

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

ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
«ХПІ»

Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології

№ 55 (1276) 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. – № 55 (1276). – 89 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 № 1328 (додаток 8) від 21.12.2015 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.; І. В. Кононенко, д-р техн. наук, проф.;

Л. М. Любчик, д-р техн. наук, проф.; Р. Мішкевич, д-р ек. наук, проф. (Польща);

О. А. Павлов, д-р техн. наук, проф. (НТУУ «КПІ»); К. Пайонк, д-р ек. наук, проф. (Польща);

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.;

Н. В. Шаронова, д-р техн. наук, проф.

*Вісник Національного технічного університету «ХПІ», серія «Системний аналіз, управління та інформаційні технології», індексується в наукометричних базах **Index Copernicus, 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 № 11 від 22 грудня 2017 р.

УДК 62-5:620.9

В. П. СЕВЕРИН, Е. Н. НИКУЛИНА, Д. А. ЛУКИНОВА

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В РЕАКТОРЕ ВВЭР-1000 ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ МОЩНОСТИ ПОГЛОЩАЮЩИМИ СТЕРЖНЯМИ

Представлені математичні моделі реактора ВВЕР-1000 серії В-320 в відносних змінних стану, які описують нейтронну кінетику, теплові процеси, зміна концентрації ксенону при регулюванні потужності поглинають стрижнями, і обчислені значення параметрів моделей. Проведено імітаційне моделювання процесів, що протікають в реакторі ВВЕР-1000 при регулюванні потужності реактора поглинаючими стрижнями, і отримані перехідні процеси, що дозволяють аналізувати зміни змінних стану активної зони реактора.

Ключові слова: ядерний реактор, регулювання потужності, математична модель, імітаційне моделювання.

Представлены математические модели реактора ВВЭР-1000 серии В-320 в относительных переменных состоянии, которые описывают нейтронную кинетику реактора, тепловые процессы, изменение концентрации ксенона при регулировании мощности поглотителями стержнями, и вычислены значения параметров моделей. Проведено имитационное моделирование процессов, протекающих в реакторе ВВЭР-1000 при регулировании мощности реактора поглотителями стержнями, и получены переходные процессы, позволяющие анализировать изменения переменных состояния активной зоны реактора.

Ключевые слова: ядерный реактор, регулирование мощности, математическая модель, имитационное моделирование.

Mathematical models of WWER-1000 nuclear reactor of V-320 series are presented in the form of systems of differential equations in relative state variables. These models describe the neutron kinetics of the reactor with six groups of delayed neutrons, gradual heat release in fuel, changes in fuel temperature, fuel element envelopes and coolant, change in xenon concentration when power is regulated by absorbing rods. The values of the model parameters are calculated. Simulated modeling of the processes taking place in the WWER-1000 reactor was carried out while adjusting the reactor power with absorbing rods. Transient processes are shown that allow one to analyze changes in the variables of the state of the reactor core.

Keywords: nuclear reactor, power control, mathematical model, simulation modeling.

Введение. АЭС Украины включают 11 энергоблоков с реакторами ВВЭР-1000 серии В-320 [1]. Для таких энергоблоков актуальна проблема маневрирования мощностью [2, 3]. Решение этой проблемы связано с имитационным моделированием процессов в реакторе ВВЭР-1000 при регулировании мощности поглотителями стержнями [4–6].

Анализ литературных данных. Для исследования процессов в реакторе ВВЭР-1000 разработаны модели в пространстве состояний, которые включают дифференциальные уравнения (ДУ) нейтронной кинетики с запаздывающими нейтронами (ЗН), а также систему дифференциальных уравнений (СДУ) тепловых процессов [7]. Эти модели использованы для синтеза оптимальных систем автоматического управления энергоблоков [4–6]. Ни в одной из рассмотренных моделей при регулировании мощности поглотителями стержнями не учтены процессы постепенного тепловыделения, изменения концентрации ксенона, которые существенно влияют на динамику реактора [2, 8, 9].

Цель и задачи исследования. Цель статьи состоит в представлении результатов имитационного моделирования процессов в реакторе ВВЭР-1000 при регулировании мощности поглотителями стержнями.

Для данной цели представляются модели реактора ВВЭР-1000 серии В-320 в относительных переменных состоянии, вычисляются значения параметров моделей, проводится имитационное моделирование процессов в реакторе ВВЭР-1000 при регулировании мощности реактора поглотителями стержнями, приводятся процессы изменения переменных состояния активной зоны реактора.

Уравнения нейтронной кинетики реактора. Нейтронная кинетика реактора с учетом шести групп ЗН описывается уравнениями [7, 9]:

$$\begin{cases} dn/dt = (r - \beta)n/l^* + \sum_{i=1}^6 \lambda_i C_i, \\ dC_i/dt = \beta_i n/l^* - \lambda_i C_i, i = \overline{1,6}, \end{cases} \quad (1)$$

где n – плотность нейтронов, r – реактивность реактора, $\beta = \sum_{i=1}^6 \beta_i$ – суммарная доля ЗН, l^* – среднее эффективное время жизни нейтронов, λ_i и C_i – постоянные радиоактивного распада и концентрации ядер-излучателей ЗН, β_i – доли ЗН, $\lambda_i = 1/l_i$, l_i – среднее время жизни ядер-излучателей i -той группы ЗН. Концентрации ядер-излучателей ЗН в номинальном режиме имеют значения $C_{0i} = \beta_i n_0 / (\lambda_i l^*)$, $i = \overline{1,6}$. Начальные условия номинального режима реактора для СДУ (1) $n = n_0$, $C_i = C_{0i}$, $i = \overline{1,6}$. В уравнениях (1) перейдем к относительным переменным:

$$v = n/n_b, \quad \rho = r/\beta, \quad \xi_i = C_i/C_{bi}, \quad i = \overline{1,6}, \quad \tau = t/t_b,$$

где $n_b = n_0$ – базовое значение плотности нейтронов, $C_{bi} = C_{0i}$ – базовые значения концентраций ядер-излучателей ЗН, $t_b = 1\text{с}$ – базовое значение времени.

Определим $\alpha_v = \beta t_b / l^*$, $\alpha_i = \lambda_i t_b$, $\mu_i = \beta_i / \beta$, $i = \overline{1,6}$. После преобразований получим модель кинетики:

$$\begin{cases} dv/d\tau = \alpha_v[(\rho - 1)v + \sum_{i=1}^6 \mu_i \xi_i], \\ d\xi_i/d\tau = \alpha_i(v - \xi_i), i = \overline{1,6}. \end{cases} \quad (2)$$

Для этой СДУ начальные условия номинального режима $v_0 = 1$, $\xi_{0i} = 1$, $i = \overline{1,6}$, $\alpha_v = 304$, значения остальных параметров приведены в табл. 1.

Таблиця 1 – Параметри СДУ ЗН

i	1	2	3	4	5	6
μ_i	0.033	0.221	0.196	0.396	0.114	0.041
α_i	0.014	0.030	0.111	0.300	1.124	3.012

Реактивность реактора представим в виде $r = r_0 + \Delta r_d + \Delta r_q$, где r_0 – начальное значение реактивности, Δr_d – изменение реактивности вследствие перемещения регулирующих стержней, $\Delta r_q = K_q \Delta Q$ – приращение реактивности вследствие изменения тепловой мощности ΔQ , K_q – мощностной коэффициент реактивности. Поскольку мощность реактора Q пропорциональна плотности нейтронов n , представим изменение мощности $\Delta Q = Q_0(n - n_0)/n_0$, где Q_0 – мощность реактора в номинальном режиме. Тогда

$$r = r_0 + \Delta r_d + K_q Q_0(n - n_0)/n_0.$$

Переходя к относительным переменным и обозначая $\Delta r_d = \Delta r_d/\beta$, $\alpha_q = K_q Q_0/\beta$, получим выражение для относительной реактивности при $\alpha_q = -2.817$

$$\rho = \rho_0 + \Delta r_d + \alpha_q(v - v_0).$$

Процессы изменения переменных состояния нейтронной кинетики представлены на рис. 1. Нейтронная мощность и концентрации запаздывающих нейтронов монотонно убывают с различной скоростью от номинальных до нулевых значений за несколько минут.

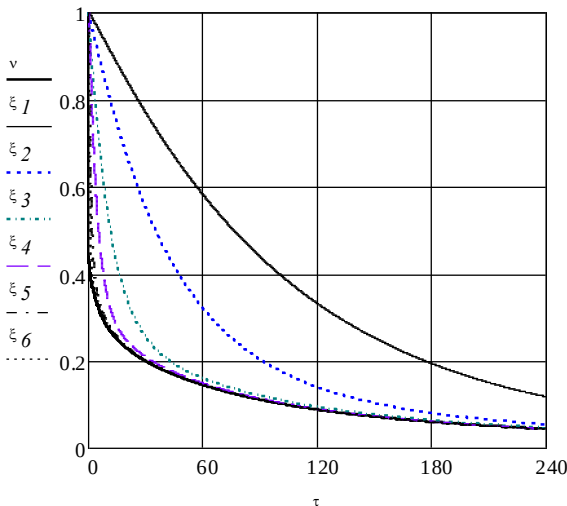


Рис. 1 – Переменные нейтронной кинетики

Тепловыделение в топливе. При ядерных реакциях для расчета тепловыделения в топливе применяется формула $Q_u = Q_0(\varepsilon_m v + \varepsilon_p \eta)$, где $\varepsilon_m = 0.896$ и $\varepsilon_p = 0.078$ – доли мгновенного и постепенного тепловыделений, η – относительная мощность постепенного тепловыделения,

$\eta = \eta_1 + \eta_2 + \eta_3$ [8]. Переменные η_1 , η_2 , η_3 находят из СДУ:

$$T_i d\eta_i/dt + \eta_i = K_i v, \quad i = \overline{1,3},$$

где T_i и K_i – постоянные параметры. По этим уравнениям при $b_{iv} = K_i t_b/T_i$, $a_{in} = t_b/T_i$, $i = \overline{1,3}$ получена СДУ в форме Коши:

$$d\eta_i/d\tau = b_{iv}v - a_{in}\eta_i, \quad i = \overline{1,3}. \quad (3)$$

Для этой СДУ начальные условия $\eta_{0i} = K_i$, $i = \overline{1,3}$. Параметры СДУ (3) приведены в табл. 2.

Таблиця 2 – Значения параметров тепловыделения

i	K_i	a_{in}	b_{iv}
1	0.05	0.6	0.012
2	0.33	-1.999	0.01
3	0.62	-1.114	5.26×10^{-4}

Процессы изменения переменных состояния постепенного тепловыделения представлены на рис. 2. Переменные монотонно убывают от номинальных значений до нулевых значений с различной скоростью.

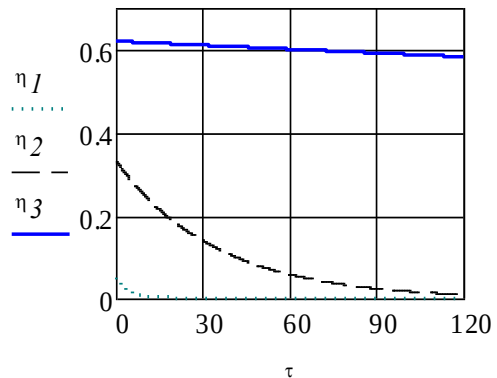


Рис. 2 – Изменение переменных тепловыделения

Модель тепловых процессов. Дифференциальные уравнения теплового баланса для топлива, оболочки и теплоносителя имеют вид [7, 9]:

$$\begin{cases} c_u M_u dt_u/dt = Q_u - \alpha_z F_z(t_u - t_z), \\ c_z M_z dt_z/dt = \alpha_z F_z(t_u - t_z) - \alpha_r F_r(t_z - t_r), \\ c_r M_r dt_r/dt = Q_r + \alpha_r F_r(t_z - t_r) - c_r G_r(t_r - t_l), \end{cases} \quad (4)$$

где c_u и M_u – удельная теплоемкость и масса топлива, t_u и t_z – средние температуры поверхности топлива и оболочки твэла, α_z – коэффициент теплоотдачи от топлива к оболочке, F_z – суммарная площадь оболочек, c_z и M_z – удельная теплоемкость и суммарная масса оболочек всех твэлов, α_r – коэффициент теплоотдачи от оболочки к теплоносителю, t_r – средняя температура теплоносителя в активной зоне, c_r и M_r – удельная

теплоемкость и масса теплоносителя в активной зоне, Q_r – тепловыделение в теплоносителе вследствие замедления нейтронов, G_r – расход теплоносителя через активную зону, t_l – температура теплоносителя на входе в активную зону.

Тепловыделение в теплоносителе $Q_r = Q_0 \varepsilon_r v$, где $\varepsilon_r = 0.026$ – доля мгновенного тепловыделения при замедлении нейтронов. Обозначим t_{0u} , t_{0z} , t_{0r} и t_{0l} – значения температур в номинальном режиме и начальные условия СДУ (4). По известным значениям температур в номинальном режиме на входе t_{0l} и выходе t_{0h} активной зоны получим среднюю температуру $t_{0r} = (t_{0l} + t_{0h})/2$.

Введем базовое значение температуры T_b и перейдем к относительным переменным:

$$\theta_u = t_u/T_b, \quad \theta_z = t_z/T_b, \quad \theta_r = t_r/T_b, \quad \theta_l = t_l/T_b.$$

Преобразуем уравнения (4) и введем обозначения для постоянных параметров:

$$\begin{aligned} a_{uu} &= -\frac{\alpha_z F_z t_b}{c_u M_u}, \quad a_{uz} = \frac{\alpha_z F_z t_b}{c_u M_u}, \quad b_{un} = \frac{Q_0 \varepsilon_m n_b t_b}{c_u M_u n_0 T_b}, \\ b_{uq} &= \frac{Q_0 \varepsilon_p t_b}{c_u M_u T_b}, \quad a_{zu} = \frac{\alpha_z F_z t_b}{c_z M_z}, \quad a_{zz} = -\frac{(\alpha_z + \alpha_r) F_z t_b}{c_z M_z}, \\ a_{zr} &= \frac{\alpha_r F_z t_b}{c_z M_z}, \quad a_{rz} = \frac{\alpha_r F_z t_b}{c_r M_r}, \quad a_{rr} = -\frac{\alpha_r F_z + c_r G_r}{c_r M_r} t_b, \\ b_{rl} &= \frac{G_r t_b}{M_r}, \quad b_{ru} = \frac{Q_0 \varepsilon_r n_b t_b}{c_r M_r n_0 T_b}. \end{aligned}$$

Модель теплоотвода примет вид:

$$\begin{cases} d\theta_u/d\tau = a_{uu}\theta_u + a_{uz}\theta_z + b_{un}v + b_{uq}\eta, \\ d\theta_z/d\tau = a_{zu}\theta_u + a_{zz}\theta_z + a_{zr}\theta_r, \\ d\theta_r/d\tau = a_{rz}\theta_z + a_{rr}\theta_r + b_{rl}\theta_l + b_{ru}v. \end{cases} \quad (5)$$

Начальные условия номинального режима $\theta_{0u} = t_{0u}/T_b$, $\theta_{0z} = t_{0z}/T_b$, $\theta_{0r} = t_{0r}/T_b$, $\theta_{0l} = t_{0l}/T_b$. В табл. 3 представлены параметры модели (5).

Таблица 3 – Параметры модели теплоотвода

Параметр	Значение	Параметр	Значение
a_{uu}	-0.217	a_{rr}	-1.937
a_{uz}	0.217	b_{uq}	0.116
b_{un}	1.338	b_{ru}	0.0055
a_{zu}	0.741	θ_{0u}	10.32
a_{zz}	-13.814	θ_{0z}	3.4
a_{zr}	13.073	θ_{0r}	3.05
a_{rz}	0.538	θ_{0l}	2.9

Учтем влияние изменения средних температур топлива и теплоносителя на реактивность

$$r = r_0 + \Delta r_d + K_u(t_u - t_{0u}) + K_t(t_r - t_{0r}),$$

где K_u и K_t – коэффициенты реактивности по температурам топлива и теплоносителя. Переходя к относительным переменным и обозначая $\alpha_u = K_u T_b/\beta$, $\alpha_t = K_t T_b/\beta$, вместо этого выражения получим

$$\rho = \rho_0 + \Delta \rho_d + \alpha_u(\theta_u - \theta_{0u}) + \alpha_t(\theta_r - \theta_{0r}).$$

Здесь $\alpha_u = -0.313$, $\alpha_t = -1.565$.

Процессы изменения температур, вычисленные по модели (5), показаны на рис. 3. Переменные температур топлива, оболочки и теплоносителя реактора монотонно убывают от номинальных значений до значения температуры теплоносителя на входе в активную зону.

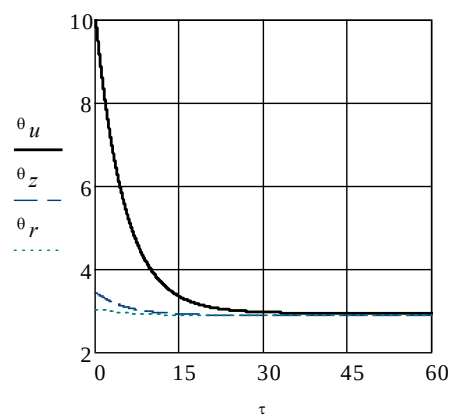


Рис. 3 – Изменение температур

Изменение концентрации ксенона. Представим СДУ изменения концентраций йода и ксенона [9]:

$$\begin{cases} dN_J/dt = \gamma_J \Sigma_f^U \Phi - \lambda_J N_J, \\ dN_X/dt = \gamma_X \Sigma_f^U \Phi + \lambda_J N_J - \sigma_a^X N_X \Phi - \lambda_X N_X, \end{cases} \quad (6)$$

где N_J и N_X – концентрации ядер йода и ксенона, γ_J и γ_X – удельные выходы ядер йода и ксенона при реакции деления топлива, Σ_f^U – макроскопическое сечение деления тепловыми нейтронами атомов урана, $\Phi = nv_n$ – плотность потока нейтронов, v_n – средняя скорость нейтронов относительно ядер, λ_J и λ_X – постоянные радиоактивного распада йода и ксенона.

Обозначим концентрации атомов йода и ксенона в номинальном режиме N_{0J} и N_{0X} . Перейдем к относительным переменным $v_J = N_J/N_{0J}$, $v_X = N_X/N_{0X}$ в уравнениях (6) и введем обозначения для постоянных параметров:

$$b_{Jv} = \gamma_J \Sigma_f^U n_0 v_n t_b / N_{0J}, \quad a_{JJ} = \lambda_J t_b,$$

$$b_{Xv} = \gamma_X \Sigma_f^U n_0 v_n t_b / N_{0X}, \quad a_{XX} = \lambda_X t_b,$$

$$a_{XJ} = \lambda_J N_{0J} t_b / N_{0X}, \quad a_{Xv} = \sigma_a^X n_0 v_n t_b.$$

Модель изменения концентрации ксенона примет вид:

$$\begin{cases} dv_J/d\tau = b_{JV}v - a_{JJ}v_J, \\ dv_X/d\tau = b_{XV}v - a_{XX}v_X + a_{XJ}v_J - a_{XV}v_Xv. \end{cases} \quad (7)$$

Значения параметров СДУ (7) приведены в табл. 4.

Таблица 4 – Параметры модели концентрации ксенона

Параметр	Значение	Параметр	Значение
b_{JV}	2.895×10^{-5}	a_{XX}	2.12×10^{-5}
a_{JJ}	2.895×10^{-5}	a_{XJ}	4.296×10^{-5}
b_{XV}	2.301×10^{-6}	a_{XV}	2.406×10^{-5}

Изменение реактивности от отравления реактора ксеноном определяется зависимостью

$$\Delta r_X = -\frac{\sigma_a^X \theta_n}{\Sigma_c^U} (N_X - N_{0X}),$$

где σ_a^X – микроскопическое сечение поглощения тепловых нейтронов атомами ксенона, θ_n – коэффициент использования тепловых нейтронов в неотравленном реакторе, Σ_c^U – макроскопическое сечение захвата нейтронов ядрами урана, N_{0U} – концентрация атомов урана в номинальном режиме. Эта формула после преобразования с обозначениями $\rho_X = r_X/\beta$ и $\alpha_X = -\sigma_a^X \theta_n N_{0X}/(\beta \Sigma_c^U N_{0U})$ примет вид

$$\rho_X = \alpha_X (v_X - v_{0X}).$$

Здесь $\alpha_X = -2.255$.

Изменения концентраций йода и ксенона, полученные по модели (7), показаны на рис. 4. Концентрация ксенона сначала возрастает от номинального значения, а затем убывает до нулевого значения, концентрация йода монотонно убывает от номинального значения до нулевого значения. Процессы на рис. 4 представляют изменение переменных состояния в зависимости от времени в часах $t_h = \tau/3600$.

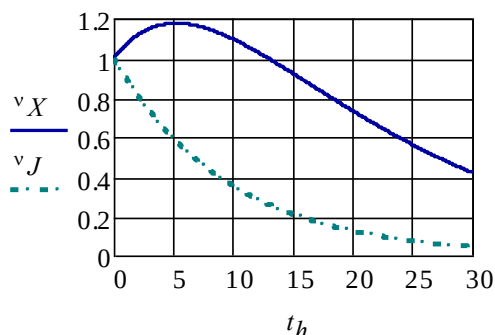


Рис. 4 – Изменения концентраций йода и ксенона

Выводы. Представлены математические модели процессов в реакторе ВВЭР-1000 типа В-320 в относительных переменных состоянии, описывающие нейтронную кинетику реактора с шестью группами запаздывающих нейтронов, постепенное тепловыделение, тепловые процессы в топливе,

оболочках твелов и теплоносителя, изменение концентрации ксенона при регулировании мощности поглощающими стержнями, вычислены значения параметров моделей. Проведено имитационное моделирование процессов, протекающих в реакторе ВВЭР-1000 при регулировании мощности реактора поглощающими стержнями, и получены переходные процессы, позволяющие анализировать изменения переменных состояния активной зоны реактора.

Список литературы

1. Системы управления и защиты ядерных реакторов / М. А. Ястребенецкий, Ю. В. Розен, С. В. Виноградская, Г. Джонсон, В. В. Елисеев, А. А. Сиора, В. В. Скляр, Л. И. Спектор, В. С. Харченко; Под ред. М. А. Ястребенецкого. – К.: Основа-Принт, 2011. – 768 с.
2. Андрушечко С. А. АЭС с реакторами типа ВВЭР-1000 / С. А. Андрушечко, А. М. Афров, Б. Ю. Васильев, В. Н. Генералов, К. Б. Косоуров, Ю. М. Семченков, В. Ф. Украинцев. – М.: Логос, 2010. – 604 с.
3. Северин В. П. Проблема маневренности энергоблока АЭС и развитие моделей его систем управления / В. П. Северин, Е. Н. Никулина, Д. А. Лютенко, Е. Ю. Бобух // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2014. – № 61 (1103). – С. 24–29.
4. Никулина Е. Н. Моделирование и синтез систем управления энергоблоком АЭС с ВВЭР-1000 в основных режимах эксплуатации / Е. Н. Никулина, В. П. Северин // Материалы V Международной научно-технической конференции «Информационные и управляющие системы АЭС: аспекты безопасности». – Харьков, 2013. – С. 151–162.
5. Никулина Е. Н. Оптимальный синтез перспективных систем управления реакторной установки ВВЭР-1000 в нормальных режимах эксплуатации / Е. Н. Никулина, В. П. Северин // Проблемы обеспечения безопасности информационных и управляющих систем АЭС: сборник научных трудов / Под. ред. М. А. Ястребенецкого. – Одесса: Астропринт, 2010. – С. 179–192.
6. Северин В. П. Синтез оптимальных систем автоматического управления энергоблока АЭС в нормальных режимах эксплуатации / В. П. Северин, Е. Н. Никулина // Ядерна та радіаційна безпека. – 2013. – Вип. 3(59). – С. 62–68.
7. Северин В. П. Математическое моделирование и исследование динамики атомного реактора ВВЭР-1000 / В. П. Северин // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск: «Силова електроніка та енергоефективність». – Київ: Інститут електродинаміки НАН України. – 2005. – Ч. 4. – С. 94–99.
8. Денисов В. П. Реакторные установки ВВЭР для атомных электростанций / В. П. Денисов, Ю. Г. Драгунов. – М.: ИздАТ, 2002 – 480 с.
9. Иванов В. А. Эксплуатация АЭС: учебник для вузов / В. А. Иванов. – СПб: Энергоатомиздат, 1994. – 384 с.

References (transliterated)

1. Yastrebenetskiy M. A., Rozen Yu. V., Vinogradskaya S. V., Dzhonson G., Yelisseyev V. V., Siora A. A., Sklyar V. V., Spektor L. I., Kharchenko V. S. *Sistemy upravleniya i zashchity jadernyh reaktorov* [The nuclear reactor control and protection systems]. Kiyev, Osнова-Print, 2011. 768 p.
2. Andrushechko S. A., Afrov A. M., Vasil'jev B. Yu., Generalov V. N., Kosourov K. B., Semchenkov Yu. M., Ukraintsev V. F. *AES s reaktorami tipa VVER-1000* [The NPPs with WWER-1000 reactors]. Moscow, Logos, 2010. 604 p.
3. Severin V. P., Nikulina E. N., Lyutenko D. A., Bobukh E. Yu. *Problema manevrennosti energobloka AES i razvitiye modeley yego sistem upravleniya* [The problem of maneuverability of the power unit of nuclear power plants and development of models of its control systems]. *Visnyk NTU "KhPI"* [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]. Kharkov, NTU "KhPI" Publ., 2014, no. 61 (1103), pp. 24–29.
4. Nikulina E. N., Severin V. P. *Modelirovaniye i sintez sistem upravleniya energoblokom AES s VVER-1000 v osnovnykh*

- rezhimakh ekspluatatsii [Modeling and synthesis of control systems for the power unit of NPPs with WWER-1000 in the main operating modes]. *Materialy V Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Informatsionnye i upravlyayushchiye sistemy AES: aspekty bezopasnosti»* [Proc. of the Int. Conf. "Information and control systems of nuclear power plants: safety aspects"]. Khar'kov, 2013, pp. 151–162.
5. Nikulina E. N., Severin V. P. Optimal'nyy sintez perspektivnykh sistem upravleniya reaktornoy ustanovki VVER-1000 v normal'nykh rezhimakh ekspluatatsii [Optimum synthesis of advanced control systems for the WWER-1000 reactor in normal operation conditions]. *Problemy obespecheniya bezopasnosti informatsionnykh i upravlyayushchikh sistem AES: sbornik nauchnykh trudov* [Problems of ensuring the safety of information and control systems of nuclear power plants: a collection of scientific papers]. Odessa: Astroprint, 2010, pp. 179–192.
6. Severin V. P., Nikulina E. N. Sintez optimal'nykh sistem avtomaticheskogo upravleniya energobloka AES v normal'nykh rezhimakh ekspluatatsii [Synthesis of optimal automatic control systems for the power unit of NPPs under normal operating conditions]. *Yaderna ta radiatsijna bezpeka* [Nuclear and radiation safety]. Kiev, 2014, no. 3(59), pp. 62–68.
7. Severin V. P. Matematicheskoye modelirovaniye i issledovaniye dinamiki atomnogo reaktora VVER-1000 [Mathematical modeling and study of the dynamics of the WWER-1000 nuclear reactor]. *Tekhnichna elektrodinamika* [Technical electrodynamics]. Kiev, Institut elektrodynamiky NAN Ukrainy, 2005, no 4, pp. 94–99.
8. Denisov V. P., Dragunov Yu. G. *Reaktornyye ustanovki VVER dlya atomnykh elektrostantsiy* [WWER Reactor Installations for Nuclear Power Plants]. Moscow, Izdat, 2002. 480 p.
9. Ivanov V. A. *Ekspluatatsiya AES: uchebnik dlya vuzov* [NPP operation: a textbook for universities]. St. Petersburg, Energoatomizdat, 1994. 384 p.

Поступила (received) 04.12.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Імітаційне моделювання процесів в реакторі ВВЕР-1000 при регулюванні потужності поглинають стрижнями / В. П. Северин, О. М. Нікуліна, Д. А. Лукінова // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 55 (1276). – С. 3–7. – Бібліогр.: 9 назв. – ISSN 2079-0023.

Имитационное моделирование процессов в реакторе ВВЭР-1000 при регулировании мощности поглощающими стержнями / В. П. Северин, Е. Н. Никулина, Д. А. Лукинова // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 55 (1276). – С. 3–7. – Библиогр.: 9 назв. – ISSN 2079-0023.

