологій

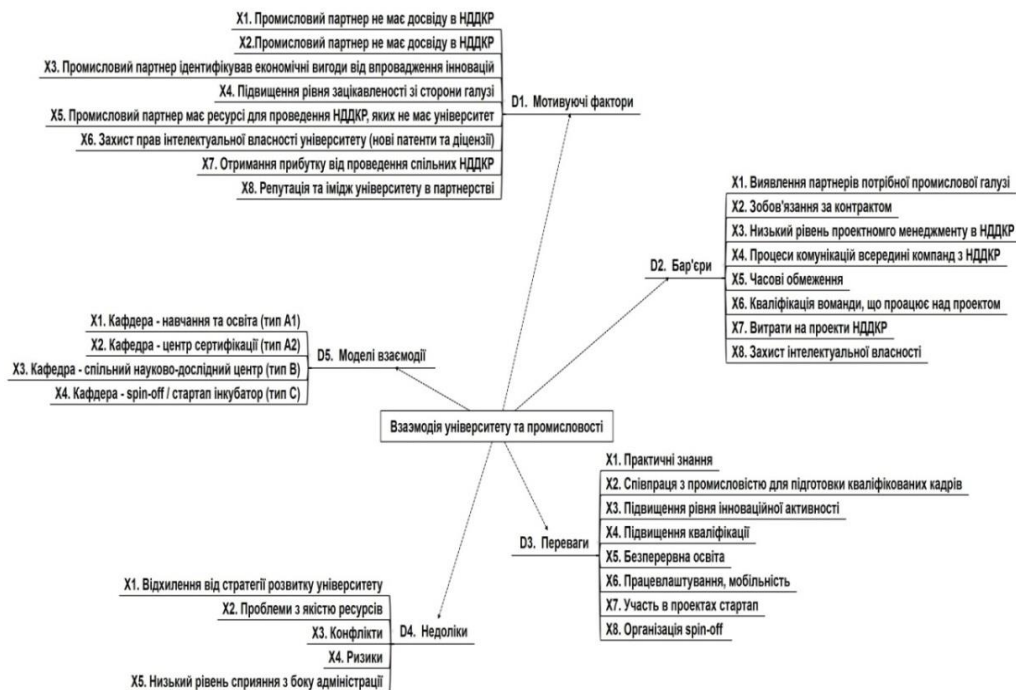


Рис. 3 – Онтологічна модель кооперації університетів та підприємств промисловості

Такий підхід дозволяє «прийти до спільної мови» науково-дослідному персоналу університету та промисловості, уникнути можливих бар'єрів в порозумінні та уніфікувати діяльність університетів в галузі передачі знань.

Підхід дозволяє проаналізувати та оптимізувати процеси трансферу знань як підприємствам, так і університетам.

Case-study за проектом Темпус КТУ. На основі запропонованої концепції було проведено аналіз рівня розвитку діяльності з трансферу знань і технологій в українських університетах.

На основі моделі було розроблено спеціалізований опитувальник, який дозволяє провести аналіз впливу заданих факторів (мотивація, бар'єри, переваги, недоліки, моделі взаємодії) на інтенсивність процесів трансферу знань між промисловістю та університетами.

З метою створення механізму ефективної взаємодії університетів та промисловості, запропоновано онтологічну модель кооперації

Онтологія, як відомо, складається з термінів, організованих в таксономію, їх визначень, атрибутів, а також пов'язаних з ними аксіом і правил [16].

Представлена модель складається з 5 ключових елементів (мотивація, бар'єри, переваги, недоліки, моделі взаємодії), які деталізовані та представлені та рис. 3. Наступні рівні є специфічними і залежать від напрямку діяльності певного університету та галузі промисловості.

Запропонована онтологія представляє собою підхід до управління знаннями та прийняття рішень щодо трансферу знань в університеті.

Питання опитувальника згруповані відповідно до п'яти елементів онтології (D_1, \dots, D_5). Всі групи мають відповідну кількість питань ($X_1 \dots X_n$, де X – субелемент онтології (див. рис.3). Кожне питання має шкалу оцінки від 1 до 5 балів, де 1 бал – «не відповідає дійсності» / «має найменший вплив фактору», а 5 балів – «повністю відповідає дійсності» / «має найбільший вплив». Результати опитування по кожному з елементів онтологічної моделі представлено в таблиці 1.

Опитування проводилось протягом 2016 року у трьох університетах, які входять до консорціуму міжнародного проекту Темпус № 544031 – TEMPUS – 1 – 2013 – AT – TEMPUS – JPHES «Центр передачі знань – від прикладного дослідження і обміну технологічно-підприємницькими ноу-хау до розробки міждисциплінарних навчальних модулів», учасником якого є Національний аерокосмічний університет

ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут».