Simulation modeling of processes in the WWER-1000 reactor with power control by absorbing rods / V. P. Severin, E. N. Nikulina, D. A. Lukinova // Bulletin of National Technical University "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No. 55 (1276). – P. 3–7. – Bibliogr.: 9. – ISSN 2079-0023.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Северин Валерій Петрович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри системного аналізу та інформаційно-аналітичних технологій; м. Харків, Україна, тел.: (066) 847-83-70; e-mail: severinvp@gmail.com

Северин Валерий Петрович – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», профессор кафедры системного анализа и информационно-аналитических технологий; г. Харьков, Украина, тел.: (066) 847-83-70; e-mail: severinvp@gmail.com

Severin Valeriy Petrovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor, Department of Systems Analysis and Information and Analytical Technologies of National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; tel.: (066) 847-83-70; e-mail: severinvp@gmail.com

Нікуліна Олена Миколаївна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри радіоелектроніки; м. Харків, Україна, тел.: (050) 100-79-65; e-mail: elniknik02@gmail.com

Никулина Елена Николаевна – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры радиоэлектроника; г. Харьков, Украина, тел.: (050) 100-79-65; e-mail: elniknik02@gmail.com

Nikulina Elena Nikolaevna – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Associate Professor, Department of Radioelectronics of National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; tel.: (050) 100-79-65; e-mail: elniknik02@gmail.com

Лукінова Дарина Андріївна – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірантка; тел.: (050) 288-11-99; e-mail: dasha.lutenko@gmail.com

Лукинова Дарина Андреевна – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», аспирантка; тел.: (050) 288-11-99 e-mail: dasha.lutenko@gmail.com.

Lukinova Daryna Andriivna – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", postgraduate student; tel.: (050) 288-11-99; e-mail: dasha.lutenko@gmail.com

А. Ю. БУКИ, А. С. МАЗМАНИШВИЛИ

СТОХАСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИЗМЕРЕНИЙ ПЯТИШАРОВОГО СПЕКТРОМЕТРА БОННЕРА

Проаналізовано дані, які отримані при випробуванні кульового нейтронного спектрометра Боннера активаційного типу, що складається з п'яти поліетиленових куль діаметром від 90 мм до 245 мм. В якості матеріалу, що активується, використовувався індій. Представлені результати математичної обробки даних вимірювань наведеної в індії радіоактивності. Побудована модель, яка заснована на мінімізації функціонала якості і нелінійних регресійних рівняннях. За допомогою побудованого стохастичного рекурентного алгоритму вирішена задача відновлення спектра нейтронів. Для використаної чотирьохпараметричної моделі спектра типу розподілу Максвелла отримані оцінки його параметрів, а також оцінки похибок оцінок параметрів. Отриманий в роботі досвід може бути використаний для оптимізації конструкції нейтронного спектрометра.

Ключові слова: спектр потоку нейтронів, спектрометр Боннера, математичне моделювання, стохастичний рекурентний алгоритм, оцінка параметрів спектру, оцінка похибки оцінок параметрів спектру.

Проанализированы данные, полученные при испытании шарового нейтронного спектрометра Боннера активационного типа, состоящего из пяти полиэтиленовых шаров диаметром от 90 мм до 245 мм. В качестве активируемого материала использовался индий. Представлены результаты математической обработки данных измерений наведённой в Индии радиоактивности. Построена модель, основанная на минимизации функционала качества и нелинейных регрессионных уравнениях. С помощью построенного стохастического рекуррентного алгоритма решена задача восстановления спектра нейтронов. Для использованной четырёхпараметрической модели спектра типа распределения Максвелла получены оценки его параметров, а также оценки погрешностей оценок параметров. Полученный в работе опыт может быть использован для оптимизации конструкции нейтронного спектрометра.

Ключевые слова: спектр потока нейтронов, спектрометр Боннера, математическое моделирование, стохастический рекуррентный алгоритм, оценка параметров спектра, оценка погрешности оценок параметров спектра.

The data obtained in the testing of an activation type ball type neutron spectrometer consisting of five polyethylene balls with a diameter of 90 mm to 245 mm are analyzed. Indium was used as the activated material. The results of mathematical processing of measurement data of radioactivity induced in India are presented. A model based on minimization of the quality functional and nonlinear regression equations is constructed. The practice of minimizing functions with the help of programs based on the principle of gradient descent shows their frequent hanging or avovts arising when an arbitrary choice of the initial values of the variable parameters. Using the constructed stochastic recurrent algorithm, the problem of reconstructing the neutron spectrum is solved. For the four-parameter model of the Maxwell distribution type used, estimates of its parameters are obtained, as well as estimates of errors in the estimates of the parameters. The experience gained in the work can be used to optimize the design of a neutron spectrometer.

Keywords: a neutron flux spectrum, a Bonner spectrometer, the mathematical modeling, a stochastic recurrent algorithm, an estimation of spectrum parameters, an estimate of the error in estimating the spectral parameters.

Введение. В работе рассматривается применение стохастических расчетов для восстановления спектра нейтронов из измерений шарового спектрометра Боннера [1]. Используемые экспериментальные данные получены в работе [2] для потока нейтронов из конвертора, на который из ускорителя ЛУЭ-300 ХФТИ падал пучок электронов с энергией $E=12$ МэВ. В измерениях использовали пятишаровой нейтронный спектрометр активационного типа.

1. Экспериментальная установка и методика исследований. Пучок электронов, попадая в $e-\gamma-n$ конвертор, генерирует излучение нейтронов (Рис. 1). На расстоянии 1 м от конвертора расположены полиэтиленовые шары диаметром от 90 мм до 245 мм, в центрах каждого из которых находятся таблетка из индия. В результате облучения шаров нейтронами активируется содержащийся в таблетке основной изотоп природного индия ^{115}In , который затем распадается с периодом полураспада $T_{1/2} = 54.2$ мин. После сеанса облучения из шаров извлекаются таблетки. Величина активации каждой таблетки определяется по интенсивности её гамма-излучения с энергией $E=416.9$ МэВ. Для измерения гамма-излучения используется германий-литиевый гамма-спектрометр с энергетическим разрешением в районе 400 кэВ, равным 2.5 кэВ.

2. Дифференциация нейтронов по энергии происходит при прохождении ими полиэтиленовых

шаров. Внутри шара нейтроны в результате рассеяния на ядрах замедляются, а когда энергия нейтрона достигает тепловой, то возрастает вероятность его поглощения веществом шара или индиевой таблеткой.

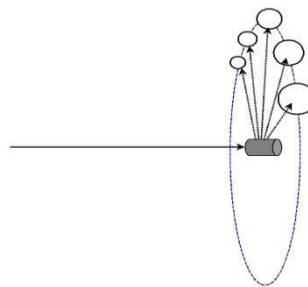


Рис.1 – Схема эксперимента. Сплошная линия – пучок электронов; цилиндр – конвертор; точечные стрелки – нейтроны из конвертора, попадающие в шары спектрометра (обозначенные кружками)

Нейтроны большей энергии приходят к индиевой таблетке, не успевая замедлиться на столько, чтобы активировать ядра изотопа ^{115}In . Если же энергия нейтронов мала, то они успевают отеплаться, не доходя до индиевой таблетки. Для нейтрона, ставшего тепловым, возрастает вероятность его поглощения на пути к таблетке и, соответственно, уменьшается вероятность активации этой таблетки. Для i -го шара зависимость вероятности активации таблетки от энергии нейтрона называется функцией отклика

$$F_i(E_j) = \frac{N_i(E_i)}{N_i(E_j)} S_i, \quad (1)$$

где $N_i(E_i)/N_i(E_j)$ – вероятность активации i -й таблетки нейтроном, $N_i(E_j)$ – число нейтронов, налетевших на i -й шар с начальной энергией E_j , $N_i(E_i)$ – число нейтронов, которые замедлились до энергии активации E_i и попали в таблетку, S_i – площадь поперечного сечения i -го шара.

Количество активированных ядер в каждой из таблеток шаров спектрометра приведено в табл. 1. В ней указано: i и D_i – номер и диаметр шара; $N_i \pm \Delta N_i$ – количество активированных ядер в i -й таблетке.

Таблица 1 – Активация ядер в индиевых таблетках шаров

i	D_i , мм	N_i	ΔN_i
1	90	79000	2000
2	120	89000	2200
3	152	115000	2600
4	200	93000	3200
5	245	68000	2600

На рис. 2 показаны, рассчитанные в работе [3], функции отклика шаров, которые использовались в эксперименте. По горизонтальной оси отложена энергия налетающих нейтронов E_j в логарифмическом масштабе.

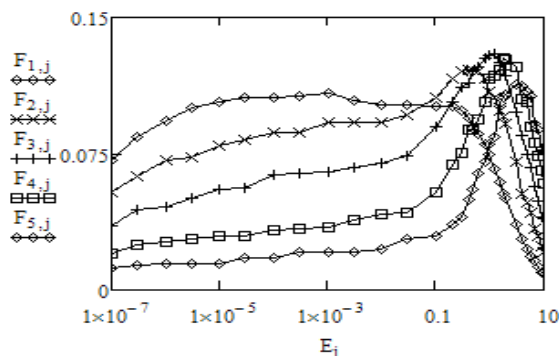


Рис. 2 – Функции отклика $F_{i,j}$

3. Подготовка данных к математическому моделированию. Для получения энергетического спектра нейтронного потока, измерения в котором проведены посредством шарового спектрометра Боннера, необходимо задать функцию способную изобразить этот спектр. Как показано в работе [2], рабочий диапазон рассматриваемого спектрометра 0.05–5 МэВ. При этих энергиях нейтронный поток из свинцового конвертора имеет вид пика с максимумом при энергии около 0.5 МэВ (см. [4]). Форма этого пика может быть описана функцией типа распределения Максвелла [4, 5]

$$\Phi(E, a) = a_1 E^{a_3} \exp(-a_2 E) + \frac{a_4}{E}. \quad (2)$$

В (2) к функции Максвелла добавлено слагаемое, описывающее вклад в спектр тех нейтронов, энергия которых значительно меньше, чем 0.5 МэВ.

Если набор параметров a , такой, что задаваемый ими вид функции $\Phi(E, a)$ близок к реальному спектру нейтронов, то свёртки функции $\Phi(E, a)$ с функциями отклика $F_i(E_j)$ должны дать набор чисел, который с точностью до общего множителя пропорционален набору из количества активированных ядер в таблетках полученного в эксперименте. То есть, в нашем случае, набору N_i из табл. 1.

В рамках такого подхода задача сводится к процедуре нахождения оценки $\hat{a} = (\hat{a}_1, \hat{a}_2, \hat{a}_3, \hat{a}_4)$ значений четырех параметров $a = (a_1, a_2, a_3, a_4)$, фигурирующих в (2).

Из вышеизложенного следует, что для восстановления спектра нейтронов необходимо путём подбора параметров a функции $\Phi(E, a)$ минимизировать разности между всеми экспериментальными значениями N_i и соответствующих им свёртками функций $F_i(E_j)$ и $\Phi(E, a)$.

Существует несколько методик восстановления параметров спектра (см. [5, 6]). В настоящей работе применяется стохастическая методика, применяемая в задачах обработки данных [6, 7]. Она представляет собой реализацию глобального цикла поиска из N шагов. На каждом из них формируется подвыборка объемом K , в которой ищется локальный минимум критерия качества. Найденный локальный минимум используется на очередном шаге глобального цикла. Длительность глобального цикла поиска регулируется так, чтобы осуществить выход в периферийную область стационарных значений критерия.

В рамках алгоритма число нейтронов, активировавших таблетку в i -м шаре, записывается в виде

$$N_i = \int_0^\infty F_i(E) \Phi(E, a) dE, \quad (3)$$

после чего интегральное представление для N_i заменяется конечной суммой

$$H_i = \sum_{j=1}^J F_{i,j} \Phi(E_j, a) \Delta E_j, \quad (4)$$

где E_j – набор энергий ($j=1, \dots, J$), $\Delta E_j = E_j - E_{j-1}$, $F_{i,j} = F_i(E_j)$. В результате приходим к набору из $I = 5$ уравнений регрессионного типа

$$N_i = H_i, \quad i=1, \dots, I, \quad (5)$$

статистический анализ которых дает возможность найти решение – искомые оценки $\hat{a} = (\hat{a}_1, \hat{a}_2, \hat{a}_3, \hat{a}_4)$ параметров $a = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ распределения (2).

Аналогичная последовательность действий осуществляется при нахождении оценок погрешностей оценок.

4. Математическое моделирование. Алгоритм нахождения искомых оценок можно описать в виде следующей последовательности шагов.

1. Выбор начальных значений $a_{0,1}, a_{0,2}, a_{0,3}, a_{0,4}$ параметров a_1, a_2, a_3, a_4 .
2. Выбор параметров расчета:
 - 2.1. N – количество итерационных шагов глобального поиска;
 - 2.2. K – количество шагов локального поиска на каждом шаге итерации;
 - 2.3. $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$ – относительные радиусы поиска на шагах глобальной итерации по n .
 - 2.4. Построение критерия качества

$$\chi_{n,k} = \sum_{i=1}^I \left(\frac{N_i - \sum_{j=1}^J F_{i,j} \Phi(E_j, a_{n,m}) \Delta E_j}{\Delta N_i} \right)^2, \quad (6)$$

где $m=1, 2, 3, 4$ – индексы оцениваемых параметров.

3. Сформировать глобальный цикл по $n=1, \dots, N$.

3.1. На каждом шаге цикла по n построить локальную подвыборку объемом K , в которой для каждого из K значений критерия параметры $a_{n,m}$ задавать согласно формуле

$$a_{n,m} = a_{n-1,m} \sigma_m (0.5 + \text{rnd}(1)), \quad m=1, 2, 3, 4, \quad (7)$$

с использованием функции $\text{rnd}(1)$ – стандартный датчик равномерно распределенных случайных величин на $(0;1)$.

Таким образом, на каждом $(n+1)$ -м шаге глобального счетчика стохастический поиск осуществляется внутри 4-куба, центр которого имеет координаты $(a_{n,1}, a_{n,2}, a_{n,3}, a_{n,4})$, при этом размеры ребер этого 4-куба составляют $a_{n,m} \sigma_m$, $m=1, 2, 3, 4$.

3.2. Найти в подвыборке локальный минимум среди K значений критерия (6).

$$\chi_n = \min(\chi_{n,k}), \quad k=1, \dots, K. \quad (8)$$

3.3. В цикле по n найти глобальный минимум среди выборки из N значений критерия (7):

$$\chi_N = \min(\chi_n), \quad n=1, \dots, N. \quad (9)$$

4. Присвоить значения оценок параметров:

$$\hat{a}_1 = \hat{a}_{N,1}, \quad \hat{a}_2 = \hat{a}_{N,2}, \quad \hat{a}_3 = \hat{a}_{N,3}, \quad \hat{a}_4 = \hat{a}_{N,4}. \quad (10)$$

Полученные значения оценок $\hat{a}_1, \hat{a}_2, \hat{a}_3, \hat{a}_4$ являются по своей природе случайными величинами. Поэтому для их аттестации необходимо предъявить оценку их погрешности $\Delta \hat{a} = (\Delta \hat{a}_1, \Delta \hat{a}_2, \Delta \hat{a}_3, \Delta \hat{a}_4)$. С этой целью рассмотрим вариацию уравнений (5)

$$\delta N_i = \delta H_i, \quad i=1, \dots, I, \quad (11)$$

где

$$\delta H_i = \sum_{j=1}^J F_{i,j} \left(\sum_{m=1}^4 \frac{\partial \Phi(E_j, a)}{\partial a_m} \delta a_m \right) \Delta E_j. \quad (12)$$

В результате приходим к набору из $I=5$ уравнений регрессионного типа

$$\Delta N_i = \Delta H_i, \quad i=1, \dots, I, \quad (13)$$

и построим критерий качества

$$\eta_{n,k} = \sum_{i=1}^I \left(\frac{\Delta N_i - \sum_{j=1}^J F_{i,j} \left(\sum_{m=1}^4 \frac{\partial \Phi(E_j, a)}{\partial a_m} \Delta a_m \right) \Delta E_j}{\Delta N_i} \right)^2 \quad (14)$$

при $a_m = \hat{a}_m$, $m=1, 2, 3, 4$.

5. Опираясь на найденные значения $\hat{a}_m$, $m=1, 2, 3, 4$, выполнить над критерием $\eta_{n,k}$ действия, описанные в п. 3 алгоритма, и найти глобальный минимум среди выборки из N значений критерия (14):

$$\eta_N = \min(\eta_n), \quad n=1, \dots, N \quad (15)$$

6. Присвоить найденные значения оценок погрешностей оценкам параметров:

$$\begin{aligned} \Delta \hat{a}_1 &= \Delta \hat{a}_{N,1}, \quad \Delta \hat{a}_2 = \Delta \hat{a}_{N,2}, \\ \Delta \hat{a}_3 &= \Delta \hat{a}_{N,3}, \quad \Delta \hat{a}_4 = \Delta \hat{a}_{N,4}. \end{aligned} \quad (16)$$

5. Результаты вычислений и их обсуждение. В вычислительной среде MathCAD было создано программное средство для нахождения искомых оценок. При проведении вычислений оказалось достаточным выбрать: границы циклов $N=1000$, $K=100$ и относительные радиусы поиска $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$ равные 0.6. На старте вычислений было выбрано: $a_{0,1}=1800000$; $a_{0,2}=1.0$; $a_{0,3}=1.0$; $a_{0,4}=0.01$. Количество точек по энергетической шкале выбиралось на этапе расчета функций отклика $F_i(E_j)$ и составило $J=33$, что видно на рис. 2.

На рис. 3 показана итерационная динамика критериев (6) и (14). Видно, что начиная с $n=200$ значение функционала χ_n остается неизменным. Это дает основание полагать оценки, определяемые после $n=200$, достаточно статистически обоснованными. Что касается реализаций значения функционала η_n , то они также после $n=400$ в основном флуктуируют вокруг одного среднего.

На рис. 4–7 показаны динамика искомых оценок (указаны сплошной линией) и их погрешностей (указаны пунктирной линией).

Пример эволюции оценки параметра $\hat{a}_1$ и оценки погрешности оценки параметра $\Delta \hat{a}_1$ приведен на рис. 4. Видно, что в результате итерационного процесса искомые оценки $\hat{a}_1$ и $\Delta \hat{a}_1$ вышли на свои стационарные значения.

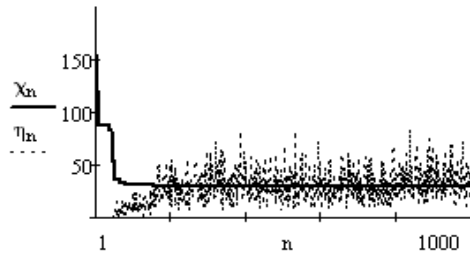


Рис. 3 – Динамика минимума функционалов (6) и (14)

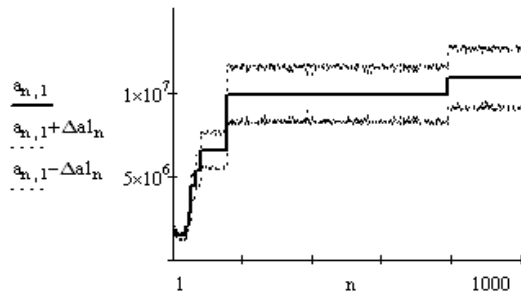


Рис. 4 – Динамика оценок $\hat{a}_1$ и $\Delta \hat{a}_1$

На рис. 5, рис. 6 и рис. 7 показаны аналогичные зависимости для оценок $\hat{a}_2$, $\Delta \hat{a}_2$, $\hat{a}_3$, $\Delta \hat{a}_3$ и $\hat{a}_4$, $\Delta \hat{a}_4$ соответственно.

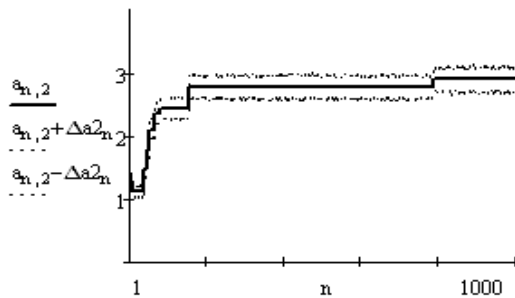


Рис. 5 – Динамика оценок $\hat{a}_2$ и $\Delta \hat{a}_2$

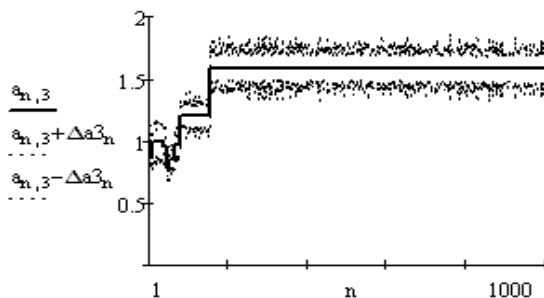


Рис. 6 – Динамика оценок $\hat{a}_3$ и $\Delta \hat{a}_3$

Из рис. 7 следует, что $\hat{a}_4 = 0$. Это можно объяснить тем, что у использовавшегося спектрометра граница рабочего диапазона со стороны малых энергий порядка 10^{-2} МэВ, а заметный вклад гиперболического члена должен проявляться при более низких энергиях, что и показывает результат расчёта программы.

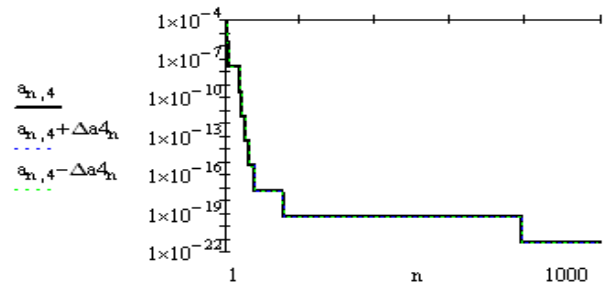


Рис. 7 – Динамика оценок $\hat{a}_4$ и $\Delta \hat{a}_4$

На рис. 8 приведены исходный спектр $Q(E)$, рассчитанный с помощью начальных значений параметров $a_{0,1}, a_{0,2}, a_{0,3}, a_{0,4}$, и результирующий спектр $P(E)$, полученный на основе найденных оценок $\hat{a}_1, \hat{a}_2, \hat{a}_3, \hat{a}_4$. Из рис. 8 видно, что максимум спектра нейтронов приходится на энергию 0.5 МэВ.

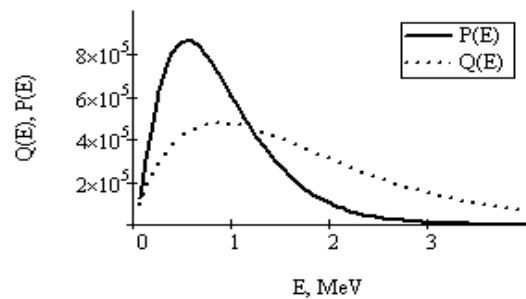


Рис. 8 – Исходный $Q(E)$ и восстановленный $P(E)$ энергетические спектры потока нейтронов

Итак, в результате расчетов получены значения для оценок искомых величин, представленные в табл. 2. Как видно из табл. 2, подстановка найденных оценок параметров приводит к распределению, общий вид и положение максимума которого оказались близкими к ожидаемому.

Таблица 2 – Результаты стохастического оценивания параметров нейтронного спектра

$a_{0,1}$	$a_{0,2}$	$a_{0,3}$	$a_{0,4}$
1800000	1.0	1.0	0.010
$\Delta \hat{a}_1$	$\Delta \hat{a}_2$	$\Delta \hat{a}_3$	$\Delta \hat{a}_4$
10860000 ± 1890000	2.889 ± 0.202	1.579 ± 0.102	0.000

Практика минимизации функций с помощью программ, базирующихся на принципе градиентного спуска, показывает их нередкое зависание или авосты, возникающие при произвольном выборе начальных значений варьируемых параметров [8]. Как видно из полученных результатов, стохастический метод лишен этого недостатка. Это явилось преимуществом для практики применения данного метода.

Выводы. Предложена и обоснована модель математической обработки данных измерений наведенной в индии радиоактивности. Использована модель, основанная на минимизации функционала качества и нелинейных регрессионных уравнениях. С

помощью стохастического рекуррентного алгоритма решена задача восстановления спектра нейтронов. Для использованной четырехпараметрической модели спектра типа распределения Максвелла получены оценки его параметров, а также оценки погрешностей оценок параметров. Полученный в работе опыт может быть использован для оптимизации конструкции вариантов нейтронного спектрометра.

Список литературы

1. Bramblett R. L., Ewing R. I., Bonner T. W. A new type of Neutron spectrometer. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 1960, no 9, pp. 1–12.
2. Буки А. Ю. Опытный образец нейтронного спектрометра Боннера активационного типа / А. Ю. Буки, С. А. Каленик, И. Л. Семисалов и др. // Журнал Харьковского Национального Университета, серия «Ядра, частицы, поля», 2012, вып. 4(56), № 1025 - С. 35–42.
3. Буки А. Ю. Простая модель транспорта нейтронов и её применение для расчёта функции отклика шарового нейтронного спектрометра / А. Ю. Буки, С. Ф. Каленик // Журнал Харьковского Национального Университета, серия «Ядра, частицы, поля». – 2012, вып. 1(53), № 991. – С. 23–27.
4. Власов Н. А. Нейтроны. М.: Наука, 1971. – 551 с.
5. Рудик А. П. Оптимизация физических характеристик ядерных реакторов. – М.: Атомиздат, 1979. – 280 с.
6. Дрейзен В. Э. Спектрометрические измерения нейтронного излучения / В. Э. Дрейзен, С. Г. Емельянов, А. А. Гримов // ЮЗГУ. Курск. – 2011. – 316 с.
7. Граничин О. Н. Введение в методы стохастической оптимизации и оценивания. – СПб.: Издательство С.-Петербургского университета, 2003. – 131 с.

8. Гурский Д. А. Вычисления в MathCad. Минск: Новое знание, 2003. – 814 с.

References (transliterated)

1. Bramblett R.L., Ewing R.I., Bonner T.W. A new type of Neutron spectrometer // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*. 1960, no 9, pp. 1–12.
2. Buki A.Yu., ed. Opytnyi obrazec nejtronnogo spektrometra Bonnera aktivazionnogo tipa [An experimental sample of the activation type Bonner neutron spectrometer] *Gurnal Khar'kovskogo Natsional'nogo Universiteta* [Journal of the Kharkov Natuonale University. Series: Kernels, particles, fields]. *Seriya: Yadra, chastitsy, polya*. 2012, vol. 4(56), no. 1025, pp. 35–42.
3. Buki A.Yu., ed. Prostaya model' transporta neytronov i eye primeneniye dlya racheta funktsii otklika sharovogo neytronnogo spektrometra [A simple model of neutron transport and its application for calculating the response function of a spherical neutron spectrometer]. *Gurnal Khar'kovskogo Natsional'nogo Universiteta* [Journal of the Kharkov Natuonale University. Series: Kernels, particles, fields]. *Seriya: Yadra, chastitsy, polya*. 2012, vol. 1(53), no. 991, pp. 23–27.
4. Vlasov N.A. Neytrony [Neutrons]. Moscow, Nauka P., 1971. 551 p.
5. Rudik A.P. Optimisatsiya fisicheskikh harakteristik yadernykh reaktorov [Optimization of physical characteristics of nuclear reactors]. Moscow, Atomisdat Publ., 1979. 280 p.
6. Dreyzen V.E., ed. *Spektrometricheskie ismereniya neytronnogo izlucheniya* [Spectrometric measurements of neutron radiation]. YuSGU. Kursk, 2011. 316 p.
7. Granichin O. N. *Vvedenie v metody stohasticheskoy optimizatsii i otsenivaniya* [Introduction to stochastic optimization and estimation methods]. SPb. S.-Peterburg's University Publ., 2003. 131 p.
8. Gurskiy D. A. *Vychisleniya v MathCad* [Calculation in MathCad]. Minsk, Novoe znanie Publ., 2003. 814 p.

Поступила (received) 21.11.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Стохастичний аналіз вимірювань п'ятишарового спектрометра Боннера / О. Ю. Буки, О. С. Мазманишвілі // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 55 (1276). – С. 8–12. – Бібліогр.: 8 назв. – ISSN 2079-0023.

Стохастический анализ измерений пятишарового спектрометра Боннера / А. Ю. Буки, А. С. Мазманишвили // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 55 (1276). – С. 8–12. – Библиогр.: 8 назв. – ISSN 2079-0023.

Stochastic analysis of measurements of the fiveball Bonner spectrometer / A. Yu. Buki, O. S. Mazmanishvili // Bulletin of National Technical University "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No. 55 (1276). – P. 8–12. – Bibliogr.: 8. – ISSN 2079-0023.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Буки Александр Юрьевич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, начальник лаборатории ННЦ ХФТИ, г. Харьков; тел.: (068) 918–73–65; e-mail: abuki@ukr.net.

Буки Олександр Юрійович – кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, начальник лабораторії ННЦ ХФТИ, м. Харків; тел.: (068) 918–73–65; e-mail: abuki@ukr.net.