Таблиця 1 – Результати опитування

Університет	Елемент онтології	Середній бал за елементом
Приватний вищий навчальний заклад "Міжнародний науково-технічний університет ім. академіка Юрія Бугая" (МНТУ)	D1	4,16654
	D2	3,02114
	D3	3,11231
	D4	3,31254
	D5	3,25664
Середній бал		3,37
Університет банківської справи Національного банку України (УБС НБУ)	D1	3,12523
	D2	3,612112
	D3	3,14112
	D4	3,23254
	D5	3,501145
Середній бал		3,32
Хмельницький національний університет (ХНУ)	D1	3,413365
	D2	3,702101
	D3	4,10025
	D4	2,70125
	D5	3,60123
Середній бал		3,50
Середній бал університетів		3,40

На рис. 4 представлено графік розподілу балів між університетами. Як видно з рисунку, низький рівень співпраці університетів з галуззю (про що свідчить загальний бал 3,40 з 5,00) зумовлений проблемами стратегічного планування цього виду діяльності як зі сторони університетів, так і підприємств, а також відсутністю адекватної та життєздатної бізнес-моделі кооперації.

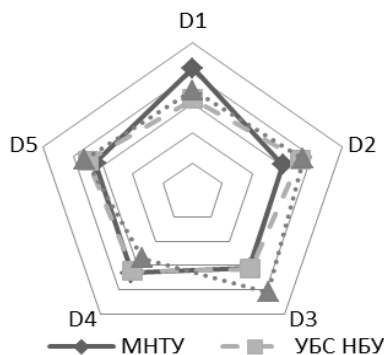


Рис. 4 – Розподіл балів між університетами (МНТУ, УБС НБУ, ХНУ)

Відповідно до результатів опитування, університети не впевнені у впливі інструментів менеджменту знань на рівні університету (D3) через відсутність кваліфікованого персоналу, спроможного виконувати планування та реалізацію цієї діяльності, неналежний рівень підтримки з боку керівництва університетів та високу вартість ІТ інструментів для їх реалізації.

Висновки. В роботі розглянуто місце університету в сучасній економіці знань, яке обумовлене процесами глобалізації, розвитком інформаційних технологій та глобальною конкуренцією. Підкреслено, що

значну роль в розвитку економіки відіграє кооперація між університетом та промисловістю як ефективний засіб підготовки кваліфікованих кадрів, адаптованих до сучасних потреб ринку праці. Виділено основні напрямки діяльності в галузі трансферу знань, запропоновано концептуальну схему взаємодії університетів та промислових підприємств.

Крім того, запропоновано онтологічну модель кооперації університетів з галуззю промисловості, яка була апробована трьома українськими ВНЗ в рамках проекту Темпус КТУ. Викладено перелік факторів впливу інструментів менеджменту знань на рівні університету, що негативно впливають на стійкий розвиток системи кооперації університетів і промисловості.

Підкреслено необхідність впровадження моделі трансферу знань, яка дозволяє підвищити інноваційну активність вітчизняних підприємств.

Подальші дослідження будуть направлені на побудову та уточнення моделей трансформації знань в ході трансферу між університетом та промисловістю, а також на розробку бізнес-моделі комерціалізації знань.