Buki Alexandr Yuriyovych – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, senior staff scientist, head of laboratory, National Science Center "Kharkov Institute of Physics and Technology", Kharkov; tel.: (068) 918–73–65; e-mail: abuki@ukr.net.

Мазманишвили Александр Сергеевич – доктор физико-математических наук, профессор, старший научный сотрудник ННЦ ХФТИ, г. Харьков; тел.: (067) 799-38-64; e-mail: mazmanishvili@gmail.com.

Мазманишвілі 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, Full Professor, senior staff scientist, National Science Center "Kharkov Institute of Physics and Technology", Kharkov; tel.: (067) 799-38-64; e-mail: mazmanishvili@gmail.com.

А. С. МАЗМАНИШВИЛИ, А. Ю. СИДОРЕНКО

**АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ СТАЦИОНАРНОГО НОРМАЛЬНОГО МАРКОВСКОГО 3Д-ПОЛЯ:
ДИНАМИЧЕСКИЕ УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ, СТАТИСТИЧЕСКИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ВЕРОЯТНОСТЕЙ, ВИЗУАЛИЗАЦИЯ**

Розглянуто тривимірне поле, що володіє властивостями стаціонарності, нормальності та марковості. На основі ієрархічного підходу проведено ймовірнісний аналіз випадкових величин, процесів та полів, що розглядаються. Побудовано та статистично обґрунтовано алгоритм генерації такого поля в паралелепіпеді. Наведено чисельний приклад реалізації запропонованого алгоритму. Побудовано тривимірне нормальне марківське поле в об'ємі.

Ключові слова: тривимірне поле в об'ємі, статистичні розподіли, стаціонарність, нормальність, марковість, алгоритм генерації, візуалізація, чисельний приклад.

Рассмотрено трехмерное поле, обладающее свойствами стационарности, нормальности и марковости. На основе иерархического подхода проведен вероятностный анализ рассматриваемых случайных величин, процессов и полей. Построен и статистически обоснован алгоритм генерации такого поля в параллелепипеде. Приведен численный пример реализации предложенного алгоритма. Построено трехмерное нормальное марковское поле в объеме.

Ключевые слова: трехмерное поле в объеме, статистические распределения, стационарность, нормальность, марковость, алгоритм генерации, визуализация, численный пример.

A three-dimensional field with properties of stationarity, normality and Markov process is considered. In the paper is considered a three-dimensional field, which has the properties of stationarity, normality, and process of Markov. The analysis is based on the equation of motion of the amplitude of a three-dimensional field with a generating three-dimensional field possessing the properties of three-dimensional white noise. For a random variable, the amplitudes of a three-dimensional normal Markov field of the first order in the volume, transition conditional probability density densities are obtained together with the unconditional probability distribution density. On their basis, an algorithm for generating such a field in a parallelepiped is constructed and justified. A numerical example of the implementation of the proposed algorithm is given.

Keywords: three-dimensional field in volume, statistical distribution, stationary, normality, process of Markov, generation algorithm, visualization, numerical example.

Введение. В прикладных физических и технических задачах широко применяется нормальный марковский процесс (НМП) [1]. Подробное обоснование свойств НМП имеется в классической работе [2]. Схема перехода от уравнений движения к их интегральным аналогам и построение рекуррентных алгоритмов численной генерации НМП, обоснование характеристик, синтезированного алгоритма приведено в [3]. Обобщение одномерного НМП на случай двумерного марковского поля (ДНМП) описано в [4] применительно к задачам двумерной фильтрации. Описание физических свойств объектов типа ДНМП изложено в [5]. Алгоритм генерации ДНМП на плоскости приведен в [6].

В настоящей работе построен алгоритм генерации трехмерного стационарного нормального марковского поля.

Динамические уравнения движения и основные статистические соотношения.

Рассмотрим параллелепипед, который совместим с декартовой системой координат, и изучим нормальные марковские флуктуации в нем. В основу рассмотрения марковских нормальных полей в объеме положим иерархический принцип. А именно, уже построенные поля на оси и на плоскости используем в качестве граничных условий при синтезе поля в объеме. Изучение нормального марковского поля (НМ-поля) в объеме начнем с динамического уравнения движения. Для амплитуды $h(x, y, z)$ НМ-поля $H(x, y, z)$ с парциальными декрементами ν , μ и λ динамическое уравнение имеет вид

$$\left(\frac{d}{dx} + \nu\right)\left(\frac{d}{dy} + \mu\right)\left(\frac{d}{dz} + \lambda\right)h(x, y, z) = u_{xyz}(x, y, z) \quad (1)$$

с начальным условием в вершинной точке $(0, 0, 0)$

$$h(0, 0, 0) = u_0, \quad (2)$$

с граничными условиями на ребрах $0x$, $0y$ и $0z$ вида

$$\left(\frac{d}{dx} + \nu\right)h(x, y, z) = u_x(x), \quad (3a)$$

$$\left(\frac{d}{dy} + \mu\right)h(x, y, z) = u_y(y), \quad (3b)$$

$$\left(\frac{d}{dz} + \lambda\right)h(x, y, z) = u_z(z), \quad (3c)$$

а также граничными условиями на гранях $x0y$, $x0z$ и $y0z$

$$\left(\frac{d}{dx} + \nu\right)\left(\frac{d}{dy} + \mu\right)h(x, y, z) = u_{xy}(x, y), \quad (4a)$$

$$\left(\frac{d}{dx} + \nu\right)\left(\frac{d}{dz} + \lambda\right)h(x, y, z) = u_{xz}(x, z), \quad (4b)$$

$$\left(\frac{d}{dy} + \mu\right)\left(\frac{d}{dz} + \lambda\right)h(x, y, z) = u_{yz}(y, z). \quad (4c)$$

В уравнении (1) $u_{xyz}(x, y, z)$ – белый шум,

реализующийся в объеме и имеющий нулевое математическое ожидание и интенсивность σ_{U_0} .

Начальным условием в вершине к уравнению (1) служит случайная величина u_0 , подчиняющаяся нормальному закону

$$f_{U_0}(u_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{U_0}} \exp\left(-\frac{u_0^2}{2\sigma_{U_0}^2}\right), \quad -\infty < u_0 < \infty, \quad (5)$$

с дисперсией $\sigma_{U_0}^2$.

В выражениях (3) $u_X(x)$ – белый шум, реализующийся на ребре $0x$, $u_Y(y)$ – белый шум, реализующийся на ребре $0y$ и $u_Z(z)$ – белый шум, реализующийся на ребре $0z$, соответственно. Эти шумы имеют нулевые математические ожидания и интенсивности σ_{U_X} , σ_{U_Y} и σ_{U_Z} .

Реализация шума $u_X(x)$ осуществляется на ребре $0x$, таким образом, первое граничное условие в (3) справедливо для любых значений координат y и z . Аналогично, реализация шума $u_Y(y)$ осуществляется на ребре $0y$, таким образом, второе граничное условие в (3) справедливо для любых значений координаты x и z . Так же реализация шума $u_Z(z)$ осуществляется на ребре $0z$, таким образом, третье граничное условие в (2) справедливо для любых значений координат x и y .

В выражениях (4) $u_{XY}(x, y)$ – белый шум, реализующийся на грани $x0y$, $u_{XZ}(x, z)$ – белый шум, реализующийся на грани $x0z$, и $u_{YZ}(y, z)$ – белый шум, реализующийся на грани $y0z$. Реализация шума $u_{XY}(x, y)$ осуществляется на грани $x0y$, таким образом, первое граничное условие в (4) справедливо для любых значений координаты z . Аналогично, реализация шума $u_{XZ}(x, z)$ осуществляется на грани $x0z$, таким образом, второе граничное условие в (4) справедливо для любых значений координаты y . Так же реализация шума $u_{YZ}(y, z)$ осуществляется на грани $y0z$, таким образом, третье граничное условие в (4) справедливо для любых значений координаты x .

Структура рассматриваемого белого шума такова, что на гранях белые шумы реализуются независимо,

$$u_{XYZ}(x, y, z) = u_{XY}(x, y)u_{XZ}(x, z)u_{YZ}(y, z), \quad (6)$$

это их свойство окажется важным в дальнейшем. Независимыми являются так же и шумы на ребрах-осях:

$$\begin{aligned} u_{XY}(x, y) &= u_X(x)u_Y(y), \\ u_{XZ}(x, z) &= u_X(x)u_Z(z), \\ u_{YZ}(y, z) &= u_Y(y)u_Z(z). \end{aligned} \quad (7)$$

Формальное решение уравнения (1) с условиями (2) – (4) следующее

$$h(x, y, z) = h(0, 0, 0) \exp(-vx - \mu y - \lambda z) + I_X + I_Y + I_Z + I_{XY} + I_{XZ} + I_{YZ} + I_{XYZ}, \quad (8)$$

где

$$I_X = \int_0^x \exp(-vx + vx') u_X(x') dx',$$

$$I_Y = \int_0^y \exp(-\mu y + \mu y') u_Y(y') dy',$$

$$I_Z = \int_0^z \exp(-\lambda z + \lambda z') u_Z(z') dz',$$

$$I_{XY} = \int_0^x dx' \exp(-vx + vx') \int_0^y dy' \exp(-\mu y + \mu y') u_{XY}(x', y'),$$

$$I_{XZ} = \int_0^x dx' \exp(-vx + vx') \int_0^z dz' \exp(-\lambda z + \lambda z') u_{XZ}(x', z'),$$

$$I_{YZ} = \int_0^y dy' \exp(-\mu y + \mu y') \int_0^z dz' \exp(-\lambda z + \lambda z') u_{YZ}(y', z'),$$

$$\begin{aligned} I_{XYZ} &= \int_0^x dx' \exp(-vx + vx') \int_0^y dy' \exp(-\mu y + \mu y') \times \\ &\times \int_0^z dz' \exp(-\lambda z + \lambda z') u_{XYZ}(x', y', z'). \end{aligned}$$

Рассмотрим статистические свойства слагаемых в решении (8). Как видно из (8), решение для поля $h(x, y, z)$ линейно зависит от порождающего процесса $u(x, y, z)$, обладающего свойствами белого шума. Поэтому амплитуда порожденного поля $h(x, y, z)$ будет подчиняться нормальному закону. При этом безусловное среднее поля $h(x, y, z)$ будет равно нулю, а его дисперсия σ_h^2 будет связана с дисперсией $\sigma_{U_0}^2$.

Первое из условий к уравнению (1) связано с вершинным начальным условием (2). Следующие три слагаемых I_X , I_Y , и I_Z обеспечивают выполнение граничных условий на ребрах параллелепипеда. Например, для I_X это условие в интегральной форме имеет вид

$$\begin{aligned} I_X &= \int_0^x \exp(-vx + vx') u_X(x') dx' = \\ &= h(x, y, z) - h(0, y, z) \exp(-vx). \end{aligned} \quad (9)$$

Эта добавка в решение (8) удовлетворяет соотношению, справедливому для НМП, реализующегося вдоль оси $0x$, при этом, как было отмечено, само это соотношение выполняется для любых координат y и z .

Для I_Y это условие в интегральной форме имеет вид

$$I_Y = \int_0^y \exp(-\mu y + \mu y') u_Y(y') dy' = h(x, y, z) - h(x, 0, z) \exp(-\mu y). \quad (10)$$

Эта добавка в решение (8) удовлетворяет соотношению, справедливому для НМП, реализующегося вдоль оси Oy , само это соотношение выполняется для любых координат x и z .

Для I_Z это условие в интегральной форме имеет вид

$$I_Z = \int_0^z \exp(-\lambda z + \lambda z') u_Z(z') dz' = h(x, y, z) - h(x, y, 0) \exp(-\lambda z). \quad (11)$$

Эта добавка в решение (8) удовлетворяет соотношению, справедливому для НМП, реализующегося вдоль оси Oz , само это соотношение выполняется для любых координат x и y .

Следующие три слагаемых I_{XY} , I_{XZ} и I_{YZ} обеспечивают выполнение граничных условий на гранях параллелепипеда. Например, для I_{XY} это условие в интегральной форме имеет вид, справедливый при любом z

$$h(x, y, z) - h(0, 0, 0) \exp(-\nu x - \mu y) = \int_0^x \exp(-\nu x + \nu x') u_X(x') dx' + \int_0^y \exp(-\mu y + \mu y') u_Y(y') dy' + \int_0^x dx' \exp(-\nu x + \nu x') \int_0^y dy' \exp(-\mu y + \mu y') u_{XY}(x', y'). \quad (12)$$

Также, для I_{XZ} справедливо при любом y :

$$h(x, y, z) - h(0, 0, 0) \exp(-\nu x - \lambda z) = \int_0^x \exp(-\nu x + \nu x') u_X(x') dx' + \int_0^z \exp(-\lambda z + \lambda z') u_Z(z') dz' + \int_0^x dx' \exp(-\nu x + \nu x') \int_0^z dz' \exp(-\lambda z + \lambda z') u_{XZ}(x', z'). \quad (13)$$

Наконец, для I_{YZ} справедливо при любом x :

$$h(x, y, z) - h(0, 0, 0) \exp(-\mu y - \lambda z) = \int_0^y \exp(-\mu y + \mu y') u_Y(y') dy' + \int_0^z \exp(-\lambda z + \lambda z') u_Z(z') dz' + \int_0^y dy' \exp(-\mu y + \mu y') \int_0^z dz' \exp(-\lambda z + \lambda z') u_{YZ}(y', z'). \quad (14)$$

Вероятностные свойства амплитуды трехмерного нормального марковского поля.

Теперь для удобства записи будем считать, что объемное поле покрыто сеткой и перейдем от непрерывной координаты x к набору $\{x_n\}$, от непрерывной координаты y к набору $\{y_m\}$ и от непрерывной координаты z к набору $\{z_k\}$, при этом индексы n , m и k отсчитываются от нуля. Тогда,

перейдем в решении (8) к индексной записи. С этой целью будем считать точку с координатами $(0, 0, 0)$ точкой с индексами $(n-1, m-1, k-1)$, а точку (x, y, z) – точкой с индексами (n, m, k) .

Обозначим парциальные корреляторы через

$$\begin{aligned} p &= \exp(-\nu(x_n - x_{n-1})), \\ q &= \exp(-\mu(y_m - y_{m-1})), \\ r &= \exp(-\lambda(z_k - z_{k-1})), \end{aligned} \quad (15)$$

здесь и ниже индексы у парциальных корреляторов p , q и r опущены для краткости.

Рассмотрим две группы точек из четырех точек каждая: $(x_{n-1}, y_{m-1}, z_{k-1})$, (x_n, y_{m-1}, z_{k-1}) , (x_{n-1}, y_m, z_{k-1}) , (x_n, y_m, z_{k-1}) и (x_{n-1}, y_{m-1}, z_k) , (x_n, y_{m-1}, z_k) , (x_{n-1}, y_m, z_k) , (x_n, y_m, z_k) . В «верхнем» прямоугольнике парциальные вероятности попадания в финишную точку (x_n, y_m, z_k) дают вклад три точки (x_{n-1}, y_m, z_k) , (x_n, y_{m-1}, z_k) , (x_{n-1}, y_{m-1}, z_k) с вероятностями p , q и pq соответственно. При этом условная вероятность попадания из этих точек в точку (x_n, y_m, z_k) составляет

$$\Pr(H_{n,m,k} | h_{n-1,m,k}, h_{n,m-1,k}, h_{n-1,m-1,k}) = p + q - pq, \quad (16)$$

здесь знак « $\rightarrow$ » соответствует компенсации условной вероятности попадания из точки (x_{n-1}, y_{m-1}, z_k) в точку (x_n, y_m, z_k) .

В «нижнем» прямоугольнике условная вероятность попадания в точку (x_n, y_m, z_{k-1}) из точек $(x_{n-1}, y_{m-1}, z_{k-1})$, (x_n, y_{m-1}, z_{k-1}) , (x_{n-1}, y_m, z_{k-1}) также составляет с учетом указанной компенсации

$$\Pr(H_{n,m,k-1} | h_{n-1,m-1,k-1}, h_{n,m-1,k-1}, h_{n-1,m,k-1}) = p + q - pq, \quad (17)$$

тогда условная вероятность попадания в точку (x_n, y_m, z_{k-1}) уже из 4 точек «нижнего» прямоугольника составит

$$\Pr(H_{n,m,k-1} | h_{n-1,m-1,k-1}, h_{n,m-1,k-1}, h_{n-1,m,k-1}, h_{n-1,m-1,k}) = r - r(p + q - pq). \quad (18)$$

Таким образом, условная вероятность попадания в финишную точку (x_n, y_m, z_k) из остальных семи вершин параллелепипеда с учетом двойной компенсации имеет вид

$$\Pr(H_{n,m,k} | h_{n-1,m,k}, h_{n,m-1,k}, h_{n-1,m-1,k}, h_{n-1,m-1,k-1}, h_{n,m-1,k-1}, h_{n-1,m,k-1}, h_{n-1,m-1,k}) = p + q + r - pq - pr - qr + pqr. \quad (19)$$

Для нахождения дисперсии в условном распределении случайной величины $h_{n,m,k}$ введем условную производящую функцию

$$G(\xi) = M[\exp(i\xi H_{n,m,k} | S)], \quad (20)$$

в которой

$$S = ph_{n-1,m,k} + qh_{n,m-1,k} + rh_{n,m,k-1} - pqh_{n-1,m-1,k} - qrh_{n,m-1,k-1} - prh_{n-1,m,k-1} + pqrh_{n-1,m-1,k-1}, \quad (21)$$

тогда

$$g_{n+1,0,0} = pg_{n,0,0} + \sqrt{1-p^2} u_{n+1,0,0}. \quad (22)$$

Вычисление $G(\xi)$ удобно начать с точек, прилегающих к финишной точке $h_{n,m,k}$, то есть точек $h_{n-1,m,k}$, $h_{n,m-1,k}$ и $h_{n,m,k-1}$. Рассматривая грани, где они расположены, и пользуясь двумерными переходными плотностями распределений вероятностей, получим

$$G(\xi) = \exp\left(-\frac{1}{2}\xi^2\sigma_H^2 W\right) M[\exp(i\xi Q)], \quad (23)$$

где

$$W = p^2(1-q^2)(1-r^2) + q^2(1-p^2)(1-r^2) + r^2(1-p^2)(1-q^2), \\ Q = pqH_{n-1,m-1,k} + prH_{n-1,m,k-1} + qrH_{n,m-1,k-1} - 2pqrH_{n-1,m-1,k-1}.$$

Из свойств оставшихся трех граней параллелепипеда, на которых расположены точки $h_{n-1,m-1,k}$, $h_{n-1,m,k-1}$, $h_{n,m-1,k-1}$, найдем, что второй множитель в (23) составляет

$$M[\exp(i\xi(pqH_{n-1,m-1,k} + prH_{n-1,m,k-1} + qrH_{n,m-1,k-1} - 2pqrH_{n-1,m-1,k-1}))] = \exp\left\{-\frac{1}{2}\xi^2\sigma_H^2[p^2q^2(1-r^2) + p^2r^2(1-q^2) + q^2r^2(1-p^2)]\right\} M[\exp(i\xi pqrH_{n-1,m-1,k-1})]. \quad (24)$$

Примем, что $n=1$, $m=1$ и $k=1$. Поскольку на основании (2) в вершинной точке $h_{0,0,0}$ выполняется инициализирующее условие

$$M[\exp(i\xi pqrH_{0,0,0})] = \exp\left(-\frac{1}{2}\xi^2\sigma_H^2 p^2 q^2 r^2\right), \quad (25)$$

то после объединения всех трех сомножителей, входящих в (24), получим при $n=1$, $m=1$ и $k=1$

$$G(\xi) = \exp\left\{-\frac{1}{2}\xi^2\sigma_H^2[1-(1-p^2)(1-q^2)(1-r^2)]\right\}. \quad (26)$$

В силу (8) $H_{n,m,k} = S + I_{XYZ}$, поэтому

$$D[H_{1,1,1}] = D[S] + D[I_{XYZ}]. \quad (27)$$

Из (25) следует

$$D[S] = \left[1 - (1-p^2)(1-q^2)(1-r^2)\right]\sigma_H^2. \quad (28)$$

В связи с нормальностью I_{XYZ} плотность распределения случайных значений I_{XYZ} имеет

гауссов вид с нулевым математическим ожиданием и дисперсией

$$\sigma_{I_{XYZ}}^2 = \left\langle \int_{x_0}^{x_1} \exp(-vx + vx') u_X(x') dx' \times \int_{x_0}^{x_1} \exp(-vx + vx'') u_X(x'') dx'' \int_{y_0}^{y_1} \exp(-\mu y + \mu y') u_Y(y') dy' \times \int_{y_0}^{y_1} \exp(-\mu y + \mu y'') u_Y(y'') dy'' \int_{z_0}^{z_1} \exp(-\lambda z + \lambda z') u_Z(z') dz' \times \int_{z_0}^{z_1} \exp(-\lambda z + \lambda z'') u_Z(z'') dz'' \right\rangle. \quad (29)$$

В результате расщепления по x -м, y -м и z -м флуктуациям, усреднения и интегрирования найдем

$$\sigma_{I_{XYZ}}^2 = \frac{1 - \exp(-2v(x_1 - x_0))}{2v} \times \frac{1 - \exp(-2\mu(y_1 - y_0))}{2\mu} \times \frac{1 - \exp(-2\lambda(z_1 - z_0))}{2\lambda} \sigma_{U_{XYZ}}^2. \quad (30)$$

Итак, нормальная случайная величина I_{XYZ} имеет дисперсию

$$\sigma_{I_{XYZ}}^2 = \frac{(1-p^2)(1-q^2)(1-r^2)}{8v\mu\lambda} \sigma_{U_{XYZ}}^2. \quad (31)$$

Поскольку $H_{n,m,k} = S + I_{XYZ}$, то статистические свойства слагаемых в этом равенстве эквивалентны, откуда

$$\sigma_H^2 = \left[1 - (1-p^2)(1-q^2)(1-r^2)\right]\sigma_H^2 + \frac{(1-p^2)(1-q^2)(1-r^2)}{8v\mu\lambda} \sigma_{U_{XYZ}}^2. \quad (32)$$

Для обеспечения *стационарности* примем

$$\sigma_H^2 = \frac{1}{8v\mu\lambda} \sigma_{U_{XYZ}}^2. \quad (33)$$

Это соотношение можно рассматривать как аналог соотношения Эйнштейна [2], но для случая трехмерного поля в объеме.

Таким образом, показано, что если справедливо $M[(H_{0,0,0})^2] = \sigma_H^2$, то выполняется $M[(H_{1,1,1})^2] = \sigma_H^2$. Продолжая это равенство индуктивно, получим для точки 3D-поля с произвольным набором индексов

$$M[(H_{n,m,k})^2] = \sigma_H^2. \quad (34)$$

Теперь, так же, как и выше, для условной плотности распределения вероятностей $f_H(h_{n,m,k}|S)$ случайной величины $H_{n,m,k}$ – амплитуды

нормального марковского поля первого порядка в объеме – получим

$$f_H(h_{n,m,k}|S) = \frac{1}{\sqrt{2\pi(1-p^2)(1-q^2)(1-r^2)}\sigma_H} \times \exp\left(-\frac{[h_{n,m}-V]^2}{2\sigma_H^2(1-p^2)(1-q^2)(1-r^2)}\right), \quad (35)$$

где

$$V = ph_{n-1,m,k} + qh_{n,m-1,k} + rh_{n,m,k-1} - pqh_{n-1,m-1,k} - qrh_{n,m-1,k-1} - prh_{n-1,m,k-1} + pqrh_{n-1,m-1,k-1}.$$

Сужение плотности (35), например, на грань $(x, y, 0)$ дает

$$f_H(h_{n,m,k}|h_{n-1,m-1,k}, h_{n-1,m-1,k}, h_{n-1,m-1,k}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi(1-p^2)(1-q^2)}\sigma_H} \times \exp\left(-\frac{[h_{n,m,k} - (ph_{n-1,m,k} + qh_{n,m-1,k} - pqh_{n-1,m-1,k})]^2}{2\sigma_H^2(1-p^2)(1-q^2)}\right). \quad (36)$$

Аналогично строятся переходные плотности вероятностей $f_H(h_{n,m,k}|h_{n-1,m-1,k}, h_{n-1,m-1,k}, h_{n-1,m-1,k})$ и

$$f_H(h_{n,m,k}|h_{n,m-1,k-1}, h_{n-1,m-1,k-1}, h_{n-1,m-1,k-1}).$$

Дальнейшее сужение плотности (36), например, на ребро $(x, 0, 0)$ дает

$$f_H(h_{n,m,k}|h_{n-1,m,k}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi(1-p^2)}\sigma_H} \times \exp\left(-\frac{[h_{n,m,k} - ph_{n-1,m,k}]^2}{2\sigma_H^2(1-p^2)}\right) \quad (37)$$

и аналогично для y -ребра $f_H(h_{n,m,k}|h_{n,m-1,k})$ и z -ребра $f_H(h_{n,m,k}|h_{n,m,k-1})$. Теперь, в результате сужения по оставшемуся указанному ребру приходим к равновесной безусловной плотности (5).

Поэтому на основании (35) получаем, что безусловная дисперсия амплитуды $h_{n,m,k}$ постоянна для любых значений индексов n , m и k ,

$$D[H_{n,m,k}] = \sigma_H^2. \quad (38)$$

Таким образом, построенное нормальное марковское поле – стационарно.

При синтезе нормального марковского 3D-поля $H(x, y, z)$ в точке (x, y, z) будем опираться на статистический вес (35). Эта условная плотность вероятности (пропагатор) связывает значения $h(x, y, z)$ случайного поля $H(x, y, z)$ в выбранной точке (x, y, z) со значениями в «предыдущих» точках $h(x', y, z)$, $h(x, y', z)$, $h(x', y', z)$ и $h(x', y, z')$, $h(x, y', z')$, $h(x', y', z')$. Для нормального марковского 3D-поля этих данных достаточно, чтобы описать

вероятностные свойства амплитуды поля $h(x, y, z)$ в точке (x, y, z) . Нормальности 3D-поля соответствует свойство гауссовости переходной плотности вероятностей (35), выражающейся с помощью парциальных корреляторов, которые теперь имеют вид $p = \exp(-\nu(x-x'))$, $q = \exp(-\mu(y-y'))$ и $r = \exp(-\lambda(z-z'))$ с декрементами затухания ν , μ и λ соответственно по осям $0x$, $0y$ и $0z$.

Алгоритм генерации нормальных трехмерных марковских полей в объеме. Алгоритмы генерации трехмерных марковских полей приспособлены для применения в параллелепипеде, стороны которого параллельны декартовым осям координат в объеме. Далее рассмотрен синтез алгоритма генерации случайного объекта $H(x, y, z)$ – нормального марковского поля, реализующегося в объеме.

Определяющим свойством рассматриваемого нормального марковского двумерного поля является его корреляционный функционал

$$K_{XYZ} = K_{XYZ}(x, y, z | x', y', z') = \langle H(x, y, z)H(x', y', z') \rangle = pqr\sigma_H^2, \quad (39)$$

где $h(x, y, z)$ – реализация гауссового двумерного поля $H(x, y, z)$ в прямоугольной области $\{x \in [0, a], y \in [0, b], z \in [0, c]\}$ в объеме; $\sigma_H^2 = \langle H^2(x, y, z) \rangle$ – интенсивность трехмерного НМ-поля; ν , μ и λ – декременты затухания поля по оси абсцисс x , оси ординат y и оси аппликат z соответственно.

Расположим в объеме декартову систему координат с началом в точке $(0, 0, 0)$. Динамику значений $h(x, y, z)$ случайного НМ-поля $H(x, y, z)$ в прямоугольнике $\{x \in [0, a], y \in [0, b], z \in [0, c]\}$ с вершиной в $(0, 0, 0)$ можно описать с помощью уравнения (1), обобщающего уравнение Ланжевена для процесса Орнштейна – Уленбека на трехмерный случай. Подробно методика перехода от уравнения Ланжевена и его решения в интегральной форме к рекуррентным последовательностям изложена в работе [6] для случая одномерного марковского процесса.

На основе решения (8) можно построить числовой алгоритм генерации значений $h(x, y, z)$ НМ-поля $H(x, y, z)$. Этот иерархический алгоритм генерации значений в узлах нормального марковского трехмерного поля в прямоугольной области плоскости удобно представить следующими 4 шагами.

Шаг 1. Генерация значения в вершине:

$$g_{0,0,0} = u_{0,0,0}. \quad (40)$$

Шаг 2а. Генерация значения процесса вдоль x -границы параллелепипеда $n > 0$:

$$g_{n+1,0,0} = pg_{n,0,0} + \sqrt{1-p^2} u_{n+1,0,0}. \quad (41a)$$

Шаг 2b. Генерация значения процесса вдоль y -границы параллелепипеда $m > 0$:

$$g_{0,m+1,0} = qg_{0,m,0} + \sqrt{1-q^2} u_{0,m+1,0}. \quad (41b)$$

Шаг 2с. Генерация значения процесса вдоль z -границы параллелепипеда $k > 0$:

$$g_{0,0,k+1} = rg_{0,0,k} + \sqrt{1-r^2} u_{0,0,k+1}. \quad (41c)$$

Шаг 3a. Последовательное заполнение значениями внутренних узлов $x0y$ -прямоугольника $n > 0, m > 0$:

$$g_{n+1,m+1,k} = pg_{n,m+1,k} + qg_{n+1,m,k} - pqg_{n,m,k} + \sqrt{(1-p^2)(1-q^2)} u_{n+1,m+1,k}. \quad (42a)$$

Шаг 3b. Последовательное заполнение значениями внутренних узлов $x0z$ -прямоугольника $n > 0, k > 0$:

$$g_{n+1,m,k+1} = pg_{n,m,k+1} + rg_{n+1,m,k} - prg_{n,m,k} + \sqrt{(1-p^2)(1-r^2)} u_{n+1,m,k+1}. \quad (42b)$$

Шаг 3с. Последовательное заполнение значениями внутренних узлов $y0z$ -прямоугольника $m > 0, k > 0$:

$$g_{n,m+1,k+1} = qg_{n,m,k+1} + rg_{n+1,m+1,k} - qrq_{n,m,k} + \sqrt{(1-q^2)(1-r^2)} u_{n,m+1,k+1}. \quad (42c)$$

Шаг 4. Последовательное заполнение значениями внутренних узлов $хуz$ -параллелепипеда $n > 0, m > 0, k > 0$:

$$g_{n+1,m+1,k+1} = pg_{n,m+1,k+1} + qg_{n+1,m,k+1} + rg_{n+1,m+1,k} - pqg_{n,m,k+1} - qrq_{n+1,m,k} - prg_{n,m+1,k} + pqrq_{n,m,k} + \sqrt{(1-p^2)(1-q^2)(1-r^2)} u_{n+1,m+1,k+1}. \quad (43)$$

Шаг 5. Нормировка амплитуды поля $n \geq 0, m \geq 0, k \geq 0$:

$$h_{n,m,k} = \sigma_H g_{n,m,k}. \quad (44)$$

Заполнение узлов вычисленными значениями выполняется, например, для очередного k -го слоя. Его, в свою очередь, заполняют в узлах прямоугольника так, как это выполнялось в случае генерации марковского поля в прямоугольнике. В выражениях (40)-(44) обозначено $p = \exp(-v\Delta_x)$, $q = \exp(-\mu\Delta_y)$ и $r = \exp(-\lambda\Delta_z)$, где v , μ и λ – парциальные декременты, Δ_x , Δ_y и Δ_z – шаги узлов по осям x , y и z соответственно. Интенсивность σ_H амплитуды порожденного поля $H(x, y, z)$ связана с интенсивностью порождающего поля $u(x, y)$ соотношением (44). Отметим, что для выбранных Δ_x ,

Δ_y и Δ_z (то есть количество шагов $N_x = a/\Delta_x$, $N_y = b/\Delta_y$ и $N_z = c/\Delta_z$ соответствующих заданным размерам параллелепипеда a , b и c), интенсивность в числовом алгоритме необходимо перенормировать так, чтобы энергия НМ-поля $H(x, y, z)$, приходящаяся на единицу площади, совпадала с заданной для любого числа шагов. Из (40)-(44) можно получить для значения $h_{n,m,k}$ в любом (n, m, k) -узле

$$M[H_{n,m,k}] = 0, \quad M\left[\left(H_{n,m,k}\right)^2\right] = \sigma_H^2 = \text{const}, \quad (45)$$

если последовательно понижать значения n -индекса, затем m -индекса и k -индекса и, наконец, найти безусловное равновесное среднее. Таким образом, алгоритм (40)-(44) генерации значений случайного поля в прямоугольнике на плоскости является стационарным.

В программных математических средах могут отсутствовать трехмерные матрицы. Поэтому приведем алгоритм генерации двух двумерных полей, нижнего – $a(x, y)$ и верхнего – $b(x, y)$. Последовательно итерируя такую пару двумерных коррелированных полей, получим поле, которое в совокупности обладает свойствами трехмерного поля $h(x, y, z)$. А именно, будем считать, что с помощью стандартных системных датчиков ($\text{gnorm}(1,0,1)$) выполнена независимая инициализация каждого из двумерных полей белым шумом единичной интенсивности $n \geq 0, m \geq 0$:

$$v_{n,m} = \sigma \text{gnorm}(1,0,1)_0, \quad u_{n,m} = \sigma \text{gnorm}(1,0,1)_0. \quad (46)$$

Тогда получим алгоритм:

Шаг 1. Генерация значений в вершине нижнего прямоугольника $n = 0, m = 0$:

$$a_{0,0} = u_{0,0}. \quad (47)$$

Шаг 2a. Генерация значения процесса вдоль x -границы нижнего прямоугольника $n > 0, m = 0$:

$$a_{n+1,0} = pa_{n,0} + \sqrt{1-p^2} u_{n+1,0}. \quad (48a)$$

Шаг 2b. Генерация значения процесса вдоль y -границы нижнего прямоугольника $n = 0, m > 0$:

$$a_{0,m+1} = qa_{0,m} + \sqrt{1-q^2} u_{0,m+1}. \quad (48b)$$

Шаг 2с. Последовательное заполнение значениями внутренних узлов нижнего прямоугольника $n > 0, m > 0$:

$$a_{n+1,m+1} = pa_{n,m+1} + qa_{n+1,m} - pqa_{n,m} + \sqrt{(1-p^2)(1-q^2)} u_{n+1,m+1}. \quad (48c)$$

Шаг 3. Генерация значений в вершине верхнего прямоугольника $n = 0, m = 0$:

$$b_{0,0} = ra_{0,0} + \sqrt{1-r^2} v_{0,0}. \quad (49)$$

Шаг 4а. Генерация значения процесса вдоль x -границы верхнего прямоугольника $n > 0, m = 0$:

$$b_{n+1,0} = pb_{n,0} + ra_{n,0} - pra_{n+1,0} + \sqrt{(1-p^2)(1-r^2)}v_{n+1,0}. \quad (50a)$$

Шаг 4б. Генерация значения процесса вдоль y -границы верхнего прямоугольника $n = 0, m > 0$:

$$b_{0,m+1} = qa_{0,m} + rb_{0,m} - qra_{0,m+1} + \sqrt{(1-q^2)(1-r^2)}v_{0,m+1}. \quad (50b)$$

Шаг 4с. Последовательное заполнение значениями внутренних узлов верхнего прямоугольника $n > 0, m > 0$:

$$b_{n+1,m+1} = pb_{n,m+1} + qb_{n+1,m} + ra_{n+1,m+1} - pqb_{n,m} - qra_{n+1,m} - pra_{n,m+1} + pqra_{n,m} + \sqrt{(1-p^2)(1-q^2)(1-r^2)}v_{n+1,m+1}. \quad (50c)$$

Шаг 5. Нормировка амплитуды поля $n \geq 0, m \geq 0$:

$$h_{n,m} = \sigma_H b_{n,m}. \quad (51)$$

В выражениях (47)–(51) обозначены корреляторы $p = \exp(-v\Delta_x)$, $q = \exp(-\mu\Delta_y)$ и $r = \exp(-\lambda\Delta_z)$, где v , μ и λ – парциальные декременты, Δ_x , Δ_y и Δ_z – шаги узлов по осям $0x$, $0y$ и $0z$ соответственно. Интенсивность σ_H амплитуды порожденного поля $H(x, y, z)$ связана с интенсивностью σ_U порождающего поля $u(x, y)$ соотношением (33). С помощью алгоритма (47)–(51) можно получать значения на заданном порожденном слое, опираясь на ранее найденные значения предыдущего порождающего слоя.

Визуализация нормального марковского поля. Графическое представление трехмерного НМ-поля затруднено изобразительными возможностями. Следующие рисунки являются иллюстрацией к работе программного средства, с помощью которого на основе предложенного алгоритма (47)–(51) визуализируются рассчитанные НМ-поля. В нем случайное трехмерное поле показано ограниченным набором последовательных двумерных слоев-сечений.

На рис. 1 приведен пример генерации $h(x, y, z)$ случайного поля $H(x, y, z)$. Этот рисунок $H(x, y, z)$ образован из 3 последовательных рисунков поля $H(x, y, z_0)$, $H(x, y, z_1)$ и $H(x, y, z_2)$, совокупность которых $\{h(x_n, y_m, z_0)\}$, $\{h(x_n, y_m, z_1)\}$ и $\{h(x_n, y_m, z_2)\}$ состоит из значений, найденных в соответствии с алгоритмом (47) – (51).

Параметры расчета трехмерного поля: шаги по осям $\Delta_x = 1.0$, $\Delta_y = 1.0$, $\Delta_z = 5.0$; количество шагов $N_x = 20$, $N_y = 20$, $N_z = 2$; декременты затухания $v = 1.0$, $\mu = 1.0$, $\lambda = 0.75$. Интенсивность σ_U амплитуды $h(x, y, z)$ поля $H(x, y, z)$ выбрана равной $\sigma_U = 0.5$. На рис. 1 ось $0z$ – вертикальная.

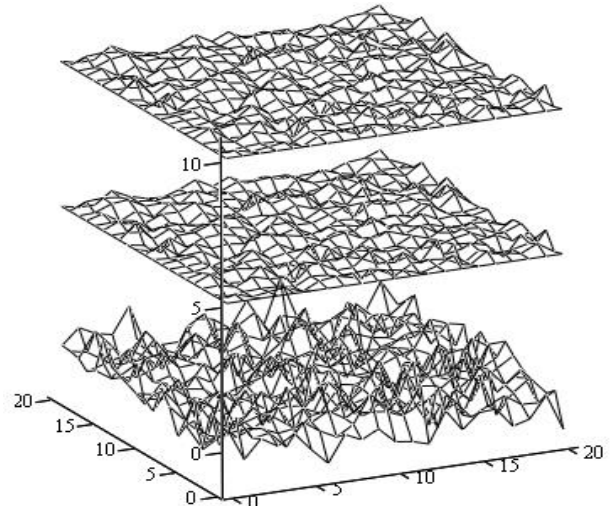


Рис. 1 – Нормальное марковское 3D-поле $H(x, y, z)$

На рис. 2 приведен аналогичный пример генерации $h(x, y, z)$ случайного поля $H(x, y, z)$. Параметры расчета те же, что и на рис. 1, кроме: декремент затухания $\lambda = 1.0$ и $\sigma_U = 1.0$.

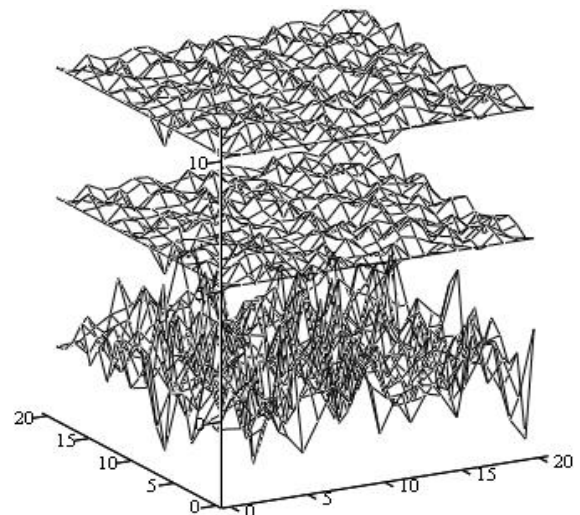


Рис. 2 – Нормальное марковское 3D-поле $H(x, y, z)$

Из приведенных рисунков можно видеть динамику затухания по разным направлениям, в частности по оси $0z$.

Можно предложить широкий круг задач, в которых найдут применение трехмерные нормальные марковские поля. Прежде всего, это расширение традиционных задач с применением случайных одномерных процессов и двумерных полей [2–5] на случай трех переменных. Представляется перспективным применение трехмерных НМП в задачах рассеяния электромагнитных волн в возмущенных средах, внешней баллистики в турбулентной атмосфере, рассеяния заряженных частиц в аморфных средах, распространения акустических колебаний в твердом теле. Возможности вычислительных средств дают основание надеяться на успешное применение трехмерных НМП в задачах численного моделирования. Перспективным является

применение трехмерных НМП в задачах оценивания, фильтрации, трехмерного шифрования и декодирования.

Выводы. В работе рассмотрено трехмерное поле, обладающее свойствами стационарности, нормальности и марковости. Анализ основывается на уравнении движения амплитуды трехмерного поля с порождающим трехмерным полем, обладающим свойствами трехмерного белого шума. Для случайной величины – амплитуды трехмерного нормального марковского поля первого порядка в объеме – получены переходные условные плотности распределения вероятностей вместе с безусловной плотностью распределения вероятностей. На их основе построен и обоснован алгоритм генерации такого поля в параллелепипеде. Приведен численный пример реализации предложенного алгоритма.

Список литературы

1. Uhlenbeck G. E. On the theory of Brownian Motion / L. S. Ornstein, G. E. Uhlenbeck, // Phys. Rev. 1930, v. 36, pp. 823–841.
2. Чандрасекар С. Стохастические проблемы в физике и астрономии. – М.: Гос. изд-во иностран. лит-ры, 1947. – 168 с.
3. Тихонов В. И. Марковские процессы / В. И. Тихонов, М. А. Миронов – М.: Сов. радио, 1977. – 488 с.

4. Habibi A. Two-Dimensional Bayesian Estimate of Image // Proc. IEEE, 1972, vol. 60, № 7, pp. 878–883.
5. Хусу А. П. Шероховатость поверхностей / А. П. Хусу, Ю. Р. Витенберг, В. А. Пальмов. – М.: Наука, 1975. – 344 с.
6. Мазманишвили А. С. Моделирование марковских случайных последовательностей и алгоритм генерации однородного двумерного марковского поля / А. С. Мазманишвили, В. Е. Щербань // Электронное моделирование. – 1996. – № 2. – С. 93–95.

References (transliterated)

1. Uhlenbeck G.E., Ornstein L.S. On the theory of the Brownian Motion. Phys. Rev. 1930, v. 36, pp. 823–841.
2. Chandrasekar S. Stokhasticheskie problemy v fizike i astronomiji [Stochastic problems in physics and astronomy]. – Moscow, GIL Publ., 1947. 168 p.
3. Tihonov V. I., Mironov M. A. Markovskie process [Process of Markov] Moscow, Sov. Radio Publ., 1977. 488 p.
4. Habibi A. Two-Dimensional Bayesian Estimate of Image. Proc. IEEE, 1972, vol. 60, no. 7, pp. 878–883.
5. Husu, A. P., Vitenberg, Yu. R., ed. Sherohovatost' poverhnosti. [Surface of roughness] Moscow, Nauka Publ., 1975. 344 p.
6. Mazmanishvili A. S., Tscherban' V. E. Modelirovanie markovskih sluchainyh posledovatel'nostey i algoritm generacii odnorodogo dvumernogo markovskogo polya [Simulation of Markov random sequences and an algorithm for generating a two-dimensional Markov field]. Electronic modeling, 1996, no. 2, pp. 93–95.

Поступила (received) 21.11.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Алгоритм побудови стаціонарного нормального марківського 3d-поля: динамічні рівняння руху, статистичні розподіли ймовірностей, візуалізація / О. С. Мазманишвілі, Г. Ю. Сидоренко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х.: НТУ «ХПІ», 2017. – № 55 (1276). – С. 13–20. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2079-0023.

Алгоритм построения стационарного нормального марковского 3d-поля: динамические уравнения движения, статистические распределения вероятностей, визуализация / А. С. Мазманишвили, А. Ю. Сидоренко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – № 55 (1276). – С. 13–20. – Библиогр.: 6 назв. – ISSN 2079-0023.

Algorithm for constructing of stationary normal Markov 3d-field: dynamic equations of motion, statistical probability distributions, visualization / O. S. Mazmanishvili, G. Yu. Sydorenko // Bulletin of National Technical University "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – No. 55 (1276). – P. 13–20. – Bibliogr.: 6. – ISSN 2079-0023.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Мазманишвили Александр Сергеевич – доктор физико-математических наук, профессор, старший научный сотрудник ННЦ ХФТИ, г. Харьков; тел.: (067) 799-38-64; e-mail: mazmanishvili@gmail.com.

Мазманишвілі 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, Full Professor, senior staff scientist, National Science Center "Kharkov Institute of Physics and Technology", Kharkov; tel.: (067) 799-38-64; e-mail: mazmanishvili@gmail.com.

Сидоренко Ганна Юріївна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри системного аналізу та інформаційно-аналітичних технологій; тел.: (095) 392-54-39; e-mail: sau123@ukr.net.

Сидоренко Анна Юрьевна – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры системного анализа и информационно-аналитических технологий; тел.: (095) 392-54-39; e-mail: sau123@ukr.net.

Sydorenko Ganna Yurijivna – Candidate of Technical Sciences, Docent, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor at the Department of analysis of systems and information-analytical technologies; tel.: (095) 392-54-39; e-mail: sau123@ukr.net.

А. А. БОЕВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ МАГНИТОГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ УДАРНЫХ ВОЛН В НЕОДНОРОДНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ СРЕДЕ МЕТОДОМ УИЗЕМА

Розглядається розповсюдження плоскої магнітогазодинамічної ударної хвилі в неоднорідному плазмовому середовищі. Дослідження проводилося методом Уізема, який був застосований на випадок поперечного магнітного поля. Отримано диференціальне рівняння для знаходження швидкості фронту ударної хвилі. В результаті чисельного рішення знайдено залежність швидкості ударної хвилі, що розповсюджується в адиабатичній атмосфері, при різних значеннях значення магнітного параметру. На підставі співвідношень на розриві знайдені залежності швидкості фронту ударної хвилі, характеристики збуреного газу (швидкість, тиск, щільність) за фронтом від координати вздовж траси розповсюдження.

Ключові слова: газодинаміка, магнітне поле, ударна хвиля, рівняння характеристик, метод Уізема, співвідношення на розриві.

Рассматривается распространение плоской магнитогазодинамической ударной волны в неоднородной плазменной среде. Исследование проводилось методом Уизема, который был использован для случая поперечного магнитного поля. Получено дифференциальное уравнение для нахождения скорости фронта ударной волны. В результате численного решения найдена зависимость скорости ударной волны, распространяющейся в адиабатической атмосфере, при различных значениях значения магнитного параметра. На основании соотношений на разрыве найдены зависимости скорости фронта ударной волны, характеристики возмущенного газа (скорость, давление, плотность) за фронтом от координаты вдоль трассы распространения.

Ключевые слова: газодинамика, магнитное поле, ударная волна, уравнение характеристик, метод Уизема, соотношения на разрыве.

The propagation of a plane magnetohydrodynamical shock wave in non-homogeneous plasma medium is considered. The investigation is based on Whitham method which was used for the case of transverse magnetic field. The differential equation for the shock wave velocity front as a function of the coordinate along the propagation path was derived. The numerical solution was obtained in the case of the wave propagating in adiabatic atmosphere. On the basis of jump relations the characteristics (velocity, pressure, density) behind the wave were obtained at arbitrary magnetic field and initial Mach number. It is shown that a magnetohydrodynamical shock wave accelerates in comparison with an ordinary one at small values of magnetic parameter β . At large values of β the influence of magnetic parameter on the wave velocity and gas characteristics behind the wave is insignificant.

Keywords: hydrodynamics, magnetic field, shock wave, characteristic equation, Whitham method, jump relations.

Введение. В работе рассматривается движение магнитогазодинамических ударных волн – поверхностей, на которых испытывают скачок параметры газа (скорость, давление, плотность, величина магнитного поля). Теория распространения МГД ударных волн необходима при изучении многих космических явлений, таких как, Сверхновые и солнечный ветер [1], течение газа в оболочках звезд и солнечной хромосфере [1, 2, 3, 4], взаимодействие остатков Сверхновых с молекулярными облаками др. Во всех этих явлениях влияние неоднородности межзвездной среды, а также магнитное поле существенно влияют на рассматриваемые процессы. Кроме того, теория МГД ударных волн нужна при изучении движения ударных волн в лабораторных ударных трубах [5].

Анализ основных достижений и литературы. Теория распространения ударных волн в неоднородных средах достаточно хорошо изучена, этому вопросу в разное время были посвящено большое число работ. А. С. Компанец в 1960 г. [6] рассмотрел задачу о точечном взрыве в неоднородной атмосфере и получил уравнение, описывающее движение фронта ударной волны. Это уравнение сыграло важную роль в дальнейшем исследовании движения ударных волн и получило название уравнения А. С. Компанейца. В последующих работах С. А. Силича и П. И. Фомина, 1982 г. [7, 8] рассматривается задача о точечном взрыве в экспоненциальной атмосфере с ненулевой асимптотой и находится его точное решение. В. М. Конторович и С. Ф. Пименов, 1998 г. [9], исследовали

распространение ударного фронта в неоднородной среде со степенным законом изменения плотности в приближении А. С. Компанейца и получили простое точное решение. В работе А. В. Карнаушенко, 2012 г. [10] найдено аналитическое решение уравнения А. С. Компанейца в плоско-стратифицированной среде с плотностью, изменяющейся по закону гиперболического тангенса, моделирующее границу молекулярного облака с межзвездной средой. В меньшей степени изучены МГД ударные волны, что связано с большей сложностью системы уравнений магнитной газодинамики.

Существующие методы решения подобных задач. Для изучения распространения МГД ударных волн применялись как численные методы [1], так и приближенные методы. В работе [11] для изучения движения ударной волны использовался метод Бринкли-Кирквуда с учетом влияния магнитного поля, рассматривались либо сильные ударные волны с большими числами Маха M ($M \gg 1$), а также относительно малые магнитные поля (магнитное давление $P_m = H^2 / (8\pi)$ мало по сравнению с тепловым $P : H^2 / (8\pi P) \ll 1$).

Цель работы. В данной работе будет исследоваться поперечная магнитогазодинамическая ударная волна при произвольном значении числа Маха и различном соотношении магнитного и теплового давлений.

Постановка задачи. Рассмотрим плазменную среду с постоянной температурой T_0 , находящуюся в

равновесии под действием силы тяжести и перпендикулярного к ней магнитного поля. Будем считать, что плотность ρ_0 и значение магнитного поля H_0 рассматриваемой среды в начальный момент связаны соотношением

$$\frac{H_0}{\rho_0} = b = \text{const} \quad (1)$$

Выберем ось z направленной в сторону, противоположную силе тяжести. Полагая в уравнении движения скорость $\dot{v} = 0$, получим для равновесных параметров среды уравнение [12]:

$$\frac{d}{dz} \left(P_0 + \frac{H^2}{8\pi} \right) + \rho_0 g = 0. \quad (2)$$

Здесь g – ускорение силы тяжести; P_0 , ρ_0 – давление и плотность равновесной среды.

Проинтегрируем данное уравнение, вводя в рассмотрение параметры среды P_{00} , ρ_{00} , H_{00} в некоторой начальной точке с координатой $z = 0$:

$$\ln \frac{\rho_0}{\rho_{00}} + 2\beta \left(\frac{\rho_0}{\rho_{00}} - 1 \right) = -\frac{z}{h}, \quad (3)$$

где $h = RT_0 / g$ – приведенная высота атмосферы;

$$\beta = \frac{H^2}{8\pi P_0} = \frac{b^2 \rho_0}{8\pi RT_0} \quad \text{– магнитный параметр, по}$$

смыслу равный отношению магнитного и теплового давлений.

Также можно рассмотреть случай адиабатической атмосферы с уравнением состояния

$$P_0 = A \rho_0^\gamma, \quad (4)$$

где $\gamma = C_p / C_v$ – показатель изэнтропы;

C_p и C_v – соответственно удельные теплоемкости при постоянных давлении и объеме.

Модель адиабатической атмосферы используется при рассмотрении ударной волны, движущейся за другой ударной волной. Распределение начальной плотности такой атмосферы задается уравнением:

$$\left(\frac{\rho_0}{\rho_{00}} \right)^{\gamma-1} + 2\beta(\gamma-1) \left(\frac{\rho_0}{\rho_{00}} - 1 \right) = 1 - \frac{z}{h}, \quad (5)$$

где $h = \frac{a_{00}^2}{g}$ – приведенная высота атмосферы;

a_{00} – скорость звука.

Решение этого уравнения, задающее распределение плотности в атмосфере представлено при различных β штриховыми линиями. Согласно соотношению (1) распределение магнитного поля будет пропорционально равновесной плотности.

Пусть теперь в среде вдоль оси z из точки $z = 0$ в одном из двух направлений распространяется плоская поперечная МГД-волна. Согласно [12, 13]

соотношение $\frac{H}{\rho} = b$, известное как условие

«вмороженности» магнитного поля в вещество среды, будет выполняться во все время движения. Пусть задача состоит в нахождении законов измерения скорости волны U , величины скачков параметров на ее фронте вдоль пути распространения.

Метод исследования. Для этой цели был использован аналитический метод Уизема [14] с учетом влияния поперечного магнитного поля. Следуя методу для определения зависимости параметров волны от координаты z использовалось уравнение характеристики C_+ , переносящей возмущение от частицы газа вперед по потоку на фронт ударной волны:

$$\rho C \frac{du}{dz} + \frac{dP^*}{dz} - \frac{g\rho C}{u+C} = 0 \quad \text{вдоль } C_+, \quad (6)$$

где $\frac{d}{dz} = \frac{\partial}{\partial t} + (u+C) \frac{\partial}{\partial z}$ – производная вдоль характеристики C_+ ;

$$P^* = P + \frac{\rho^2 b^2}{8\pi} \quad \text{– сумма магнитного и теплового}$$

давлений;

$$C = (a^2 + V_a^2)^{1/2},$$

где $V_a^2 = \frac{H^2}{(4\pi\rho)}$;

$$a^2 = \left(\frac{\partial P}{\partial \rho} \right)_s \quad \text{– квадрат обычной скорости звука.}$$

Все параметры в уравнении характеристики (6) относятся к потоку газа за ударной волной. В точке пересечения характеристики C_+ с фронтом ударной волны параметры газа в уравнении (6) будут связаны с параметрами неоднородного газа перед волной соотношениями на фронте волны [12]:

$$j^2 = (P^* - P_0^*) / \left(\frac{1}{\rho_0} - \frac{1}{\rho} \right), \quad U\rho_0 = (U-u)\rho,$$

$$\varepsilon^* - \varepsilon_0^* + \frac{P^* + P_0^*}{2} \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} \right) = 0, \quad (7)$$

где j – плотность потока газа через поверхность волны;

U – скорость распространения ударной волны;

P , ρ , u – параметры газа за ударной волной;

P_0 , ρ_0 , u_0 – параметры газа перед ударной волной;

$$\varepsilon^* = \frac{P^*}{(\gamma-1)\rho} + \frac{\beta a_0^2 (\gamma-2)}{\rho_0 (\gamma-1)} \rho.$$

Для $\bar{U}^2$ можно получить следующее уравнение:

$$(\gamma+1)\bar{U}^2\bar{u}^2 - \left\{ \bar{U}^2(\gamma-1) + \frac{2\bar{P}_0}{\rho_0 M_0^2} + \frac{2\gamma\beta\bar{P}_0}{M_0^2} \right\} \bar{u} + \frac{2(\gamma-2)\beta\rho_0}{M_0^2} = 0, \quad (8)$$

$$\text{где } \bar{U} = \frac{U}{U_0}, \bar{P}_0 = \frac{P_0}{P_{00}}, \bar{\rho}_0 = \frac{\rho_0}{\rho_{00}}, M_0 = \frac{U_0}{a_{00}}.$$

Здесь U_0, P_0, ρ_{00}, M_0 – параметры газа в начальный момент времени.