Список літератури

1. *Drucker P.* The Age of Discontinuity, Guidelines to Our Changing Society / P. Drucker. – New York, 1969. – 262 p.
2. *Чесбро Г.* Открытые инновации / Г. Чесбро. – М.: Поколение. – 2007. – Т. 336.
3. *Технический отчет ЮНЕСКО [Электронный ресурс].* – Режим доступа: <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001418/141843r.pdf>. Дата обращения: 15 янв. 2017.
4. *Etzkowitz H.* The Future of the University and the University of the Future: Evolution of Ivory Tower to Entrepreneurial Paradigm / H. Etzkowitz, A. Webster, C. Gebhard // Research Policy. – 2000. – Vol. 29. – No. 2. – P. 313–330.
5. *Tornatzky L. G.* University Roles in a Knowledge Economy. Innovation U 2.0 [Electronic resource] / L. G. Tornatzky, E. C. Rideout. – Available at: <http://ssti.org/report-archive/innovationu20.pdf>. – Accessed: 15.01.2017.
6. *Bodas-Freitas I. M.* Finding the Right Partners: Institutional and Personal Modes of Governance of University–Industry Interactions / I. M. Bodas-Freitas, A. Geuna, F. Rossi // Research Policy. – 2013. – Vol. 42. – No. 1. – P. 50–62.
7. *Ropke F.* The Entrepreneurial University, Innovation, Academic Knowledge Creation and Regional Development in a Globalized Economy / Working Paper Department of Economics, Philipps–University Marburg. – Germany, 2008. – Vol. 15. – P. 64–68.
8. *Perkmann M.* Academic Engagement and Commercialisation: A Review of the Literature on University–Industry Relations / M. Perkmann, V. Tartari, M. McKelvey, E. Autio // Research Policy. – 2013. – Vol. 42. – No. 2. – P. 423–442.
9. *Perkmann M.* How should firms evaluate success in university–industry alliances? A performance measurement system / M. Perkmann, A. Neely, K. Walsh // R&D Management. – 2011. – Vol. 41. – No. 2. – P. 202–216.
10. *Markman G. D.* Research and Technology Commercialization / G. D. Markman, D. S. Siegel, M. Wright // Journal of Management Studies. – 2008. – Vol. 45. – No. 8. – P. 1401–1423.
11. *Чухрай Н. І.* Проблеми розвитку вищої освіти у контексті трансформації вітчизняної економіки в економіку, побудовану на знаннях / Н. І. Чухрай, Ю. Н. Шпак // Управління інноваційним процесом в Україні: проблеми, перспективи, ризики: тези доп. III Міжнар. наук.-практ. конф. (Львів, 20–21 травня 2010 р.). – С. 496–498.
12. *Watanabe T.* University–Industry Collaboration: Effect of Patenting and Licensing by University on Collaboration Research / T. Watanabe // Tech Monitor. – 2009. – P. 11–18.
13. *Perkmann M.* How Should Firms Evaluate Success in University–Industry Alliances? A Performance Measurement System /

- M. Perkmann, A. Neely, K. Walsh // *R&D Management*. – 2011. – Vol. 41. – No. 2. – P. 202–216.
14. Schoen A. Governance Typology of Universities' Technology Transfer Processes / A. Schoen, B. P. Potterie, J. Henkel // *The Journal of Technology Transfer*. – 2014. – Vol. 39. – No. 3. – P. 435–453.
 15. Leydesdorff L. Triple Helix of University-industry-government Relations / L. Leydesdorff // Springer New York. – 2013. – P. 1844–1851.
 16. Литвин В. В. Технології менеджменту знань : навч. посіб. / В. В. Литвин; за заг. ред. В. Пасічника. – 2-ге вид. – Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2013. – 260 с.
 8. Perkmann M., Tartari V., McKelvey M., Autio E. Academic engagement and commercialisation: A review of the literature on university–industry relations. *Research Policy*. 2013, vol. 42, no. 2, pp. 423–442.
 9. Perkmann M., Neely A., Walsh K. How should firms evaluate success in university–industry alliances? A performance measurement system. *R&D Management*. 2011, vol. 41, no. 2, pp. 202–216.
 10. Markman G. D., Siegel D. S., Wright M. Research and technology. *Journal of Management Studies*. 2008, vol. 45, no. 8, pp. 1401–1423.
 11. Chukhray N. I., Shpak Yu. N. Problemy rozvytku vyshchoyi osvity u konteksti transformatsiyi vitchyznyanoi ekonomiky v ekonomiku, pobudovanu na znannyakh [The problems of higher education in the context of the transformation of the national economy to the economy, based on knowledge]: III Mizhnarodna naukovopraktychna konferentsiia "Upravlinnya innovatsiyum protsesom v Ukrayini: problemy, perspektyvy, ryzyky" – *The Third Int. Scientific Conference "Management of innovation processes in Ukraine: Problems and Prospects, Risks"*. Lviv, pp. 496–498 [in Ukrainian].
 12. Watanabe T. University-Industry Collaboration: Effect of Patenting and Licensing by University on Collaboration Research. *Tech Monitor*. 2009, pp. 11–18.
 13. Perkmann M., Neely A., Walsh K. How should firms evaluate success in university–industry alliances? A performance measurement system. *R&D Management*. 2011, vol. 41, no. 2, pp. 202–216.
 14. Schoen A., Potterie B. P., Henkel J. Governance typology of universities' technology transfer processes. *The Journal of Technology Transfer*. 2014, vol. 39, no. 3, pp. 435–453.
 15. Leydesdorff L. *Triple Helix of University-industry-government Relations*. Springer New York. 2013, pp. 1844–1851.
 16. Lytvyn V. V. *Tekhnolohiyi menedzhmentu znan'* [Technology management expertise]; V. Pasichnyka (Ed.). (2nd ed.). – Lviv: Vydavnytstvo Lvivs'koyi politekhniki, 2013, 260 p. [in Ukrainian].