Параметры газа за волной можно найти по формулам:

$$u = (1-\bar{u})\bar{U}U_0, \quad \rho = \frac{\rho_0}{M_0},$$

$$P^* = \bar{U}^2 U_0^2 \rho_0 (1-\bar{u}) + P_0^*. \quad (9)$$

Получим уравнение для определения относительной скорости $\bar{U}$ ударной волны:

$$\frac{d\bar{U}}{dz} (1-\bar{u}) \left[\frac{E}{\bar{u}} + 2\bar{U} \right] - \frac{d\bar{u}}{dz} \left[\frac{E\bar{U}}{\bar{u}} + \bar{U}^2 \right] +$$

$$+ \frac{d\bar{\rho}_0}{dz} \frac{1}{\bar{\rho}_0} \left[\bar{U}^2 (1-\bar{u}) + \frac{2\beta}{M_0^2} \bar{\rho}^2 \right] + \frac{d\bar{\rho}_0}{dz} \frac{1}{\bar{\rho}_0 \gamma M_0^2} -$$

$$- \frac{E}{[(1-\bar{u})U + E]} \left[\frac{d\bar{\rho}_0}{dz} \frac{1}{\bar{\rho}_0 \gamma M_0^2} + \frac{2\beta}{M_0^2} \frac{d\bar{\rho}_0}{dz} \right] = 0, \quad (10)$$

$$\text{где } E = \sqrt{\bar{U}^2 \gamma \bar{u} (1-\bar{u}) + \frac{\bar{u}}{M_0^2} \frac{\bar{P}_0}{\bar{\rho}_0} + \frac{\beta \rho_0}{M_0^2} \left(\gamma \bar{u} - \frac{\gamma}{\bar{u}} + \frac{2}{\bar{u}} \right)}.$$

Система уравнений достаточно громоздка, и поэтому исследовалась численно. На рис. 1 показаны зависимости скорости ударной волны от координаты вдоль пути распространения при различных значениях магнитного параметра β : 1 – при $\beta = 0$, 2 – при $\beta = 1$, 3 – при $\beta = 5$.

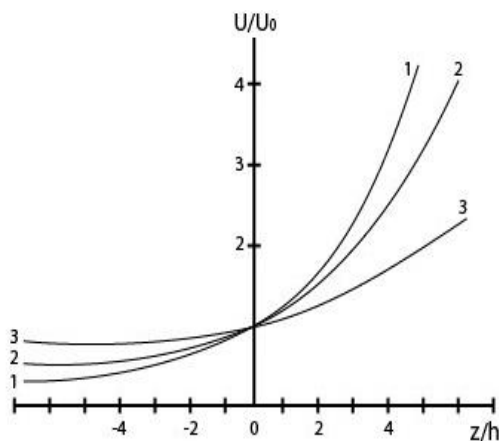


Рис. 1 – Скорость ударной волны: 1 – при $\beta = 0$;
2 – при $\beta = 1$; 3 – при $\beta = 5$

Результаты исследования. Как видно из рисунка (рис. 1), скорость обычной ударной волны без учета влияния магнитного поля (кривая, соответствующая значению параметра $\beta = 0$) убывает при ее распространении в более плотную среду при $\frac{z}{h} < 0$. Этот результат согласуется с полученными в работах [7, 8, 9, 10] для обычных ударных волн. С появлением магнитного поля (кривые, соответствующие значениям параметра $\beta = 1$ и $\beta = 5$) скорость магнитогазодинамической ударной волны также убывает, но более плавно с ростом величины магнитного поля H .

На рис. 2 показаны зависимости перепадов плотности, магнитного поля, скорости газа и числа Маха на фронте ударной волны в зависимости от различных значений параметра β : 1 – скорости волны U/U_0 , 2 – давления $P^*/100P_{00}$, 3 – плотности ρ/ρ_0 , 4 – перепада скоростей газа на фронте волны u_2/u_1 .

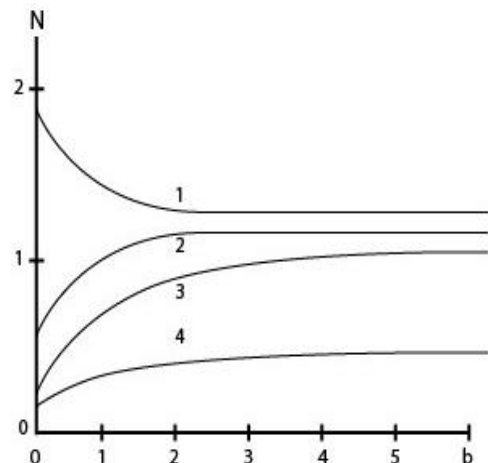


Рис. 2 – Зависимости перепадов параметров на фронте волны: 1 – U/U_0 , 2 – $P^*/100P_{00}$, 3 – ρ/ρ_0 , 4 – u_2/u_1

Скачки параметров при $\beta = 0$ соответствуют их значениям для обычной ударной волны [12]. Эти зависимости отражают отличие магнитогазодинамической ударной волны по сравнению с обычной ударной волной. Это отличие связано, во-первых, с тем, что магнитное поле порождает силу Лоренца, которая ускоряет фронт волны:

$$F = \frac{1}{4\pi} \int_z^{z+\delta} [\text{rot} \vec{H}, \vec{H}] dz = \frac{1}{8\pi} \langle H^2 \rangle > \frac{\beta a_{00}^2}{\rho_{00}} \langle \rho^2 \rangle. \quad (11)$$

Во-вторых, магнитное поле приводит к изменению противодействия невозмущенного газа, которое также влияет на скорость волны:

$$P_0^* = P_0(\beta) + \frac{\beta a_{00}^2}{\rho_{00}} \rho_0^2(\beta). \quad (12)$$

Сила Лоренца и противодействие зависят от параметра β . При малых значениях β сила Лоренца и противодействие возрастают с ростом β , при больших β перепад плотностей уже не зависит от β , а сила Лоренца и разность противодействий практически компенсируют друг друга, и в результате скорость ударной волны $\bar{U}$ почти не зависит от β . Скорость ударной волны определяет и другие параметры на поверхности разрыва.

В качестве примера сделаем оценки для ударной волны, индуцируемой вспышкой в солнечной короне. С поперечными ударными волнами связывают появление радиовсплесков 2-го типа [3, 15, 16]. При наблюдениях было установлено, что траектории ударных волн, возбуждающих всплески 2-го типа, отличаются от прямолинейных, что указывает на влияние неоднородности невозмущенной среды. Скорости ударных волн при этом составляют 200–2000 км/с, что превышает скорости звуковых и альфвеновских волн и они характеризуются достаточно большим разбросом чисел Маха и магнитного параметра β . Условие «вмороженности» магнитного поля также широко используется в различных задачах астрономии и астрофизики. Образование магнитосферы Земли, в которую не проникает плазма солнечного ветра, объясняется условием «вмороженности»; одним из аргументов в пользу спиральных структур галактик является условие «вмороженности» магнитного поля в межзвездный газ; этим же условием объясняют явление «вытягивания» собственного магнитного поля из Солнца солнечным ветром [13].

Из рис. 2 видно, что, распространяясь в сторону уменьшения плотности, магнитогазодинамические ударные волны могут оставаться нечувствительными к изменению параметра β , связанного с неоднородностью магнитного поля и плотностью. Этот факт согласуется с данными спутниковых наблюдений радиовсплесков 2-го типа.

Список литературы

1. Лозинская Т. А. Сверхновые звезды и звездный ветер. Взаимодействие с газом галактики [Текст] / Т. А. Лозинская. – М.: Наука, 1986. – 304 с.
2. Климишин И. А. Ударные волны в оболочках звезд [Текст] / И. А. Климишин. – М.: Физматгиз, 1984. – 216 с.
3. Крюгер А. Солнечная радиоастрономия и радиофизика [Текст] / А. Крюгер. – М.: Мир, 1984. – 470 с.
4. Маловичко П. П. Свойства диспергирующих альфвеновских волн. 1. Кинетика (плазма очень низкого, промежуточного и низкого давлений) [Текст] / П. П. Маловичко // Кинематика и физика небесных тел. – 2013. – 29, № 6. – С. 20–44.
5. Великович А. Л. Физика ударных волн в газах и плазме [Текст] / А. Л. Великович, М. А. Либерман. – М.: Наука, 1987. – 295 с.
6. Компанец А. С. Точечный взрыв в неоднородной атмосфере [Текст] / А. С. Компанец // Докл. АН СССР. – 1960. – Т. 130, №5. – С. 1001–1004.
7. Силич С. А. О распространении изотермических ударных волн в средах с неоднородной плотностью [Текст] / С. А. Силич. – Киев, 1980. – 96 с. (Препринт / АН УССР. Ин-т. теор. физики; с. 80–93).

8. Силич С. А. Точечный взрыв в экспоненциальной атмосфере с ненулевой асимптотой [Текст] / С. А. Силич, П. И. Фомин // Докл. АН СССР. – 1983. – Т. 268, №4. – С. 861–864.
9. Конторович В. М. Точное решение уравнения Компанейца для сильного точечного взрыва в среде с квадратичным законом убывания плотности [Текст] / В. М. Конторович, С. Ф. Пименов // Изв. вузов. Радиофизика. – 1998. – Т. XLI, №6. – С. 683–698.
10. Карнаушенко А. В. Решение уравнения Компанейца для ударного фронта в среде с плотностью, изменяющейся по закону гиперболического тангенса (промежуточная область и эволюция в реальном времени) [Текст] / А. В. Карнаушенко // Радиофизика и радиоастрономия. – 2012. – 17, №4. – С. 311–319.
11. Силич С. А. О методе Бринкли-Кирквуда в магнитной газодинамике [Текст] / С. А. Силич // Астрономия и астрофизика. – 1987. – Вып. 35. – С. 67–76.
12. Ландау Л. Д. Электродинамика сплошных сред [Текст] / Л. Д. Ландау, Е. М. Лившиц. – М.: Физматлит, 2003. – 656 с.
13. Баранов В. Б. Гидродинамическая теория космической плазмы [Текст] / В. Б. Баранов, К. В. Краснобаев. – М.: Наука, 1977. – 336 с.
14. Уизем Дж. Линейные и нелинейные волны [Текст] / Дж. Уизем. – М.: Мир, 1977. – 622 с.
15. Malitson H. H. A density scale for the interplanetary medium from observations of a type solar radio burst out to 1 astronomical unit [Text] / H. H. Malitson, J. Fainberg, R. G. Stone // Astroph. J. Letters. – 1973. – 183, no. 1. – P. L35–L38.
16. Saito M. Transport of mechanical energy in the solar atmosphere [Text] / M. Saito // Publ. Astroph. Soc. Japan. – 1964. – 16. – P. 179–188.

References (transliterated)

1. Lozinskaya T. A. *Sverkhnovye zvezdy i zvezdnyy veter. Vzaimodeystvie s gazom galaktiki* [Supernova and Solar Wind. Interaction with the Gas of the Galaxy]. Moscow, Nauka Publ., 1986. 304 p.
2. Klimishin I. A. *Udarnye volny v obolochkakh zvezd* [Shock waves in star shells]. Moscow, Fizmatgiz Publ., 1984. 216 p.
3. Krjuger A. *Solnechnaja radioastronomija i radiofizika* [Solar Radioastronomy and Radiophysics]. Moscow, Mir Publ., 1984. 470 p.
4. Malovichko P. P. *Svojstva dispergirujushhih al'fvenovskih voln. 1. Kinetika (plazma ochen' nizkogo, promezhutochnogo i nizkogo davlenij)* [Some properties of dispersive Alfvén waves. 1. Kinetics (very low-, intermediate- and low- pressure plasma)]. *Kinematika i fizika nebesnyh tel* [Kinematics and Physics of Celestial Bodies]. 2013, vol. 29, no. 6, pp. 20–44.
5. Velikovich A. L., Liberman M. A. *Fizika udarnykh voln v gazakh i plazme* [Physics of shock waves in gas and plasma]. Moscow, Nauka Publ., 1987. 295 p.
6. Kompaneets A. S. *Tochechnyy vzryv v neodnorodnoy atmosfere* [A point explosion in a nonhomogeneous atmosphere]. *Dokl. AN SSSR* [Reports of the Academy of Sciences of the USSR]. 1960, vol. 130, no. 5, pp. 1001–1004.
7. Silich S. A. *O rasprostraneni izotermicheskikh udarnykh voln v sredakh s neodnorodnoy plotnost'yu* [To the propagation of isothermal shock waves in media with non-homogeneous density]. Kyiv, 1980. 96 p. (Preprint / AN USSR. In-t. teor. Fiziki [Preprint/ The Academy of Sciences of the Ukrainian SSR. Institute of Theoretical Physics]; pp. 80–93).
8. Silich S. A., Fomin P. I. *Tochechnyy vzryv v jeksponencial'noj atmosfere s nenulevoj asimptotoj* [A point explosion in exponential atmosphere with a nonzero asymptote]. *Dokl. AN SSSR* [Reports of the Academy of Sciences of the USSR]. 1983, vol. 268, no. 4, pp. 861–864.
9. Kontorovich V. M., Pimenov S. F. *Tochnoe reshenie uravneniya Kompaneetsa dlya sil'nogo tochechnogo vzryva v srede s kvadrachnym zakonom ubyvaniya plotnosti* [Strict solution of Kompaneets equation for a strong point explosion in a medium with quadratic density decrease]. *Izv. vuzov. Radiofizika* [The News of High School. Radiophysics], 1998, vol. XLI, no. 6, pp. 683–698.
10. Karnaushenko A. V. *Reshenie uravneniya Kompaneetsa dlya udarnogo fronta v srede s plotnost'yu, izmenyayushcheyasya po zakonu giperbolicheskogo tangensa (promezhutochnaya oblast' i evolyutsiya v real'nom vremeni)* [Solution of Kompaneets equation for shock front in the inhomogeneous medium with density changing in a form of the hyperbolic tangent (intermediate region and real

- time evolution)]. *Radiofizika i radioastronomiya* [Radiophysics and Radioastronomy]. 2012, vol. 17, no. 4, pp. 311–319.
11. Silich S. A. O metode Brinkli-Kirkvuda v magnitnoy gazodinamike [On Brinkley-Kirkwood method in magnetic gas dynamics]. *Astronomiya i astrofizika* [Astronomy and Astrophysics]. 1987, issue 35, pp. 67–76.
12. Landau L. D., Livshic E. M. *Jelektrodinamika sploshnyh sred* [Electrodynamics of continuous media. – Moscow, Fizmatlit Publ., 2003. 656 p.
13. Baranov V. B., Krasnobaev K. V. *Gidrodinamicheskaya teoriya kosmicheskoy plazmy* [Hydrodynamic theory of cosmic plasma]. Moscow, Nauka Publ., 1977. 336 p.
14. Whitham G. B. *Linear and nonlinear waves*. New York, Wiley Publ., 1974. 635 p. (Rus. ed.: Uizem Dzh. *Lineynye i nelineynye volny*. Moscow, Mir Publ., 1977. 622 p.).
15. Malitson H. H., Fainberg J., Stone R. G. A density scale for the interplanetary medium from observations of a type solar radio burst out to 1 astronomical unit. *Astroph. J. Letters*. 1973, vol. 183, no. 1, pp. L35–L38.
16. Saito M. Transport of mechanical energy in the solar atmosphere. *Publ. Astroph. Soc. Japan*. 1964, vol. 16, pp. 179–188.

Поступила (received) 14.11.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Дослідження руху магнітогазодинамічних ударних хвиль в неоднорідному плазмовому середовищі методом Уізема / А. А. Боева // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 55 (1276). – С. 21–25. – Бібліогр.: 16 назв. – ISSN 2079-0023.

Исследование движения магнитогазодинамических ударных волн в неоднородной плазменной среде методом Уизема / А. А. Боева // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 55 (1276). – С. 21–25. – Бібліогр.: 16 назв. – ISSN 2079-0023.

Investigation of magnetohydrodynamical shock waves propagation in nonhomogeneous plasma medium by Whitham method / A. A. Boyeva // Bulletin of National Technical University "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No. 55 (1276) . – P. 21–25. – Bibliogr.: 16. – ISSN 2079-0023.

Відомості про автора / Сведения об авторе / About the Author

Боева Анна Анатоліївна – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри комп'ютерної математики і аналізу даних НТУ «ХПІ», тел. 095-323-85-33, e-mail: annaboeva19@gmail.com

Боева Анна Анатольевна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры компьютерной математики и анализа данных НТУ «ХПИ», тел. 095-323-85-33, e-mail: annaboeva19@gmail.com

Boyeva Anna Anatoliyivna – Candidate of Physical and Mathematical Sciences (Ph. D.), Associate Professor of the Computer Mathematics and Data Analysis Department of the National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute"; tel.: 095-323-85-33; e-mail: annaboeva19@gmail.com

M. D. GODLEVSKIY, A. A. GOLOSKOKOVA, O. S. BIELOUS

INFORMATION TECHNOLOGY OF A STATIC MODEL SOLVING FOR QUALITY IMPROVEMENT OF THE SOFTWARE DEVELOPMENT PROCESS BASED ON THE CMMI MODEL

Пропонується інформаційна технологія для вирішення задачі короткострокового планування (статична постановка задачі) покращення якості процесу розробки програмного забезпечення на основі моделі CMMI, що представляє собою модель зрілості. Використано модель задачі короткострокового планування поліпшення якості процесу розробки програмного забезпечення. Рішення даного завдання визначає цільовий профайл, який уточнює профайл, отриманий в результаті вирішення динамічної задачі та є для неї вхідною інформацією для подальшого використання.

Ключові слова: інформаційна технологія, короткострокове планування, якість процесу розробки програмного забезпечення, CMMI, модель зрілості.

Предлагается информационная технология, для решения задачи краткосрочного планирования (статическая постановка задачи) улучшения качества процесса разработки программного обеспечения на основе модели CMMI, представляющей собой модель зрелости. Использована модель задачи краткосрочного планирования улучшения качества процесса разработки программного обеспечения. Решение данной задачи определяет целевой профайл, который уточняет профайл, полученный в результате решения динамической постановки задачи и является для нее входной информацией для дальнейшего использования.

Ключевые слова: информационная технология, краткосрочное планирование, качество процесса разработки программного обеспечения, CMMI, модель зрелости.

Information technology that is proposed to solve the problem of a short term planning (static problem statement) for quality improvement of the software development process based on the CMMI model, which is a maturity model. The model of the short-term planning for quality improvement of the software development process is used. Three statements of static tasks for this model are proposed. The solution to this task determines the target profile, which specifies the profile that is obtained as a result of the dynamic task solving and the target profile is in itself the input information for dynamic task that can be used in further work.

Keywords: information technology, short-term planning, quality of the software development process, CMMI, maturity model

Introduction. Nowadays, the software development process (SF DP) has reached a high level of complexity. It consists of a large number of sub-processes, each of which has a great complexity in itself. Therefore, there is a problem of support and improvement of the development process quality. It was invented a lot of ways to make the SF DP modular, which were designed to reduce its complexity and provide an opportunity to assess its current state. A striking example of this approach is the CMMI [1, 2].

CMMI is the technology of maturity models that provides a description of how the SF DP should look, but does not answer the question: "How to achieve a specified maturity level?" Unfortunately, currently this area of knowledge does not have appropriate level of formalization. One of the problems that needs to be solved for improving the quality of SF DP within the context of CMMI is to get the optimal trajectory for improving the quality of SF DP. The presence of such a trajectory makes it wise for a company to invest resources. To date, there are different approaches for determining the quality of SF DP, such as the standard ISO 9001, ISO / IEC 15504 TR (Software Process Improvement and Capability Determination (SPICE)), CMMI, and others. They allow only verbal level to assess the maturity (quality) of SF DP. Therefore, scientific works aimed at formalizing these models are relevant.

Problem statement. In the dynamic formulation of the problem [3] the trajectory of the SF DP is solved. But the dynamic model is simplified and does not allow the manager of the organization to determine accurately the direction of the resource contribution. Therefore, in [4], a static model was proposed that more exactly solves the problem in the first planning sub-period in the dynamic

formulation of the problem (used as the first approximation).

When setting the static task based on the initial state of the SF DP, target profile and resource constraints, the optimal variant of the company promotion to the set goal is determined or a compromise decision is found between the degree of achievement of the goal and the necessary resources. The quality is characterized by alternative options for moving SF DP to a higher level of maturity in the work.

The aim of the research is to develop information technology of planning for improving the quality of the SF DP based on a static model.

Short-term planning model for static problem statement. From the point of view of decision making theory, each alternative quality improvement option is determined by three generalized indicators: the degree of the goal achievement, the resources needed to achieve the goal and the time necessary for the task the solution.

Usually, in the decision-making theory, a static task statement that does not include time is analyzed. This approach is justified for consideration in the near future. According to the structure of the CMMI model [5], which is presented in the form of a hierarchy of concepts, the practice is characterized by the level of opportunity at the lowest level. A set of practices forms a goal. A set of goals is formed into a focus area. Each focus area contributes to reaching the maturity level of the SF DP. All focus areas are categorized, which, in turn, are distributed according to the maturity levels of the SF DP.

There are two types of resources described in the paper: financial costs and time. The first criterion is based on two components: the necessary expenses for additional technical, informational, program and methodical support

and financial expenses for company employees' payment.

The second criterion is actually linked to the second component of the first criterion and is determined by the time that the company employee needs to spend, during which the employee will not be engaged in the main activity related to the software development.

Since the more resources are invested, the more extent of the goals can be achieved and vice versa. So the task of defining a rational (compromise) solution arises. Three statements of static tasks are used in this paper.

1. It is necessary to find a compromise solution for different categories of CMMI modules and two groups of utility functions.

2. It is necessary to find a compromise solution regarding the utility function groups V_1 and V_2 (the target profile achievement degree and the integrated resources).

3. To find the optimal value of the linear convolution of all individual utility functions.

Geometric interpretation of the second problem statement is shown on the fig. 1 as the domain of admissible solutions Ω in the space of the target utility functions without taking into account the constraints of financial resources. Curves BCD and $\overline{BCD}$ are received, respectively, by maximizing and minimizing the V_1 function for actions for V_2 : 0.25; 0.5; 0.75. The vector $\bar{p}$ determines the weighting factors of the importance of the target functions V_1 and V_2 . The results of solving test cases for the third task statement are given below.

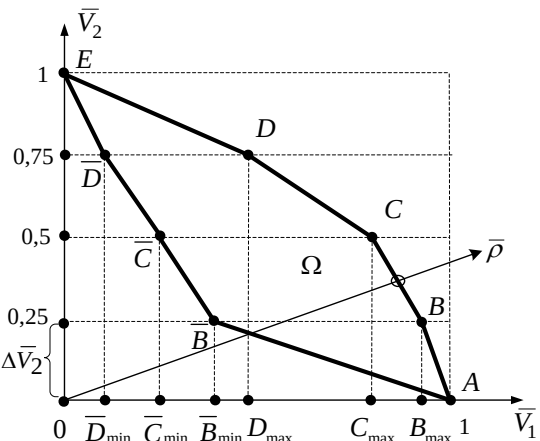


Fig. 1 – The admissible values solutions domain in the utility function space

Information system development. The process description of forming the set of optimal strategies was formed based on requirements presented as diagram IDEF0 (fig. 2). As described on the diagram, the solution process consists of three stages: the formation of the model (based on the data obtained in the first sub-period of the dynamic problem solution), the solution of the static task (based on the model obtained in the first stage) and changes of the task conditions. The last two stages form a cycle, the result of which is the multiplication of admissible solutions of the static problem.

Non-functional requirements were defined for the developed software component.

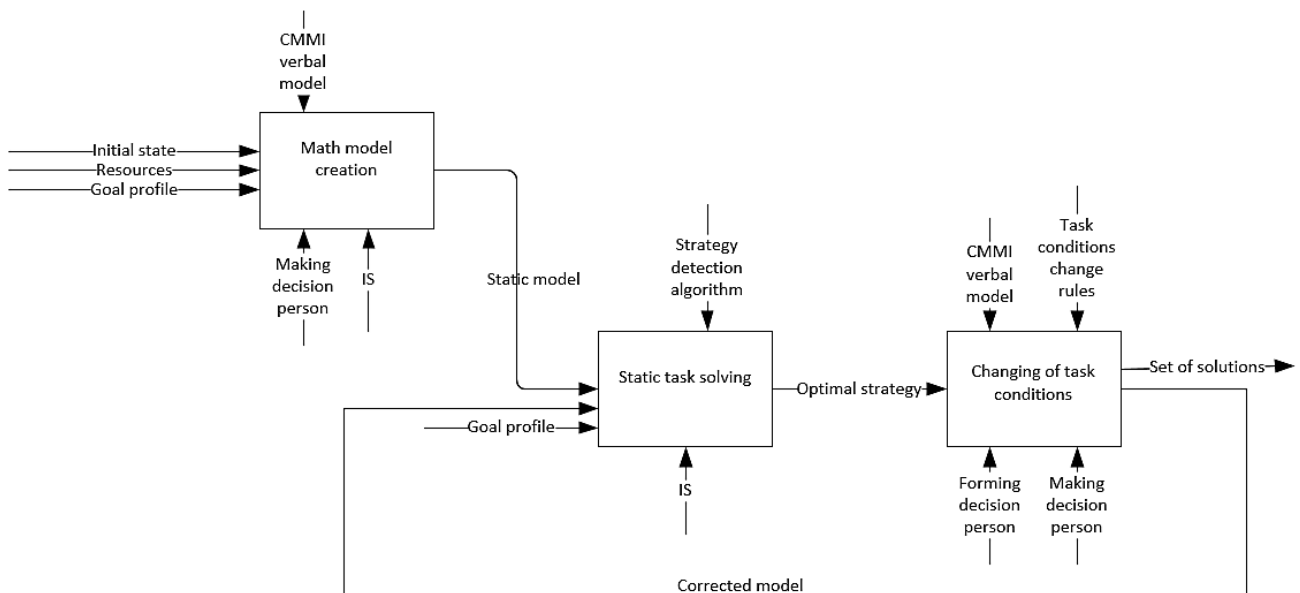


Fig. 2 – The process of forming a set of optimal strategies

1. Convenience of the user interface. The interface should be ergonomic, intuitive and easy to use.

2. The program code should contain comments explaining its structure.

3. The component should be designed in such a way that it would be possible to expand its capabilities without any noticeable effect on the systems that will use it.

4. There must be documentation for the construction of the code.

Deployment diagram is a model of the physical architecture of the system. It reflects the hardware configuration of the information system (fig. 3).

As can be seen from the diagram, the system has a three-tier architecture. The first level is the DBMS (MS

SQL Server), which is required for centralized data storage. There is the web server at the second level (WebServer), which is responsible for the processing and validation of data, as well as for the implementation of the model and algorithm for solving the static problem [6, 7].

There is a client application at the third level (Client), which purpose is to present the data and the results of the task solution to the end user, and also provides an opportunity for the user to enter easily the initial data of the task.

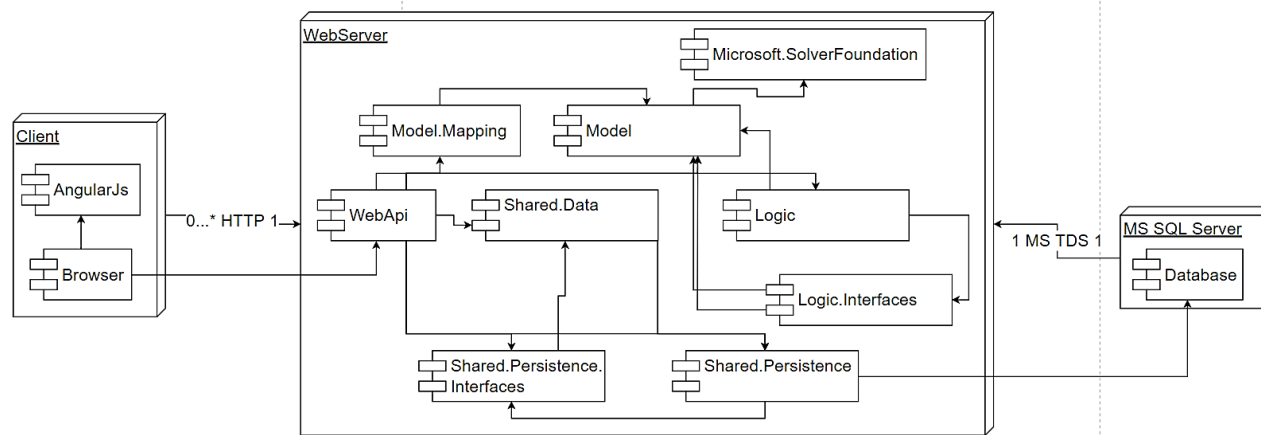


Fig. 3 – Deployment diagram of the programm system components

An example of system work on test data. The test case from IT company N was taken. The data that was obtained during the solution of the dynamic task statement in the first period was considered. The data of the current state of this period is given in table 1, which shows the

practice of focusing areas. The objective is to obtain the results of solving a static problem with different resource constraints.

25 000 USD were allocated for the first period in the dynamic task.

Table 1 – Initial state of the SW DP of company “N”

Maturity level	2				
Category	Project management				
Focus area	SAM – Supplier Agreement Management				
Goals	SAM1		SAM2		
Practices	1		6		
Initial state	0		0		
Goal state	2		2		
Resources	1000 / 2200		1000 / 2200		
Coefficients	0.5		0.5		
Focus area	CM – Configuration Management				
Goals	CM3				
Practices	7				
Initial state	1				
Goal state	2				
Resources	2200				
Coefficients	1				
Focus area	PPQA – Process and Product Quality Assurance				
Goals	PPAQ1		PPQA2		
Practices	2		3	4	
Initial state	2		2	2	
Goal state	3		3	3	
Resources	4300		4300	4300	
Coefficients	0.5		0.3	0.2	
Focus area	MA – Measurement and Analysis				
Goals	MA1		MA2		
Practices	1	2	6	7	8
Initial state	0	0	0	0	0
Goal state	2	2	2	2	2
Resources	1000 / 2200	1000 / 2200	1000 / 2200	1000 / 2200	1000 / 2200
Coefficients	0.25	0.75	0.3	0.3	0.4

Following results were obtained based on the initial data. With a resource limit of up to 25 000 USD, we have the following result, that is shown in fig. 4. Target function is 1.

With a resource limit of up to 20 000 USD, we have the following result, that is shown in fig. 5. Target

function is 0.93.

As can be seen from the results of the program, with various resource constraints, the increase in practice is attributed to those practices that have larger coefficients of importance, and as a result give greater importance to the function of the profile.

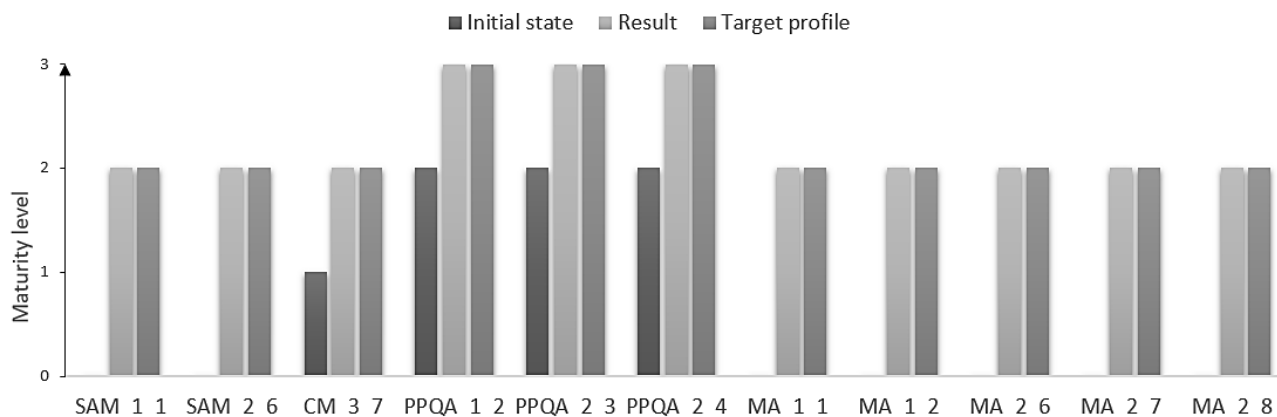


Fig. 4 – Calculation results (restrictions: 25 000 USD)

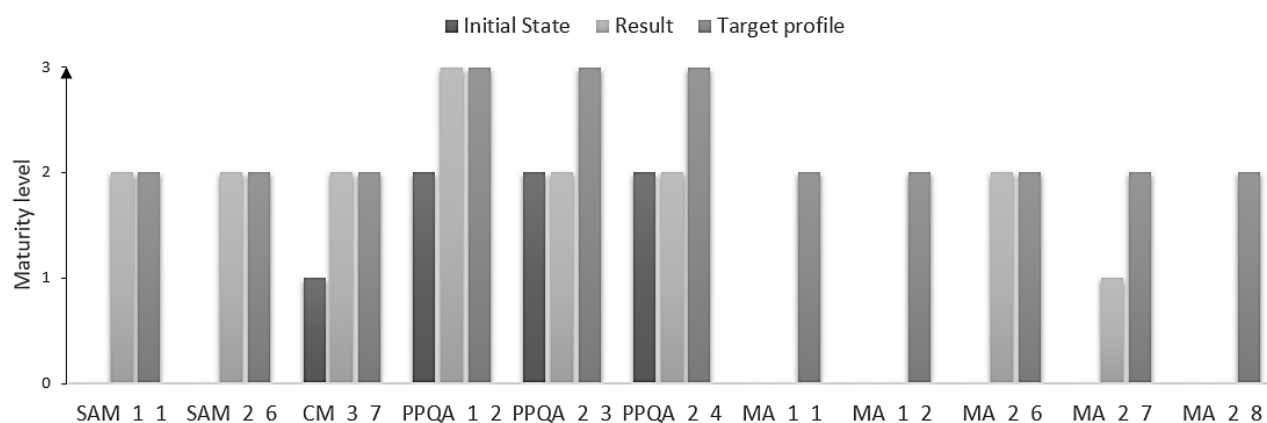


Fig. 5 – Calculation results (restrictions: 20 000 USD)

The obtained results confirm that the information system works correctly, giving the expected result, taking into account the factors of importance and the constraints on resources.

Conclusions. The software component was designed and implemented, which allows to calculate the optimal trajectory of improving the quality of SW DP in the short-term planning period, based on the incoming state, financial constraints, and the factors of the importance of particular practices, focus areas, etc.

Also, information technology has been tested for compliance with the declared functional and non-functional requirements and IT company data.

In the future it is planned to investigate the work of information technology on data volumes, which are close to the actual data conditions of the task data for determining the maximum amount of data on which the information system can find a solution.

Also, in the further development of this topic it is planned to design and develop informational technology, which automates the interaction of the considered

software system with a system that solves the dynamic formulation of the planning task.

References

1. ISO/IEC 12207:2008, Information technology – Software life cycle processes / ISO/IEC 12207:2008, Information technology – Software life cycle processes. International Organization for Standardization. – 2008. – 122 p.
2. Chrissis M. B. CMMI: Guidelines for Process Integration and Product Improvement / M. B. Chrissis, M. Konrad, S. Shrum. – Addison-Wesley. – 2003. – 688 p.
3. Годлевский М. Д. Динамическая модель планирования улучшения качества процесса разработки программного обеспечения / М. Д. Годлевский, Э. Е. Рубин, А. А. Голоскокова // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХПІ» – 2015. – № 58 (1167). – С. 3–6.
4. Годлевский М. Д. Синтез статических моделей планирования улучшения качества процесса разработки программного обеспечения / М. Д. Годлевский, А. А. Голоскокова // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2015. – № 3/2 (75). – С. 23–29.
5. Mutafelija, B. Process improvement with CMMI v1.2 and ISO standards / B. Mutafelija. – Auerbach Pubs. – 2009. – 406 p.

6. Павловская Т. А. С#. Программирование на языке высокого уровня / Т. А. Павловская – СПб. : Питер, 2009 – 432с.
7. Рендольф Н. Microsoft Visual Studio 2010 для профессионалов / Н. Рендольф, Д. Гарднер, М. Минутилло, К. Андерсон. – М. : Дialeктика-Вильямс, 2011. – 1184с.

References (transliterated)

1. ISO/IEC 12207:2008, Information technology – Software life cycle processes / ISO/IEC 12207:2008, Information technology – Software life cycle processes. International Organization for Standardization, 2008, 122 p.
2. Chrissis M. B., Konrad M., Shrum S. CMMI: Guidelines for Process Integration and Product Improvement. Boston, MA, USA, Addison-Wesley Publ, 2003, 688 p.
3. Godlevskiy M. D., Rubin Je. E., Goloskokova A. A Dinamicheskaya model' planirovaniya uluchsheniya kachestva protsessa razrabotki programmnogo obespecheniya [Dynamic planning model of quality improvement of software development process]. Visnyk NTU "KhPI"

- [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]. Kharkov, NTU "KhPI" Publ., 2015, no. 58, pp. 3–6.
4. Godlevskiy M. D., Goloskokova A. A. Sintez staticheskikh modeley planirovaniya uluchsheniya kachestva protsessa razrabotki programmnogo obespecheniya [Static planning models synthesis of quality improvement of software development process]. Shidno-Evropejs'kij zhurnal peredovih tehnologij. Kharkiv, NPP ChP «Tekhnologicheskij Tsentr» Publ., 2015, no. 3/2 (75), pp. 23–29.
5. Mutafelija, B. Process improvement with CMMI v1.2 and ISO standards. Boca Raton, FL, USA, Auerbach Publ., 2009, 406 p.
6. Pavlovskaya T. A. C#. Programmirovaniye na jazyke vysokogo urovnya [C#. High-level language programming]. SPb, Piter Publ., 2009. 432 p.
7. Rendol'f N., Gardner D., Minutillo M., Anderson K. Microsoft Visual Studio 2010 dlya professionalov [Visual Studio 2010 for professionals]. M, Dialektika-Vil'yams Publ., 2011. 1184 p.

Received 22.11.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Інформаційна технологія вирішення статичної задачі покращення якості процесу розробки програмного забезпечення на основі моделі CMMI / М. Д. Годлевський, А. О. Голоскокова, О. С. Білоус // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 55 (1276). – С. 26–30. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2079-0023.

Информационная технология решения статической задачи улучшения качества процесса разработки программного обеспечения на основе модели CMMI / М. Д. Годлевский, А. А. Голоскокова, А. С. Белоус // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 55 (1276). – С. 26–30. – Библиогр.: 7 назв. – ISSN 2079-0023.

Information technology of a static model solving for quality improvement of the software development process based on the CMMI model / М. D. Godlevskiy, A. A. Goloskokova, O. S. Bielous // Bulletin of National Technical University "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No. 55 (1276). – P. 26–30. – Bibliogr.: 7. – 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 «Програмна інженерія та інформаційні технології управління»; тел.: (057) 707-64-74; e-mail: god_asu@kpi.kharkov.ua

Годлевский Михаил Дмитриевич – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», заведующий кафедры «Программная инженерия и информационные технологии управления»; тел.: (057) 707-64-74; e-mail: god_asu@kpi.kharkov.ua

Mykhailo D. Godlevskiy – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Head of the department of "Software Engineering and Management Information Technologies"; tel.: (057) 707-64-74; e-mail: god_asu@kpi.kharkov.ua

Голоскокова Анна Олександрівна – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший викладач кафедри «Програмна інженерія та інформаційні технології управління»; тел.: (057) 707-64-74; e-mail: semit.department.16@gmail.com

Голоскокова Анна Александровна – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», старший преподаватель кафедры «Программная инженерия и информационные технологии управления»; тел.: (057) 707-64-74; e-mail: semit.department.16@gmail.com

Anna A. Goloskokova – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", senior lecturer of the department of "Software Engineering and Management Information Technologies"; tel.: (057) 707-64-74; e-mail: semit.department.16@gmail.com

Белоус Олексій Сергійович – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», студент кафедри «Програмна інженерія та інформаційні технології управління»; тел.: (050) 855-80-92; e-mail: alexey.belous@outlook.com

Белоус Алексей Сергеевич – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», студент кафедры «Программная инженерия и информационные технологии управления»; тел.: (050) 855-80-92; e-mail: alexey.belous@outlook.com

Oleksii S. Bielous – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", student of the department of "Software Engineering and Management Information Technologies"; tel.: (050) 855-80-92; e-mail: alexey.belous@outlook.com

Т. В. НЕСКОРОДЕВА

ПРАВИЛА И СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ МЕТОДИКИ ОБОБЩЕННО-МНОЖЕСТВЕННОГО ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В ПОДСИСТЕМЕ АНАЛИТИЧЕСКОГО УЧЕТА СППР АУДИТА НА ВЕРХНЕМ УРОВНЕ

Визначена інформація аналітичного обліку, яка характеризує стан і результати діяльності підприємства за період перевірки на верхньому рівні. Встановлено взаємозв'язки аналітичного обліку і характеристик підприємства як об'єкта управління. Формалізовані функціональні залежності, що характеризують взаємодію змінних СППР аудиту. Визначено правила і властивості відповідності відображень множин чисельних значень змінних як попередній етап підготовки даних для аудиту. На підставі отриманих результатів сформульована сутність методики узагальнено-множинного відображення інформації в СППР аудиту.

Ключові слова: аналітичний облік, інформаційна технологія, СППР аудиту, методика узагальнено-множинного відображення інформації.

Определена информация аналитического учета характеризующая состояние и результаты деятельности предприятия за период проверки на верхнем уровне. Установлены взаимосвязи аналитического учета и характеристик предприятия как объекта управления. Формализованы функциональные зависимости, характеризующие взаимодействие переменных СППР аудита. Определены правила и свойства соответствия отображений множеств численных значений переменных как предварительный этап подготовки данных для аудита. На основании полученных результатов сформулирована сущность методики обобщенно-множественного отображения информации в СППР аудита.

Ключевые слова: аналитический учет, информационная технология, СППР аудита, методика обобщенно-множественного отображения информации.

The information of the analytical account which characterizing a state and enterprise activity results for the check period on the top level is defined. The relationship between the analytical accounting and the characteristics of the enterprise as an object of management is established. Functional dependencies which characterizing the interaction of the DSS audit variables are formalized. The rules and properties of sets mappings correspondence of numerical values of variables are defined as a preliminary stage of data preparation for audit. Based on the obtained results, the essence of the generalized-multiple information mapping technique in the DSS of the audit is formulated. The application of this technique will allow: to reduce the volume of analyzed multidimensional data or actual verification at lower levels by allocating equivalent subsets at the upper levels; use the results of a polyalternative analysis on a set of characteristics of data sets for preparing decision-making with polyalternative criteria for assessing the equivalence of sets in IT multi-level DSS audit; determine the reason for the lack of data equivalence, through the definition of functional relationships, the implementation of which does not correspond to the properties of mappings.

Keywords: analytical accounting, information technology, DSS of audit, methodology of generalized-multiple mapping of information.

Введение. В настоящее время актуальной научно-технической проблемой информационных технологий финансово-экономической сферы является автоматизация анализа больших объемов данных финансово-экономической информации предприятий [1] хранящихся и поступающих в режиме онлайн в базы данных локальных и глобальных компьютерных систем с целью формирования рекомендаций принятия решений при аудите.

Существующие на сегодняшний день ИТ аудита позволяют автоматизировать только отдельные процедуры анализа или провести аналитические процедуры в специальных случаях [2, 3]. Группа методов обнаружения мошенничества, основанная на применении моделей нейронных (вероятностных) сетей, логистических регрессий, деревьях решений, представлена в работах [4–6]. Т. е. существует проблема полноты, универсальности и комплексности ИТ анализа. Также существующие ИТ характеризуются следующими проблемами: автоматизации взаимосвязанного (по множествам и задачам) анализа, обратной связи о его результативности и эффективности, оптимизации анализа в соответствии с целями и ограничениями, заданными ЛПР, а также диалога с ЛПР на языке предметной области на этапах задания задачи и интерпретации результатов анализа.

Предприятие, как объект аудита, характеризуется глобальной многоуровневой иерархичной структурой разнородных, многофакторных, многофункциональных связей, взаимозависимостей и взаимодействий

его подсистем, с ИТ контроля, учета, управления, ведения бизнеса, с другими системами в структуре национальной экономики. Современная методология прикладного системного анализа не соответствует данным требованиям [7]. Следовательно, существует проблема разработки методологических основ проектирования ИТ аудита.

Применение современных систем учета и управления, на предприятии которые интегрированы в глобальные, многоуровневые системы информационных компьютерных сетей дает потенциальные возможности обработки больших объемов данных, которые используются не в полной мере [7]. В [8] представлена архитектура подсистем внешнего и внутреннего аудита системы Audit 4.0, внедрение и функционирование которых сталкивается с проблемой обработки больших объемов данных. Также на сегодняшний день в практических и научных источниках, изучающих проблемы и перспективы развития аудита рассматривается возможность принятия законодательных актов, которые позволят использовать аналитические доказательства (в частности противоречивости данных) полученные при анализе больших объемов данных в качестве обоснования судебных решений без документального исследования первичных документов [9].

В работе [10] представлена методика обобщенно-множественного отображения информации в подсистеме экспресс-аудита на верхнем уровне. Показатели, которые анализируются на верхнем

уровне определяются на основании значений показателей среднего уровня, которые в свою очередь определяются на основании показателей нижнего уровня. В случае выявления неэквивалентных подмножеств данных синтетического учета система переключается (через ЛПП) на подсистему аналитического учета. Также ЛПП может самостоятельно определить множества анализа аналитического учета. В подсистеме рассматривается 3 уровня формирования данных: верхний, средний, нижний, которые соответствуют движению информации о формировании расходов и доходов. На верхнем уровне детализируется информация синтетического учета по следующим элементам: подвидам операций и подвидам хозяйственных средств и источников верхнего уровня, по единицам измерения (в денежных и натуральных единицах).

Цель статьи: создание методики применения специального математического и информационного обеспечения подсистемы аналитического учета СППР аудита верхнего уровня, как одна из подзадач проектирования СППР аудита. Для достижения данной цели согласно правилам системного анализа предприятия как объекта управления необходимо определить составные части методики проектирования подсистемы экспресс аудита. Для этого необходимо решить следующие задачи:

- определить информацию аналитического учета характеризующую состояние и результаты деятельности предприятия за период проверки на верхнем уровне.
- установить взаимосвязи аналитического учета и характеристик предприятия как объекта управления.
- выполнить классификацию переменных, характеризующих состояние и результаты деятельности как объекта управления.
- формализовать функциональные зависимости, характеризующие взаимодействие переменных СППР аудита.
- определить правила обобщенно-множественного отображения множеств численных значений переменных.
- определить свойства соответствия отображений множеств численных значений переменных как предварительный этап подготовки данных для аудита.

На втором этапе разработки специального математического обеспечения подсистемы аналитического учета на верхнем уровне СППР аудита необходимо определить данные аналитического учета характеризующую состояние и результаты деятельности предприятия за период проверки.

1. Информация аналитического учета характеризующая состояние и результаты деятельности предприятия за период проверки. На верхнем уровне аудита аналитического учета рассматривается деятельность предприятия за период проверки T и состояние на момент времени $t_0 + T$,

которые детализируют данные аналитического учета по элементам, указанным выше:

$$Q^a(T) = \left\{ \bigcup_{l_s=1}^{L_s} (\bar{C}_{l_s}(t_0 + T), \overline{Ob}_{l_s}^d(T), \overline{Ob}_{l_s}^k(T)), \bigcup_{l_s=1}^{L_s} \bigcup_{l_e=1}^{L_e} \bar{S}_{l_s}^{l_e}(T), \bigcup_{l_s=1}^{L_s} \bigcup_{l_g=1}^{L_g} \bar{S}_{l_s}^{l_g}(T), s \in M, (l_s, l_e) \wedge (l_g, l_s) \in G^a \right\}, \quad (1)$$

$$\bar{C}_{l_s} = (C_{l_s}, V_{l_s}), \quad \overline{Ob}_{l_s}^d = (Ob_{l_s}^d, V_{l_s}^d), \quad \overline{Ob}_{l_s}^k = (Ob_{l_s}^k, V_{l_s}^k), \\ \bar{S}_{l_s}^{l_e} = (S_{l_s}^{l_e}, V_{l_s}^{l_e}), \quad \bar{S}_{l_g}^{l_s} = (S_{l_g}^{l_s}, V_{l_g}^{l_s}),$$

где Q^a – множество показателей аналитического учета на верхнем уровне,

t_0 и T – начало периода и период учета соответственно,

l и L – номер и количество субсчетов,

s, e, g – номера счетов,

M – множество счетов, применяемых в учете,

C – остаток на счету на момент времени,

V – объем в натуральных единицах,

d и k – дебет и кредит счета соответственно,

$Ob_{l_s}^d$ и $Ob_{l_s}^k$ – обороты за период по дебету и кредиту субсчета l_s соответственно,

(l_s, l_e) и (l_g, l_s) – корреспонденция операций по

дебету и кредиту субсчета l_s соответственно,

$S_{l_s}^{l_e}$ и $S_{l_g}^{l_s}$ – суммы частичных оборотов за период с корреспонденцией (l_s, l_e) и (l_g, l_s) по дебету и кредиту субсчета l_s соответственно,

G^a – граф корреспонденций подвидов операций деятельности предприятия.

Согласно правилам системного анализа экономико-производственной деятельности необходимо определить взаимосвязи показателей аналитического учета множества (1), характеризующих особенности предприятия как объекта управления. Для этого необходимо выполнить их классификацию. При этом надо учесть, что как объект управления предприятие характеризуется:

- состоянием на момент времени;
- переменными, характеризующими деятельность предприятия.

Как предварительный этап классификации переменных, определим взаимосвязи показателей аналитического учета с данными характеристиками.

2. Взаимосвязь данных аналитического учета с характеристиками предприятия как объекта управления. Согласно законодательным нормам Плана счетов и Методических рекомендаций по его применению соответствие между переменными аналитического учета (1) и характеристиками предприятия, как объекта управления определяется следующим образом (табл. 1).

На верхнем уровне в подсистеме аналитического учета рассматриваются следующие переменные, характеризующие состояние предприятия:

Номер счета s – код хозяйственного средства предприятия A или источника хозяйственных средств Π , которым владеет предприятие.

Номер субсчета l_s – код подвида хозяйственного средства предприятия A или источника хозяйственных средств Π , которым владеет предприятие.

L_s – количество подвидов хозяйственного средства или источника хозяйственных средств E_{l_s} , которым владеет предприятие.

Остатки C_{l_s} и V_{l_s} на субсчете – оценки остатков подвидов хозяйственных средств предприятия или их

источников E_{l_s} в денежных и натуральных единицах на момент времени соответственно.

Экономический смысл переменных аналитического учета и их взаимосвязи приведены в таблице.

На верхнем уровне в подсистеме аналитического учета рассматриваются следующие переменные, характеризующие деятельность предприятия.

Обороты $Об_{l_s}^d$ и $Об_{l_s}^k$ за период по дебету и кредиту субсчета l_s соответственно – оценки в денежных единицах преобразования подвида хозяйственного средства или источника E_{l_s} в направлении увеличения и уменьшения соответственно.

Таблица 1 - Взаимосвязи переменных аналитического учета с характеристиками предприятия как объекта управления

Обозначение	Переменная аналитического учета	Характеристика предприятия	Формализация взаимосвязи
s и l_s	Номер счета и субсчета соответственно	Вид и подвид хозяйственного средства A или источника хозяйственных средств Π	$E_{l_s} = \begin{cases} A_{l_s}, s - \text{активный счет,} \\ \Pi_{l_s}, s - \text{пассивный счет} \end{cases}$
L_s	Множество субсчетов счета s , применяемых в учете	Множество подвидов хозяйственного средства или источника хозяйственных средств E_{l_s} , которым владеет предприятие	$E_s = \bigcup_{l_s=1}^{L_s} E_{l_s}$
C_{l_s} V_{l_s}	Остаток субсчета l_s в денежных и натуральных единицах соответственно	Количество подвида хозяйственного средства или источника хозяйственных средств E_{l_s} в денежных и натуральных единицах на момент времени соответственно	$C_{l_s} = m(E_{l_s}),$ $V_{l_s} = v(E_{l_s})$
(l_s, l_e) (l_g, l_s)	Корреспонденция операции по дебету субсчета l_s Корреспонденция операции по кредиту субсчета l_s	Определяет подвид операции, которая приводит к преобразованию подвидов хозяйственных средств или источников предприятия E_{l_s} и E_{l_e} в направлении увеличения хозяйственного средства предприятия E_{l_s} или уменьшения источника хозяйственных средств E_{l_s}	$on_{l_s}^{l_e} = on(E_{l_s}^{\pm}, E_{l_e}^{\mp}), E_{l_s} \in \bigcup E_s,$ $E_{l_e} \in \bigcup E_e,$ $on_{l_g}^{l_s} = on(E_{l_g}^{\pm}, E_{l_s}^{\mp}), E_{l_g} \in \bigcup E_s,$ $E_{l_s} \in \bigcup E_g$
$S_{l_s}^{l_e}$ $(S_{l_s}^{l_g})$	Сумма частичных оборотов по дебету субсчета l_s с корреспонденцией (l_s, l_e) (по кредиту субсчета l_s с корреспонденцией (l_g, l_s))	Оценка в денежном измерении множеств операций $On_{l_s}^{l_e}$ с корреспонденцией (l_s, l_e) ($On_{l_s}^{l_g}$ с корреспонденцией (l_g, l_s))	$S_{l_s}^{l_e} = \mu(On_{l_s}^{l_e})$ $(S_{l_s}^{l_g} = \mu(On_{l_s}^{l_g}))$
$Об_{l_s}^d$ $(Об_{l_s}^k)$	Обороты по дебету субсчета l_s (обороты по кредиту субсчета l_s)	Оценки в денежных единицах преобразования подвида хозяйственного средства или источника E_{l_s} в направлении увеличения (уменьшения)	$Об_{l_s}^d = \mu(On(E_{l_s}^+)),$ $(Об_{l_s}^k = \mu(On(E_{l_s}^-)))$

Корреспонденция операции (l_s, l_e) по дебету субсчета l_s определяет подвид операции, которая приводит к преобразованию подвидов хозяйственных средств или источников предприятия E_{l_s} и E_{l_e} в направлении увеличения хозяйственного средства предприятия E_{l_s} или уменьшения источника хозяйственных средств E_{l_s} .

Суммы частичных оборотов $S_{l_s}^{l_e}$ и $S_{l_s}^{l_g}$ по дебету и кредиту субсчета l_s соответственно – оценки в денежном измерении множеств операций с корреспонденцией (l_s, l_e) и (l_g, l_s) соответственно.

Граф корреспонденции операций G^a – множество подвидов операций, которые осуществляет предприятие.

Взаимосвязи переменных аналитического учета с характеристиками предприятия как объекта управления (табл. 1) определяют их свойства и взаимосвязи и являются основанием для классификации переменных.

Для классификации переменных деятельности, согласно правилам системного анализа нужно определить взаимодействие множеств, характеризующих деятельность предприятия на верхнем уровне и структуру их взаимного соотношения, определенную согласно Положениям (стандартам) бухгалтерского учета (П(с)БУ). Согласно этому, структуру взаимного соотношения и взаимодействия множеств операций по дебету субсчетов l_s согласно правилам аналитического учета можно представить в виде непересекающихся подмножеств операций, корреспондирующих с кредитом субсчетов l_e :

$$\text{Оп}(E_{l_s}^+) = \bigcup_{l_e=1}^{L_e} \text{Оп}_{l_s}^{l_e}, \quad \text{Оп}_{l_s}^{l_e} \cap \text{Оп}_{l_s}^{l_g} = \emptyset, \quad l_s = \overline{1, L_s} \quad (2)$$

где Оп – множество операций,

(l_s, l_e) – корреспонденция операций по дебету субсчета l_s .

Структуру соотношения и взаимодействия множеств операций деятельности предприятия по кредиту субсчетов l_s согласно правилам аналитического учета можно представить в виде непересекающихся подмножеств операций, корреспондирующих с дебетом субсчетов l_e :

$$\text{Оп}(E_{l_s}^-) = \bigcup_{l_g=1}^{L_g} \text{Оп}_{l_s}^{l_g}, \quad \text{Оп}_{l_s}^{l_g} \cap \text{Оп}_{l_s}^{l_e} = \emptyset, \quad l_s = \overline{1, L_s}, \quad (3)$$

где Оп – множество операций,

(l_g, l_s) – корреспонденция операций по кредиту субсчета l_s .

Детализированную (по отношению к синтетическому учету на верхнем уровне, [10])

структуру взаимного соотношения и взаимодействия множества операций расходов деятельности предприятия можно представить в виде непересекающихся подмножеств по подвидам операций расходов и доходов с соответствующей корреспонденцией:

$$\text{Оп}_{vid}^p = \bigcup_{(l_s, l_e) \wedge (l_s, l_g) \in G_{p(vid)}^a} \bigcup_{l_s=1}^{L_s} \bigcup_{l_e=1}^{L_e} \text{Оп}_{l_s}^{l_e} \bigcup_{l_g=1}^{L_g} \text{Оп}_{l_g}^{l_s}, \quad vid \in Vid, \quad (4)$$

$$\text{Оп}_{vid}^n = \bigcup_{(l_s, l_g) \wedge (l_s, l_e) \in G_{n(vid)}^a} \bigcup_{l_s=1}^{L_s} \bigcup_{l_g=1}^{L_g} \text{Оп}_{l_s}^{l_g} \bigcup_{l_e=1}^{L_e} \text{Оп}_{l_g}^{l_s}, \quad vid \in Vid, \quad (5)$$

где Оп – множество операций,

vid и Vid – вид и множество видов деятельности предприятия,

(l_s, l_e) и (l_g, l_s) – корреспонденция операций по дебету и кредиту субсчета l_s соответственно,

$G_{p(vid)}^a$ – граф корреспонденции подвидов операций расходов,

$G_{n(vid)}^a$ – граф корреспонденции подвидов операций доходов.

Согласно определенной структуре (2)–(5) взаимного соотношения и взаимодействия множеств характеризующих деятельность предприятия на верхнем уровне аналитического учета, выполним классификацию переменных экономико-производственной деятельности предприятия.