References (transliterated)

Надійшла (received) 05.05.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Використання інструментів управління знаннями для підвищення ефективності взаємодії університетів та промисловості / Д. О. Штейнбрехер // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 28 (1250). – С. 98–102. – Бібліогр.: 16 назв. – ISSN 2079-0023.

Использование инструментов управления знаниями для повышения эффективности взаимодействия университетов и промышленности / Д. А. Штейнбрехер // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 28 (1250). – С. 98–102. – Бібліогр.: 16 назв. – ISSN 2079-0023.

Using the knowledge management tools to improve interaction between universities and industry / D. O. Shteinbrekher // Bulletin of NTU "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No. 28 (1250). – P. 98–102. – Bibliogr.: 16. – ISSN 2079-0023.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Штейнбрехер Дар'я Олександрівна – Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», асистент кафедри «Менеджмент»; тел.: (063) 355–44–04; e-mail: d.shteinbrekher@gmail.com.

Штейнбрехер Дарья Александровна – Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», ассистент кафедры «Менеджмент»; тел.: (063) 355–44–04; e-mail: d.shteinbrekher@gmail.com.

Shteinbrekher Daria Oleksandrivna – National Aerospace University named after M. E. Zhukovsky "Kharkiv Aviation Institute", lecturer assistant at Management Department; tel.: (063) 355–44–04; e-mail: d.shteinbrekher@gmail.com.

ЗМІСТ

<i>Дмитришин Д. В., Стоколос А. М., Скрынник И. М., Франжева Е. Д.</i> Обобщение нелинейного управления для нелинейных дискретных систем	3
<i>Куценко А. С., Товажнянский В. И., Одарченко Н. А.</i> Обращение линейных динамических систем в классе полиномиальных сигналов	19
<i>Безкоровайний В. В., Москаленко А. С.</i> Методи оптимізації топологічних структур у проектах реінжинірингу великомасштабних об'єктів.....	23
<i>Москаленко В. В., Коробов А. Г., Завгородня Ю. В.</i> Інтелектуальна система класифікаційного аналізу зображень перфузії міокарду.....	28
<i>Куценко О. С., Кацєєв Л. Б., Мироненко М. І.</i> Геоінформаційна система ідентифікації кадрів при реконструюванні місцевості.....	34
<i>Пронина О. И., Пятиков Е. Е.</i> Использование нечетких множеств при определении класса автомобиля	41
<i>Drach T. A., Goloskokov A. E.</i> An intellectual component recognition for security subsystem	49
<i>Мазманишвили А. С., Решетняк Н. Г.</i> Особенности формирования в радиальном и осевом направлениях электронного пучка, эмитированного вторичноэмиссионной магнетронной пушкой	53
<i>Лобода Є. О., Дубовий Д. О.</i> Контроль виконуваних екземплярів додатків в Windows 7/8/10	60
<i>Лобода Є. О., Тимофєй Є. О.</i> Відстеження процесів із різними ознаками у Windows 7/8/10.....	65
<i>Чалий С. Ф., Прібильнова І. Б.</i> Побудова ситуаційного представлення знань на основі аналізу логів.....	70
<i>Левикін В. М., Чала О. В.</i> Модель бази знань інформаційної системи процесного управління.....	74
<i>Годлевский М. Д., Дабагян Д. А.</i> Модель оптимизации привлекательности банка в условиях ограниченных ресурсов.....	79
<i>Kozina O. A., Stratiienko N. N.</i> Model of primary pivots' prioritization in startups.....	84
<i>Соловьева Е. А., Панасовская Ю. В.</i> К вопросу об актуальности системологического исследования процесса формирования компетенций менеджмента знаний	89
<i>Штейнбрехер Д. О.</i> Використання інструментів управління знаннями для підвищення ефективності взаємодії університетів та промисловості.....	98

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
«ХП»**

Збірник наукових праць

Серія:
Системний аналіз, управління
та інформаційні технології

№ 28 (1250) 2017

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. Кирпичова, 2, НТУ «ХП».
Кафедра системного аналізу та інформаційно-аналітичних технологій.
Тел.: (057) 707-61-03, (057) 707-66-54; e-mail: bezmenov@kpi.kharkov.ua

Обл.-вид № 23–17.

Підп. до друку 12.07.2017 р. Формат 60×84 1/8. Папір офсетний.
Друк офсетний. Гарнітура Таймс. Умов. друк. арк. 10,0.
Тираж 100 пр. Зам. № 351–17. Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХП». Свідоцтво про державну реєстрацію
суб'єкта видавничої справи ДК № 3657 від 24.12.2009 р.
61002, Харків, вул. Кирпичова, 2

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