3. Классификация переменных экономико-производственной деятельности предприятия. В соответствии с правилами формирования переменных на верхнем уровне (табл. 1), определённой структуре взаимодействия операций (2)–(5) и согласно того, что цель управления деятельностью предприятия – получение прибыли (все подвиды операций расходов

Оп_{vid}^p по каждому виду деятельности осуществляются только с целью получения доходов по соответствующему виду деятельности Оп_{vid}^n) выполним классификацию переменных аналитического учета. На основании вышесказанного, определяем, что переменные сумм частичных оборотов в натуральных и денежных единицах по подвидам операций расходов каждого вида деятельности на верхнем уровне (при аналитическом учете) образуют совокупность входных переменных $\bar{X}_{vid}^a$, переменные сумм частичных оборотов в натуральных и денежных единицах по подвидам операций доходов – совокупность выходных переменных соответствующего вида деятельности $\bar{Y}_{vid}^a$:

$$\bar{X}_{vid}^a = (\bar{S}_{l_s}^{l_e}, \bar{S}_{l_g}^{l_s}, (l_s, l_e) \wedge (l_g, l_s) \in G_{X_{vid}}^a) \quad (6)$$

$$\bar{Y}_{vid}^a = (\bar{S}_{l_s}^{l_e}, \bar{S}_{l_g}^{l_s}, (l_s, l_e) \wedge (l_g, l_s) \in G_{Y_{vid}}^a) \quad (7)$$

$$\bar{S}_{l_s}^{l_e} = (S_{l_s}^{l_e}, V_{l_s}^{l_e}), \quad \bar{S}_{l_g}^{l_s} = (S_{l_g}^{l_s}, V_{l_g}^{l_s}),$$

где $\bar{X}$ – вектор входных переменных деятельности предприятия,

$\bar{Y}$ – вектор выходных переменных деятельности предприятия,

S – сумма операций за период,

s, e, g – номера счетов,

(l_s, l_e) и (l_g, l_s) – корреспонденция операций по дебету и кредиту субсчета l_s соответственно,

G_X – граф корреспонденции подвидов операций расходов,

G_Y – граф корреспонденции подвидов операций доходов.

Осуществление деятельности предприятия по видам множества Vid осуществляется за счет преобразования подвидов хозяйственных средств предприятия и их источников E_{l_s} ($l_s \in \{1, L_s\}$), поэтому переменные видов деятельности являются входными для системы управления хозяйственными средствами и их источниками, а выходные переменные – объемы их преобразования в направлении увеличения и уменьшения (обороты по дебету и кредиту) и остатки (сальдо):

$$\bar{X}_{l_s}^d = (\bar{S}_{l_s}^{l_e}, (l_s, l_e) \in G_{X_{vid}}^a \vee G_{Y_{vid}}^a, vid \in Vid),$$

$$\bar{Y}_{l_s}^d = (Ob_{l_s}^d)_{l_s \in \{1, L_s\}}, \quad (8)$$

$$\bar{X}_s^k = (\bar{S}_s^{l_g}, (l_g, l_s) \in G_{X_{vid}}^a \vee G_{Y_{vid}}^a, vid \in Vid),$$

$$\bar{Y}_s^k = (Ob_s^k)_{l_s \in \{1, L_s\}}, \quad (9)$$

$$\bar{X}_{E_{l_s}} = (\bar{Ob}_{l_s}^d, \bar{Ob}_{l_s}^k), \bar{Y}_{E_{l_s}} = (\bar{C}_{l_s})_{l_s \in \{1, L_s\}}, \quad (10)$$

где $\bar{X}_{l_s}^d$ и $\bar{X}_s^k$ – вектора входных переменных преобразования подвида хозяйственного средства предприятия или источника E_{l_s} в направлении увеличения или уменьшения соответственно,

$\bar{Y}_{l_s}^d$ и $\bar{Y}_s^k$ – вектора выходных переменных преобразования подвида хозяйственного средства предприятия или источника E_{l_s} в направлении увеличения или уменьшения соответственно,

$\bar{X}_{E_{l_s}}$ и $\bar{Y}_{E_{l_s}}$ – вектора входных и выходных переменных состояния подвида хозяйственного средства предприятия или источника E_{l_s} ,

S – сумма операций,

s, e, g – номера счетов,

M – множество счетов, применяемых в учете,

(l_s, l_e) и (l_g, l_s) – корреспонденция операций по дебету и кредиту субсчета l_s соответственно,

G_X – граф корреспонденции подвидов операций расходов,

G_Y – граф корреспонденции подвидов операций доходов,

vid и Vid – вид и множество видов деятельности предприятия,

C – остаток на счету,

$Ob_{l_s}^d$ и $Ob_{l_s}^k$ – обороты по дебету и кредиту субсчета l_s соответственно.

Так как согласно правилам П(с)БУ на основании значений переменных аналитического учета (6)–(10) определяются значения переменных синтетического учета на верхнем уровне [10], то реализация взаимосвязей между ними зависит от реализации взаимосвязей между переменными аналитического учета (6)–(10), которые необходимо исследовать для создания специального математического обеспечения СППР аудита верхнего уровня.

4. Определение функциональных зависимостей характеризующих взаимодействие переменных аналитического учета СППР аудита. Между входными и выходными переменными подсистемы аналитического учета по видам деятельности, определенными в (6)–(10) существуют множества взаимосвязей, которые характеризуют особенности деятельности (преобразование расходов в доходы), правила и нормативы учетной политики предприятия на верхнем уровне аналитического учета $\bar{N}^a$:

$$\Phi_{vid}^a(\bar{X}_{vid}^a, \bar{Y}_{vid}^a, \bar{N}_{vid}^a) \quad vid \in Vid, \quad (11)$$

где $\bar{X}$ – вектор входных переменных деятельности предприятия,

$\bar{Y}$ – вектор выходных переменных деятельности предприятия,

$\bar{N}$ – вектор нормативных данных деятельности предприятия,

vid и Vid – вид и множество видов деятельности предприятия,

a – индекс верхнего уровня,

Φ – множество взаимосвязей.

Далее, учитывая, структуру множеств операций (2)–(5), множество корреспонденций всех операций представим в виде объединения непересекающихся множеств операций по видам деятельности, расходов и доходов. Следовательно, взаимосвязи между графами корреспонденции операций данных множеств можно представить следующим образом:

$$G^a = \bigcup_{vid \in Vid} G_{X_{vid}}^a \cup G_{Y_{vid}}^a, \quad (12)$$

где G^a – граф корреспонденции подвидов операций предприятия,

G_X^a – граф корреспонденции подвидов операций расходов,

G_Y^a – граф корреспонденции подвидов операций доходов,

vid и Vid – вид и множество видов деятельности предприятия.

Между переменными управления хозяйственными средствами и источниками, существуют множества взаимосвязей, которые характеризуют их преобразование в результате деятельности:

$$\overline{Ob}_{l_s}^k = \overline{\Phi}_{l_s}^k \left(\overline{S}_{l_g}^{l_s}, (l_g, l_s) \in G^a \right), s \in M, l_s \in \{1, L_s\} \quad (13)$$

$$\overline{Ob}_{l_s}^d = \overline{\Phi}_{l_s}^d \left(\overline{S}_{l_s}^{l_e}, (l_s, l_e) \in G \right), s \in M, l_s \in \{1, L_s\} \quad (14)$$

$$\overline{C}_{l_s} = \overline{\Phi}_{l_s}^c \left(\overline{Ob}_{l_s}^d, \overline{Ob}_{l_s}^k \right), s \in M, l_s \in \{1, L_s\}. \quad (15)$$

где $\overline{\Phi}$ – вектор-функция.

Взаимосвязи (13)–(15) согласно П(с)БУ определены в явном виде и их реализация за период проверки может быть проверена в автоматическом режиме (например, путем тестирования системы учета).

Взаимосвязи между переменными деятельности (6), (7) являются композицией взаимосвязей переменных нижних уровней и между уровнями. Так как размерность, объемы данных и взаимосвязей на нижнем уровне резко возрастают, то их непосредственная проверка требует значительных вычислительных ресурсов. Для создания методики применения специального математического обеспечения их проверки необходимо рассмотреть правила формирования отображений их численных значений.

5. Правила обобщенно-множественного отображения данных аналитического учета предприятия на верхнем уровне. Множества функциональных взаимосвязей между входными и выходными переменными деятельности, определенные в (11) порождают отображение подмножеств данных аналитического учета входных переменных (6) в подмножества данных выходных переменных (7) за период T :

$$\overline{X}_{\mathcal{A}}^a(T) \xrightarrow{f_{\mathcal{A}}^a} \overline{Y}_{\mathcal{A}}^a(T), \quad (16)$$

где $\overline{X}_{\mathcal{A}}^a(T)$ – подмножество значений входных переменных аналитического учета,

$\overline{Y}_{\mathcal{A}}^a(T)$ – подмножество значений выходных переменных аналитического учета,

$f_{\mathcal{A}}^a$ – отображение подмножества значений входных переменных за период T в подмножества значений выходных переменных аналитического учета деятельности.

Правила и параметры отображений $f_{\mathcal{A}}^a$ определяются свойствами и параметрами функциональных взаимосвязей (11) между соответствующими переменными. Для их проверки необходимо определить их свойства.

6. Свойства отображений множеств численных значений переменных аналитического учета как предварительный этап подготовки данных для аудита. Рекомендуемые решения в

системе аудита планируется формировать на основании сопоставления фактических свойств отображений обобщенных характеристик множеств данных и нормативных (которые соответствуют нормативным взаимосвязям). Рассматриваемые характеристики множеств данных зависят от взаимосвязей переменных с характеристиками предприятия (табл. 1). Так при отображении (16) множества данных характеризуют множества операций расходов и доходов:

$$\overline{X}^a(T) = \left(\overline{\mu}(\text{Op}_{l_s}^{l_e}(T)), \overline{\mu}(\text{Op}_{l_g}^{l_s}(T)), (l_s, l_e) \wedge (l_g, l_s) \in G_X^a \right), \quad (17)$$

$$\overline{Y}^a(T) = \left(\overline{\mu}(\text{Op}_{l_s}^{l_e}(T)), \overline{\mu}(\text{Op}_{l_g}^{l_s}(T)), (l_s, l_e) \wedge (l_g, l_s) \in G_Y^a \right), \quad (18)$$

где $\overline{\mu}$ – оценка множеств операций в денежных и натуральных единицах.

На основании теории множеств рассмотрим следующие виды характеристик множеств данных подвидов операций, определенных в (17) и (18), соответствие между оценками, которых необходимо проверить, и определим их экономико-производственный смысл:

- 1) мощность – свойство множеств данных верхнего уровня аналитического учета, которое характеризуют разнообразие (количество подвидов операций, запасов, поставщиков, покупателей и т.д.) и масштаб деятельности предприятия: количество операций по подвидам, количество хозяйственных средств и источников по подвидам; размерность – свойство множеств, которое определяет количество характеристик деятельности предприятия: операций, хозяйственных средств и источников по подвидам – множество характеристик χ^1 ;
- 2) замкнутость, открытость, предельные точки – свойства множеств данных верхнего уровня аналитического учета, которые характеризуют экономико-производственную деятельность предприятия с точки зрения достижения предельных значений по за период отчетности по подвидам операций – множество закономерностей χ^2 ;
- 3) плотность, изолированные, точки сгущения – свойства структуры множеств данных верхнего уровня учета, которые характеризуют непрерывность и равномерность экономико-производственной деятельности предприятия, например, по времени, или другим показателям множеств подвидов операций или их комбинациям – множество закономерностей χ^3 ;
- 4) взаимосвязи элементов множеств – свойства множеств данных верхнего уровня аналитического учета, которые характеризуют особенности осуществления множеств и подмножеств подвидов операций – множество закономерностей χ^4 .

В следствие отображения (16) и соотношений (17) и (18), существует отображение характеристик соответствующих множеств данных:

$$\begin{aligned} & \bar{\chi}(\text{Оп}_{l_s}^{l_e}(T), \text{Оп}_{l_g}^{l_s}(T), (l_s, l_e) \wedge (l_g, l_s) \in G_X^a) \longrightarrow \\ & \longrightarrow \bar{\chi}(\text{Оп}_{l_s}^{l_e}(T), \text{Оп}_{l_g}^{l_s}(T), (l_s, l_e) \wedge (l_g, l_s) \in G_Y^a) \end{aligned} \quad (19)$$

где $\bar{\chi}$ – набор характеристик множеств данных под-видов операций.

Вектор характеристик, определенный в (19) имеет следующую структуру:

$$\bar{\chi} = (\chi^1, \chi^2, \chi^3, \chi^4), \quad (20)$$

где χ^k , $k = \overline{1,4}$ характеристики множества, определенные выше.

Сущность методики обобщенно-множественного отображения информации заключается в следующем. На основании правил отображения множеств определяются взаимно-однозначные соответствия их обобщенных характеристик. На основании проверки реализации взаимно-однозначного соответствия обобщенных характеристик $\bar{\chi}$ выделяются эквивалентные подмножества. Подмножества, между которыми нет взаимно-однозначного соответствия обобщенных характеристик $\bar{\chi}$ определяются как не эквивалентные и поступают в подсистему аналитического среднего уровня (или первичного) учета для углубленного анализа. Также делаются выводы по соответствию отображений функциональным взаимосвязям, а на их основании выводы о реализации данных взаимосвязей.

Возможности и преимущества данной методики. Применение данной методики позволит:

- уменьшить объем анализируемых многомерных данных или фактической проверки на нижних уровнях за счет выделения эквивалентных подмножеств на верхних уровнях;
- использовать результаты полиальтернативного анализа по набору характеристик множеств данных для подготовки принятия решений с полиальтернативными критериями оценивания эквивалентности множеств в ИТ многоуровневой СППР аудита;
- определять причину неэквивалентности данных, за счет определения функциональных взаимосвязей, реализация которых не соответствует свойствам отображений.

Выводы. Представленные результаты являются составляющими методики применения специального математического и информационного обеспечения при проектировании подсистемы аудита верхнего уровня аналитического учета СППР аудита.

Дальнейшие исследования предполагают формирование методики создания специального математического и информационного обеспечения при проектировании подсистем углубленного аудита на среднем и нижнем уровне и взаимосвязей между ними.

Список литературы

1. Xinli Hu. Effectiveness of information technology in reducing corruption in China / Xinli, Hu // Electronic Library, 2015 – Vol. 33. – Issue 1. – P. 52–64.
2. Андренко Е. А. Методика атрибутивного выборочного исследования в аудите / Е. А. Андренко, С. М. Мордовцев // Бизнес Информ, 2013. – № 2. – С. 200–203.
3. Ивахненко С. В. Информационные технологии аудита и внутрихозяйственного контроля в контексте мировой интеграции: монография / С. В. Ивахненко – Житомир: ЧП «Рута», 2010. – 432 с.
4. Jarrod West. Intelligent Financial Fraud Detection Practices: a comprehensive review / West Jarrod, M Bhattacharya and R Islam // Computers & Security, 2016. – Vol. 57. – P. 47–66.
5. Chi-Chen Lin. Detecting the financial statement fraud: The analysis of the differences between data mining techniques and experts' judgments / Lin Chi-Chen, Chiu An-An, Yan Huang Shaio, C. Yen. David // Knowledge-Based Systems, 2015. – № 89. – P. 459–470.
6. Mohiuddin Ahmeda. A survey of anomaly detection techniques in financial domain / A Mohiuddin, N Mahmooda Abdun, Md Rafiqul Islam // Future Generation Computer Systems, 2016. – № 55. – P. 278–288.
7. Згуровський М. З. «Системний аналіз: Методологія. Проблеми. Приложения». Монографія 2-е видання, перероблене та доповнене / М. З. Згуровський, Н. Д. Панкратова – Київ, вид-во «Наукова думка», 2016. – 726 с.
8. Dai J, Vasarhelyi M. A. Imagineering Audit 4.0 / J. Dai, M. A. Vasarhelyi. // Journal of Emerging Technologies in Accounting, 2016 – № 13 (1). – P. 1–15.
9. Kirkos E. Data mining techniques for the detection of fraudulent financial statement / E. Kirkos, C. Spathis, Y. Manolopoulos // Expert Syst. Appl., 2007 – Vol. 32 Issue 4. – P. 995–1003.9.
10. Нескорородева, Т. В. Правила и составные части методики обобщенно-множественного отображения информации в подсистеме экспресс-анализа СППР аудита / Т. В. Нескорородева // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 51 (1272). – С. 58–64.

References (transliterated)

1. Xinli Hu. Effectiveness of information technology in reducing corruption in Chin. *Electronic Library*. 2015. vol. 33, issue 1, pp. 52–64.
2. Andrenko E. A. Mordovtsev S. M. *Metodika atributivnogo vyborochnogo issledovaniya v audite* [Methods of attributive sampling research in audit]. *Biznes Inform*. 2013, no. 2, pp. 200–203.
3. Ivakhnenkov S. V. *Informatsionnye tekhnologii audita i vnutrikhozyaystvennogo kontrolya v kontekste mirovoy integratsii : monografiya* [Information technology of the audit and internal control in the context of world integration : monograph]. Zhitomir. ChP "Ruta" Publ., 2010. 432 p.
4. Jarrod West, Bhattacharya M., Islam R. Intelligent Financial Fraud Detection Practices: a comprehensive review. *Computers & Security*. 2016. vol. 57, pp. 47–66.
5. Chi-Chen Lin, Chiu An-An, Shaio Yan Huang, David C. Yen. Detecting the financial statement fraud: The analysis of the differences between data mining techniques and experts' judgments. *Knowledge-Based Systems*. 2015, no. 89, pp. 459–470.
6. Mohiuddin Ahmeda. Mahmooda Abdun N, Rafiqul Islam Md. A survey of anomaly detection techniques in financial domain. // *Future Generation Computer Systems*. 2016, № 55, pp. 278–288.
7. Zhurov'skyy M. Z., Pankratova N. D. *Sistemnyy analiz: Metodolohiya. Problemy. Prylozhenyya. Monohrafiya 2-e vydannya, pereroblene ta dopovnene* [System Analysis: Methodology. Problems Applications. Monograph 2nd edition, revised and supplemented] Kyiv, Naukova dumka Publ., 2016. 726 p.
8. Dai J, Vasarhelyi M. A. Imagineering Audit 4.0 / J. Dai, M. A. Vasarhelyi. // *Journal of Emerging Technologies in Accounting*. 2016 – № 13(1), pp. 1–15.
9. Kirkos E. Data mining techniques for the detection of fraudulent financial statement / E. Kirkos, C. Spathis, Y. Manolopoulos // *Expert Syst. Appl.* – 2007– vol. 32 Issue 4, pp. 995–1003.9.

10. Neskoroдеva T. V. Pravila i sostavnyie chasti metodiki obobschenno-mnozhestvennogo otobrazheniya informatsii v podsysteme ekspress-analiza SPPR audita [Rules and components of a generalized-multiple display method of information in the express analysis subsystem of the audit decision support system]. *Visnyk*

NTU «HPI». Seriya: Systemnyj analiz, upravlinnja ta informacijni tehnologii'. Harkiv : NTU "HPI" Publ., 2017, no. 51 (1272), pp. 58–64.

Поступила (received) 01.12.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Правила і складові частини методики узагальнено-множинного відображення інформації в підсистемі аналітичного обліку СППР аудиту верхнього рівня/ Т. В. Нескородєва // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 55 (1276). – С. 31–38. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-0023.

Правила и составные части методики обобщенно-множественного отображения информации в подсистеме аналитического учета СППР аудита верхнего уровня/ Т. В. Нескородєва // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 55 (1276). – С. 31–38. – Библиогр.: 10 назв. – ISSN 2079-0023.

Rules and components of generalized-multiple display methodology of information in the analytical accounting subsystem DSS of the upper-level audit / T. V. Neskoroдеva // Bulletin of National Technical University "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No. 55 (1276). – P. 31–38. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-0023.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Нескородєва Тетяна Василівна – кандидат технічних наук, доцент, Донецький національний університет імені Василя Стуса, Вінниця, доцент кафедри математики і математичних методів в економіці; тел.: (050) 137-75-20; e-mail: t.neskoroдеva@donnu.edu.ua.

Нескородєва Татьяна Васильевна – кандидат технических наук, доцент, Донецкий национальный университет имени Василя Стуса, Винница, доцент кафедры математики и математических методов в экономике; тел.: (050) 137-75-20; e-mail: t.neskoroдеva@donnu.edu.ua.

Neskoroдеva Tatiana Vasilevna – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Donetsk national University named Vasyly Stus, Associate Professor at the Department of mathematics and mathematical methods in Economics; tel.: (050) 137-75-20; e-mail: t.neskoroдеva@donnu.edu.ua.

T. KOZULIA, M. KOZULIA

INTEGRATED INFORMATION SYSTEM ASSESSMENT OF COMPLEX OBJECTS SAFETY LEVEL

Надано теоретично-практичні основи інформаційно-системного підходу з комплексної оцінки якості складних об'єктів. Розроблено інформаційно-програмне забезпечення обробки даних досліджень з застосуванням теорії системного аналізу і сучасних засобів надання знань. Працездатність сформованого інформаційно-методичного забезпечення для комплексного дослідження складних об'єктів на ентропійно-інформаційній основі показана на прикладі оцінки відповідності стану і розвитку конкретних природно-техногенних, еколого-економічних систем, проведенні оперативного контролю якості та безпеки технологічних процесів.

Ключові слова: екологічна безпека, методи системного аналізу, математичні методи моделювання, інформаційна система моніторингу, ідентифікація стану безпеки, екологічні знання-орієнтовані системи, інформаційно-програмне забезпечення оцінки якості систем.

Предоставлено теоретико-практические основы информационно-системного подхода комплексной оценки качества сложных объектов. Разработано информационно-програмное обеспечение обработки данных исследования с использованием теории системного анализа и современных способов предоставления знаний. Работоспособность сформированного информационно-методического обеспечения для комплексного исследования сложных объектов на энтропийно-информационной основе показана на примере оценки соответствия состояния и развития конкретных природно-техногенных, эколого-экономических систем, проведении оперативного контроля качества и безопасности технологических процессов.

Ключевые слова: экологическая безопасность, методы системного анализа математические методы моделирования, информационная система мониторинга, идентификация состояния безопасности, экологические знание-ориентированные системы, информационно-программное обеспечение оценки качества систем.

The complex methodological approaches for solving problem tasks objects quality assessment are determined on the basis of system analysis means combination and of the information and software complex development of research data processing with use of modern mean knowledge providing. Methodological support is based on theoretical knowledge in field of information entropy theory, synergetic, knowledge-oriented databases development; information space of integrating entities unity principles. The scientific and practical foundations of methodological and informational support for the determination of complex systems state assessment and their functional capabilities, safety level of the investigated objects, using of knowledge-oriented information systems for obtaining knowledge on the research objects results at level "state (system – environment) – change – process – system state". The generalized algorithmic approach from complex system object analysis as integrity having its microstructure to which it is proposed to attribute not only component components and elements, but also processes of its functioning is developed. Practical implementation of the proposed informational and methodological approaches for complex systems study analysis on the entropy-information basis is shown on the results of quality and safety functioning assessment of natural-technological, ecological-economic systems, providing operational control and safety management of technological processes.

Keywords: environmental safety, methods of system analysis, mathematic modeling methods, information monitoring systems, safety state identification, environmental knowledge-oriented systems, information program of systems quality assessment.

Introduction. Modern system theory presupposes the existence of systemic entities in the form of socio-economic, socio-ecological, ecological and economic objects of natural and man-made content, which relate to complex systems, and, in accordance with sustainable development provisions, they are united in socio-ecological and economic research objects [1, 2]. A special component for such systems is an information component that takes into account the qualitative characteristics of both individual elements and their relationships. The unstable systems state leads to crises that are conventionally equated with qualitative transformations in them. Thus, the study of modern complex systems is becoming relevant in the processing of information data in accordance with the standard system approach and the latest methods of information theory.

Decision-making is an analogue of information exchange and is the basis of activity, including management. The decision is determined by the achievement of the goal in choosing the best (more acceptable, optimal) alternative from possible variety of options for the purpose.

Under the research object study or development in accordance with the general definition of J. Clare [1] is understood part of the world, which for a given period of time is a unit that reflects the natural (ecological), economic and social aspects of life. The object interacts

with environment, which is central to the investigated integrity (as opposed to existing approaches in solving complex system problems, because it is the basis of the functionality of the object).

The study goal and tasks. The works goal consist comprehensive methodological approaches in solving problem environmental safety tasks of complex objects quality assurance based on the information and software data research development using the system analysis theory and modern knowledge provision. According to the goal is necessary:

- 1) grounded evaluation methods system compliance to state, features natural and industrial systems environmental quality requirements in economic conditions maintaining the necessary environment environmental safety level, sustainable system objects stability development under uncertainty and risk by reaching environmental safety state;

- 2) identified information and methodological support composition of complex objects comprehensive study constituted system analysis methodology provision;

- 3) realized practical application of systematic methodological support for the complex study of complex objects on the basis of a sequential analysis.

At research tasks setting and justifying, allocating domains, checking the models adequacy used knowledge of general systems theory, mathematical logic, including

comparator identification method, information theory and synergy. For creating the researched system object model and tool justification in solving complex systems quality assessment problems applied theoretical knowledge in environmental safety, synergy, information analysis, knowledge-oriented databases development, unity information integrable entities space principles fields.

Scientific results. According to research tasks defines the main ways models and methodological approaches improving complex systems safety level evaluation by analyses “state (system – environment) – changes – process – system state”. Defined methods characteristics state investigation “system – environment” according to the methodological approaches analysis in the environmental, ecological and economic analysis fields to environmental safety assess. The methods system information data disparate objects monitoring comprehensive assessment, entropy and knowledge base processing methods, analysis and environmental and socio-economic information evaluation is offered.

To assess ecological safety level “system – environment” proposes an algorithm (fig. 1) for

probabilistic-entropy approach implementation to determine the state by information amount ξ , which is contained in obtained previous stage results of the problem solution or is established relatively to the system characteristics η . The research object general condition is determined by such dependencies of the information function [3–5]

$$I(\xi|\eta) = S(\xi) - MS(\xi|\eta);$$

$$I(\eta|\xi) = - \sum_i p_{ij} \log_2 \frac{p_{ij}}{P\{\xi = x_i\}P\{\eta = y_j\}}, \quad (1)$$

where $I(\xi|\eta)$ – amount of information in ξ relatively η ;

$I(\eta|\xi)$ – amount of information in η relatively ξ ;

$S(\xi)$ – state entropy ξ ;

$MS(\xi|\eta)$ – conditional entropy expected value at variable ξ ;

p_{ij} – compatible probability distribution.

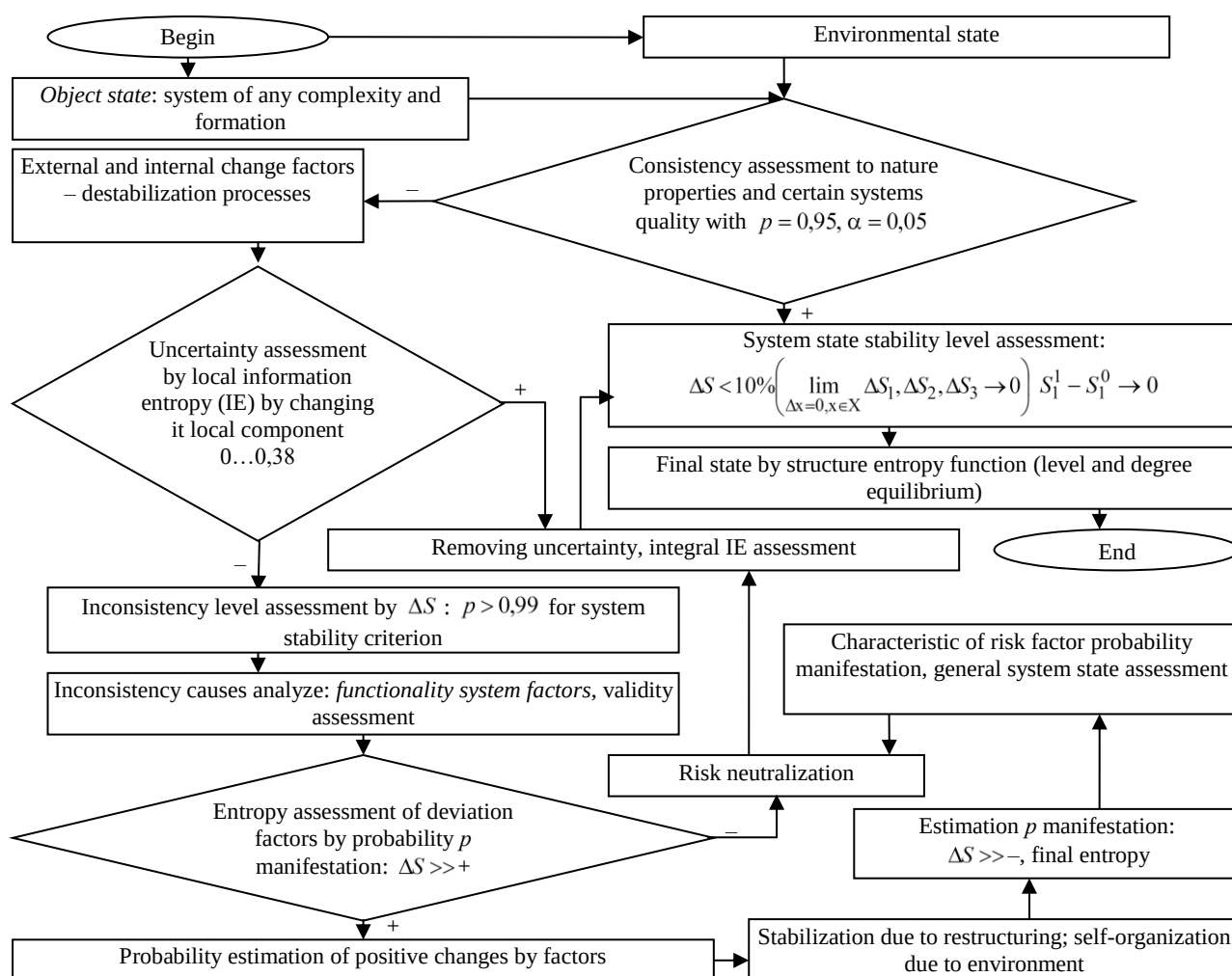


Figure 1 – Probabilistic-entropy assessment of system state and risk factors:

p – probability of matching the natural properties; α – estimation error; ΔS , ΔS_1 , ΔS_2 , ΔS_3 – estimation of general changes, probabilistic, stochastic, random processes respectively

As ξ and η determine the same ratio: the amount of information in η relatively ξ and amount of information in ξ relatively η , then $I(\eta|\xi) = S(\xi)$.

Found that organizational and technical systems related to fuzzy conditions system of their operation, requiring appropriate phenomenological framework usage of experience, knowledge, based on knowledge-based information systems. Applied only thermodynamic nature as a basis for object systems modeling, which permitted entropy method consistent reduction and uncertainties solution designed for comprehensive methodological support of the entropy-comparator conformity quality system objects assessment of any nature safety requirements (fig. 2).

Logical transformation core is given by relations graph of the component state criteria for ξ and η (fig. 2) [6, 7].

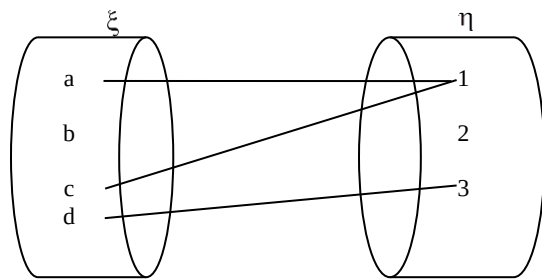


Figure 2 – Graphic scheme core linear logical transformation $K(x, y)$

Providing environmental and economic analysis of the system object ξ due to its complexity and multiple ties with environment gets into the uncertainty situation by the evaluation criteria: economic development level (a – economical system), socio-economic index society well-being (b – socio-economic system), environmental level (c – ecological system), population health assessment (d – social system). Available informational inaccuracies, absence proposed to supplement by the relationship function, for example, existing general information on economic (1), social (2) and environmental (3) quality indicators (see fig. 2). For getting data about ξ introduced linear-logical transformation core by providing a general quality assessment for ξ , which takes into account all evaluation criteria, that is, have a connection and the final result taking into account the information by η :

$$K(x, y) = (x^a \vee x^c) y^1 \vee x^d y^3;$$

$$Q(y) = \exists x \in \{a, b, c, d\} \{((x^a \vee x^c) y^1 \vee x^d y^3) \wedge P(x)\} =$$

$$= \exists x \in \{a, b, c, d\} \{((x^a \vee x^c) y^1 \vee x^d y^3) \wedge$$

$$\wedge (x^a \vee x^b \vee x^c \vee x^d)\} = y^1 \vee y^3.$$

As $K_1(x, y)$, $K_2(y, z)$, $K(x, z)$ are rectangular matrices, then the conjunction of predicates is considered as a product of matrices:

$$K(x, z) = K_1(x, y) \cdot K_2(y, z) = \bigvee_{y \in N} (K_1(x, y) \wedge K_2(y, z)).$$

Proposed a number of information technology for integrated complex systems safety analysis, designated improvement areas in case of information and methodological support formation for natural and man-made objects comprehensive quality assessment.

Established scientific and practical principles methodological, informational support complex systems state measurement and their functionality, investigated objects safety level based on usage of knowledge-based information systems obtaining knowledge by the study object results at “state (system – environment) – changes – process – system state”.

Developed algorithmic approach for object comprehensive analysis in whole, with its microstructure, which proposed to refer not only components and object system and operation processes. In systematic analysis introduced unique continuous real objects variables display for which the entropy is infinite, via information function (see. fig. 1).

According to provided methodological support information entropy function is introduced to establish the information uncertainty degree, ie the lack about system and its dynamics state information.

Proposed to avoid uncertainty in solving system socio-ecological-economic content objects environmental safety level assessment due to using mathematical logic structural models, combining state analysis and processes in systems, interacting with the environment: entropy state assessment and processes, quality level comparator identification (safety, environmental).

In a detailed system objects study based on their hierarchical structure resulting entropy function is perceived as uncertain behavior not well-ordered system of any dimension. To assess natural territorial complexes state applied thermodynamics, physical, informational entropy to determine environmental quality level for complex objects by only inconsistency measure environmental safety boundaries disparate systems and processes in them: maximum entropy production for one conditions group (ξ) compatible with its minimum for other (η):

$$S(\xi|\eta = y_j) = -\sum_i p_{ij} \log_2 p_{ij}, \quad (2)$$

$$MS(\xi|\eta) = -\sum_j P(\eta = y_j) \sum_i p_{ij} \log_2 p_{ij}, \quad (3)$$

where $S(\xi|\eta)$ – conditional entropy η at $\xi = x$;

$MS(\xi|\eta)$ – mathematical expectation of conditional entropy with variable ξ [8].

Adopted entropy adherence function for investigated system objects and determines deviation state level object component and its overall from equilibrium, homeostasis “system – environment”, which presented information about danger on any grounds.

The information space concept, system analysis related with conceptual study object model definition under scenario and target approach in order to create knowledge-based systems to it safety situation assess and sustainable development. The information and software

develop approaches for solving complex tasks in complex heterogeneous objects assessment for their operation compliance with the environmental safety requirements was analyzed.

Developed the informational-software for practical application ecological safety level integrated assessment methods which based on entropy and information approaches by awareness monitoring data.

Information part formed for system formation state assessment in knowledge-based systems form. Within

information and methodological support developed knowledge base on existing data basis about the system, additional information obtained as a result of uncertainty removal provided complex system low level investigation. New data obtained as a final result consistent uncertainties decrease at detailed scheme study “state₁ – process – state₂” applying state system formation “object – environment”, with phased complex methodological and information support implementation in complex systems quality assessment (fig. 3).

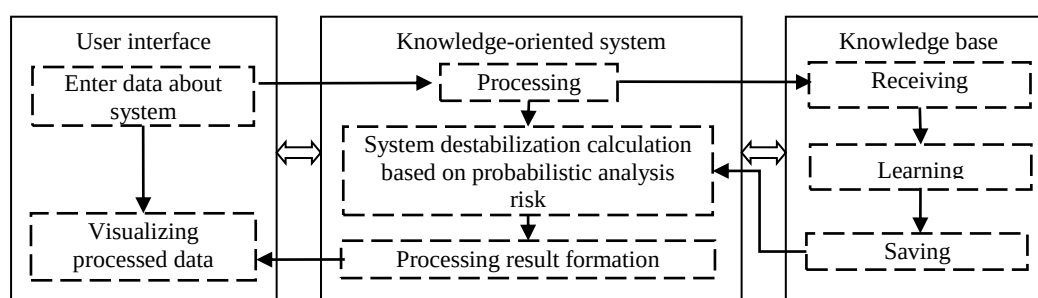


Figure 3 – General scheme of knowledge-oriented information system

In practice, the proposed information and software implemented for the comprehensive analysis results on the entropy-information based complex objects study, given the practical environmental safety evaluation results for

natural and industrial objects (Zmiev district, heat station), environmental and economic systems (Zmiev district – population health system) and operative safety control man-made objects based on Android (fig. 4) [9].

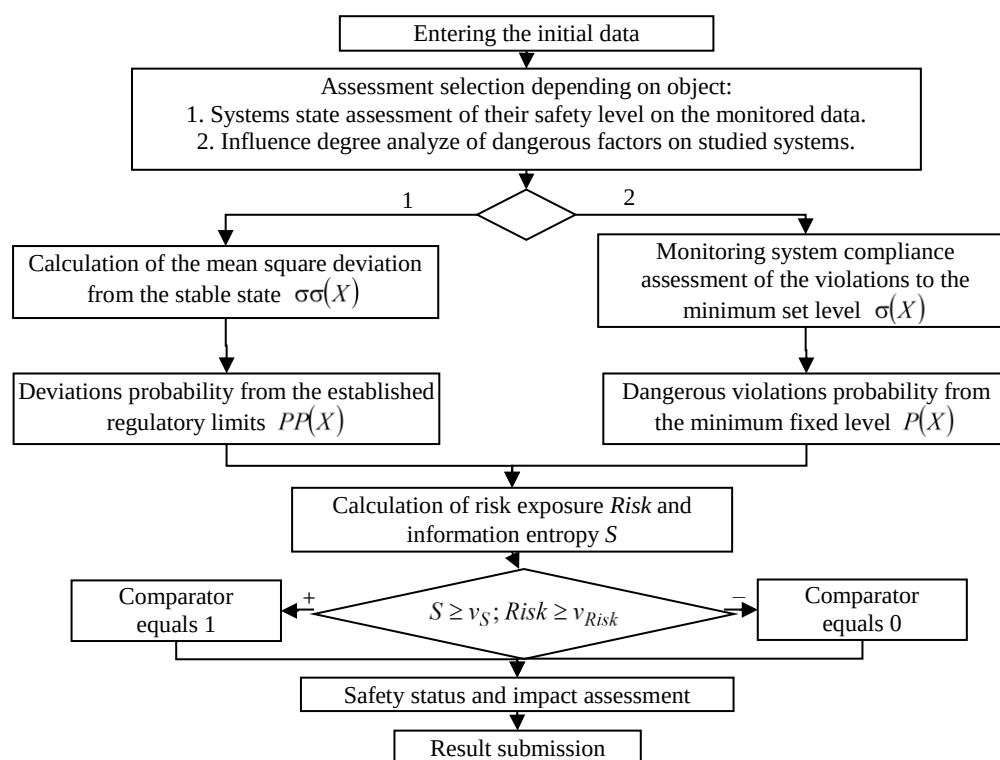


Figure 4 – Algorithmic provision of information-system assessment of environmental safety level by complex methodological support

Introduced comprehensive complex objects safety evaluation system is realized in practice in natural and man-made complex safety analyzing in Zmiev district landfill monitoring studies, whose territory is affected by industrial and energy differs significant accumulation of heavy metals (HM) in soils and appropriate level health (fig. 5) [6, 10].

At the micro level of complex system analysis to ensure proposed methodological approaches implementation to assess object level safety which is considered at example of factors restoration estimation attainable children with cerebral palsy state capacity (fig. 6) [9, 11, 12].

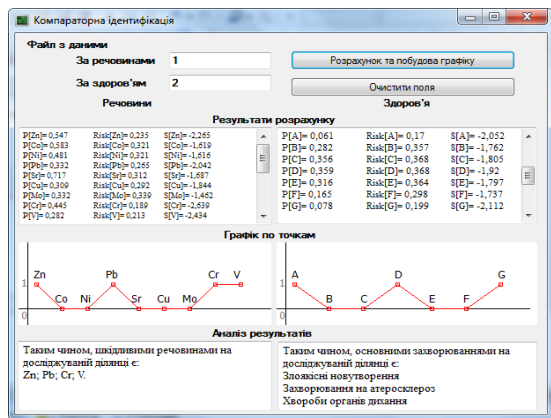


Figure 5 – Ecological safety level assessment of the soil and population health state

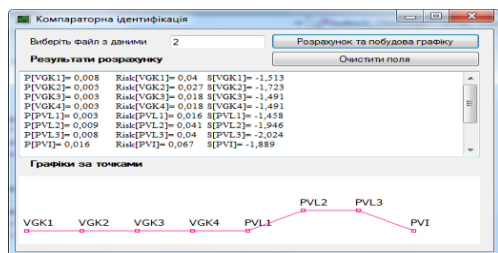


Figure 6 – Program evaluation of stabilization state factor of children cerebral palsy patients:

PVI – periventricular ischemia; VKG1, VKG2, VKG3, VKG4 – intragastric hemorrhages (I, II, III, IV stages); PVL1, PVL2, PVL3 – periventricular leukomalacia (I, II, III stages)

The mobile devices oriented software that functioning on operating system Android, for continuous security processes monitoring on the example selecting effective treating sludge water means at coal-concentrated industries (fig. 7) [13].

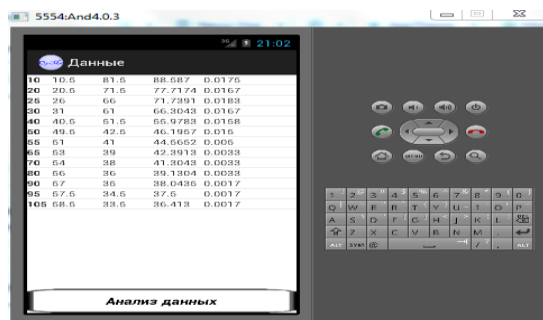


Figure 7 – Deposition process state determination according to the experimental data

Conclusion. 1. The information and methodological support comprehensive analysis of the environmental safety of objects based on entropy and information awareness approaches of monitoring data. Algorithmic implementation of methodological support software for quality evaluation of complex systems-level research “state (system – environment) – process – system state” is proposed.

2. Analyzed approaches in developing information and software support for solving complex tasks of heterogeneous complex objects accordance assessment to their environmental sustainable development operation and environmental safety requirements.

3. The software was developed for continuous environmental safety monitoring in terms of anthropogenic impact areas, the unstable system state, management and selection of effective production processes according to the provided comprehensive analysis and assessment of diverse complex systems and dangerous situations.

Список літератури

1. Клір Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач / Дж. Клір. – М.: Радио и связь, 1990. – 540 с.
2. Згуровський М. З. Основи системного аналізу / М. З. Згуровський, Н. Д. Панкратова. – К.: Видавничка група BHV. 2007. – 544 с.
3. Козуля М. М. Інформаційно-програмне забезпечення реалізації системних методів визначення стану складних систем / М. М. Козуля // Матеріали V Всеукраїнської науково-практичної конференції «Інтелектуальні системи та прикладна лінгвістика». – Харків: НТУ «ХПІ», 2016. – С. 46–47.
4. Козуля М. М. Знання-орієнтована комплексна методика оцінки стану складних систем / М. М. Козуля // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – Харків, НТУ «ХПІ», 2016. – № 19 (191). – С. 39–44.
5. Касімов О. М. Методи і модель системи комплексного оцінювання екологічного стану природно-техногенних територій / О. М. Касімов, Т. В. Козуля, В. В. Гагарін, Д. І. Ємельянова, М. М. Козуля // Екологія і промисловість. – 2013. – № 1. – С. 21–27.
6. Козуля Т. В. Формування знань-орієнтованих баз даних для визначення комплексної методики ідентифікації якості складних систем / Т. В. Козуля, Н. В. Шаронова, М. М. Козуля, Я. В. Святкин // Восточноевропейский журнал передовых технологий. – 2016. – № 1/2 (79). – С. 13–21.
7. Вечірська І. Д. Про дослідження властивостей лінійних логічних перетворень / І. Д. Вечірська, Ю. П. Шабанов-Кушнарченко // Системи обробки інформації. – 2007. – Вип. 8 (66). – С. 130–133.
8. Колмогоров А. Н. Теория информации и теория алгоритмов / А. Н. Колмогоров. – М.: Наука, 1987. – 304 с.
9. Козуля Т. В. Комплексна еколого-гігієнічна оцінка стану антропогенно-навантажених територій за концепцією корпоративної еколого-гігієнічної системи / Т. В. Козуля, В. В. Мясоедов, М. Г. Щербань, М. М. Козуля // Радіоелектроніка та інформатика. – 2012. – № 2 (57). – С. 75–82.
10. Касімов О. М. Концепція комплексної оцінки системних об'єктів природно-техногенних і ландшафтно-геохімічних комплексів / О. М. Касімов, Т. В. Козуля, Д. І. Ємельянова, М. М. Козуля, В. В. Гагарін // Восточноевропейский журнал передовых технологий. – Харків, 2012. – № 4/4 (58). – С. 62–68.
11. Шаронова Н. В. Ентропійна оцінка факторів визначення ступеню хвороби і груп захворювання / Н. В. Шаронова, М. М. Козуля // Системний аналіз і інформаційні технології: матеріали 15-й Міжнародної науково-технічної конференції SAIT-2013. – К.: УНК «ІПСА» НТУУ «КПІ», 2013. – С. 218–220.
12. Козуля М. М. Розробка програмного забезпечення розрахунку соціально-екологічних показників якості / М. М. Козуля // Information technologies in information business conference (ITIB). – Kharkiv, 2015. – С. 10–11.
13. Моїсєєв В. Ф. Програмна підтримка ентропійно-інформаційної оцінки відповідності стану складних систем / В. Ф. Моїсєєв, М. М. Козуля // Системний аналіз і інформаційні технології: матеріали 18-й Міжнародної науково-технічної конференції SAIT-2017. – К.: УНК «ІПСА» НТУУ «КПІ», 2017. – С. 178–179

References (transliterated)

1. Klir Dzh. Sistemologija. Avtomatizacija reshenija sistemnyh zadach [Systemology. Automatization of system problem solving]. Moscow, Radio i svjaz'. 1990, 540 p.
2. Z'hurovsk'kyu M.Z., Pankratova N. D. Osnovy sistemnoho analizu [System analyses foundations]. Kiev, Vydavnycha hrupa BHV. 2007, 544 p.

3. Kozulya M. M. Informatsiyno-prohramne zabezpechennya realizatsiyi systemnykh metodiv vyznachennya stanu skladnykh system [Information software for the system methods implementation for determining complex systems state]. *Materialy V Vseukrayins'koyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi «Intelektual'ni systemy ta prykladna lnhvistyka»*. Kharkov, NTU «KhPI», 2016, pp. 46–47.
4. Kozulia M. M. Znannya-oriyentovana kompleksna metodyka otsinky stanu skladnykh system [Knowledge-based comprehensive methodology of complex systems state assessment]. *Visnyk NTU «KhPI» Seriya: Innovatsiyi doslidzhennya u naukovykh robotakh studentiv* [Bulletin of National Technical University «KhPI». Series: Innovation researches in students' scientific work]. Kharkov, NTU «KhPI», 2016, no. 19 (1191), pp. 39–44.
5. Kasimov O. M., Kozulia T. V., Haharin V. V., Yemel'yanova D. I., Kozulia M. M. Metody i model' systemy kompleksnoho otsynuvannya ekolohichnoho stanu pryrodno-tekhnohennykh terytoriy [Methods and model of integrated assessment system of of natural and man-made territories ecological state]. *Ekolohyya y promishlennost'*. 2013, no. 1, pp. 21–27.
6. Kozulia T. V., Sharonova N. V., Kozulia M. M., Svyatyn Ya. V. Formuvannya znan'-oriyentovanykh baz danykh dlya vyznachennya kompleksnoyi metodyky identyfikatsiyi yakosti skladnykh system [Knowledge-oriented databases formation for definition complex method quality identification of compound systems]. *Vostochnoevropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohyy*. 2016, no. 1/2 (79), pp. 13–21.
7. Vechirs'ka I. D., Shabanov-Kushnarenko Yu. P. Pro doslidzhennya vlastyvostey liniynykh lohichnykh peretvoren' [Study about linear logic transformations properties]. *Systemy obrobky informatsiyi*. 2007, Vol. 8 (66), pp. 130–133.
8. Kolmogorov A. N. *Teoriya informacii i teoriya algoritmov* [Information and algorithms theory]. Moscow. Nauka, 1987, 304 p.
9. Kozulia T. V., Myasoedov V. V., Shcherban' M. H., Kozulia M. M. Kompleksna ekoloho-hihiyenichna otsinka stanu antropohenno-navantazhenykh terytoriy za kontseptsiiyeyu korporatsiynoyi ekoloho-hihiyenichnoyi systemy [Comprehensive ecological and hygienic assessment of anthropogenic-loaded territories state by ecological-hygienic system corporation concept]. *Radioelektronika ta informatyka*. 2012, no. 2 (57), pp. 75–82.
10. Kasimov O. M., Kozulia T. V., Yemel'yanova D. I., Kozulia M. M., Haharin V. V. Kontsepsiya kompleksnoyi otsinky systemnykh ob'yektiv pryrodno-tekhnohennykh i landshaftno-heokhimichnykh kompleksiv [Conception of complex estimation methodology of ecological compatibility for territorial and object systems]. *Vostochnoevropejskij zhurnal peredovykh tekhnologij*. Kharkov, 2012, no. 4/4 (58), pp. 62–68.
11. Sharonova N. V., Kozulia M. M. Entropiyna otsinka faktoriv vyznachennya stupenyu khvoroby y hrup zakhvoryuvannya [An entropy evaluation of factors determining disease and disease groups degree]. *Sistemnyy analiz i informacionnye tekhnologii: materialy 15-j Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii SAIT-2013*. – Kiev : UNK «IPSA» NTUU «KPI», 2013, pp. 218–220.
12. Kozulia M. M. Rozrobka prohramnoho zabezpechennya rozrakhunku sotsial'no-ekolohichnykh pokaznykiv yakosti [Software development for calculating social and environmental quality indicators]. *Information technologies in information business conference (ITIB)*. Kharkov, 2015, pp. 10–11.
13. Moyisyeyev V. F., Kozulia M. M. Prohramna pidtrymka entropiyno-informatsiynoyi otsinky vidpovidnosti stanu skladnykh system [Software support for entropy-informational assessment of complex systems state conformity]. *Sistemnyy analiz i informacionnye tekhnologii: materialy 18-j Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii SAIT-2017*. – Kiev : UNK «IPSA» NTUU «KPI», 2017, pp. 178–179.

Надійшла (received) 13.12.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Комплексна інформаційно-системна оцінка рівня безпеки складних об'єктів / Т. В. Козуля, М. М. Козуля // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 55 (1276). – С. 39–44. – Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2079-0023.

Комплексная информационно-системная оценка уровня безопасности сложных объектов / Т. В. Козуля, М. М. Козуля // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 55 (1276). – С. 39–44. – Библиогр.: 13 назв. – ISSN 2079-0023.

Integrated information system assessment of complex objects safety level / T. V. Kozulia, M. M. Kozulia // Bulletin of National Technical University "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No. 55 (1276). – P. 39–44. – Bibliogr.: 13. – ISSN 2079-0023.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Козуля Тетяна Володимирівна – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри ПІІТУ, тел.: (099) 787-20-50; e-mail: tatiana.kozulia@gmail.com

Козуля Тат'яна Владимировна – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», профессор кафедры ПИИТУ, тел.: (099) 787-20-50; e-mail: tatiana.kozulia@gmail.com

Kozulia Tetiana Volodimirovna – doctor of technical science, professor, National technical university “Kharkiv politechnical institute”, professor of software engineering and information management technologies department, tel.: (099)787-20-50; e-mail: tatiana.kozulia@gmail.com

Козуля Марія Михайлівна – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри ПІІТУ, тел.: (099) 787-20-70; e-mail: mariya.kozulya7@gmail.com

Козуля Мария Михайловна – кандидат технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры ПИИТУ, тел.: (099) 787-20-70; e-mail: mariya.kozulya7@gmail.com

Kozulia Mariia Mykhailovna – candidate of technical science, National technical university “Kharkiv politechnical institute”, assistant professor of software engineering and information management technologies department. tel.: (099)787-20-70; e-mail: mariya.kozulya7@gmail.com

V. V. MOSKALENKO, Y. S. BEREZENKO

THE CONCEPT OF AN ARCHITECTURAL SOLUTION FOR THE SERVICE INTENDED TO BUILD AN ENTERPRISE STRATEGY MAP

Пропонуються архітектурні рішення програмного забезпечення для задачі побудови стратегічної карти підприємства, наведено процес побудови стратегічної карти та методи, що використовуються при розв'язанні задач на етапах цього процесу. Наведено стислий огляд існуючих на IT-ринку програмних продуктів, які використовуються у стратегічному управлінні. Зроблено висновки про доцільність використовувати сервіс-орієнтовану архітектуру для програмної реалізації окремих модулів системи стратегічного управління та мікросервісної архітектури для модуля стратегічної карти підприємства.

Ключові слова: статистичні дані, обробка, клас, класифікація, соціологічне опитування, алгоритм.

Предлагается архитектурное решение программного обеспечения для задачи построения стратегической карты предприятия, приведен процесс построения стратегической карты и методы, используемые при решении задач на этапах этого процесса. Приведен краткий обзор существующих на IT-рынке программных продуктов, используемых в стратегическом управлении. Сделаны выводы о целесообразности использовать сервис-ориентированную архитектуру для программной реализации отдельных модулей системы стратегического управления и микросервисную архитектуру для модуля стратегической карты предприятия.

Ключевые слова: стратегическое планирование, корпоративная информационная система, архитектурное решение, микросервис, стратегическая карта, ключевые показатели деятельности.

The article examines an architectural solution of a software application for building an enterprise strategy map. It gives a short review of existing software products at the IT-market, which is used in strategic enterprise performance management. Much attention is dedicated to the separate stage of the development program formation, i.e. strategy map building. For building such a map it is proposed to formulate general enterprise strategic goals on the basis of an analysis of the development direction priorities and then check them for their feasibility. Next, the selected goals are decomposed into goals by the perspectives in accordance with the balanced scorecard. The goals are analyzed for the impact of key success factors. Based on the success factors, bunch of strategic key performance indicators are formed. The paper examines problems that need to be solved at each stage of the map building, and proposes mathematical methods for their solving such as the analytic hierarchy process, the trajectory approach in conjunction with the system optimization and the cognitive analysis. The author suggests using service-oriented architecture for EPM-system implementation and microservice architecture for the implementation of the strategic map application. As result the study identifies four services that implement the following business functions: an identification of priority directions for the enterprise development and general strategic goals; a verification of the feasibility of common strategic goals and planned targets formation; a definition of the goals by the perspectives, KSF definition and building of the strategy map; a definition of KPI by the perspectives. The structure of the software application is presented as a component diagram.

Keywords: strategic planning, corporate information system, architectural solution, microservice, strategy map, key performance indicators.

Introduction. Strategic management practice shows that all the difficulties of decision-making at this level are usually related to the gathering and processing of a large amount of diverse information as well as the solving of complex poorly formalized tasks. It increases the risks of the enterprise activity in the long-term and complicates the process of strategic plans formation for the enterprise development [1]. Thus, enterprise management systems increasingly include corporate information systems with strategic management modules, which implement methods for solving strategic level problems. In rapidly changing competitive environment, it is necessary to use different methods of enterprise management for successful functioning of any modern enterprise. This is especially related to the level of a strategic management. Therefore, the problem of developing adequate methods for enterprise management and corresponding software products, which informationally, analytically and algorithmically support the processes of making strategic decisions within these modern management methods, remains relevant.

Problem analysis. In recent years, modern enterprises have increasingly started to use Balanced Scorecard (BSC) in strategic management [2, 3]. Such a system provides the opportunity to analyze the enterprise activity and to make planning for both short-term and long-term periods, taking into account the interests of all stakeholders. Usually in these cases, Key Performance Indicators, which are formed by built strategy map, are

considered as a system of indications [4]. The strategy map covers the main strategic goals of the stakeholders and reflects their interaction. It means that a strategy map is a system of interrelated strategic goals, on the basis of which KPI system is formed. These KPIs are the basis for building long-term plans of the enterprise activity. Building a strategy map relates to systems intended to support strategic management. In order to build such a map it is necessary to analyze a lot of information, carry out forecasting and evaluation of different sides of the enterprise activity. This map should be the basis for the system of enterprise plans for the strategic period.

For solving individual tasks or complexes of strategic management tasks, usually companies use special software systems for informational and analytical support to the strategic planning process. The first name of such systems BPM (Business Performance Management, BPM) was proposed by the international analytical company IDC. Later The Gartner Group offered an alternate acronym CPM (Corporate Performance Management). In addition, it should be mentioned another popular acronym EPM (Enterprise Performance Management) [5]. However, all these systems are used within decision support at the top management level.

The business efficiency management system (BPM, CPM, EPM) is an enterprise management concept based on a set of information technologies that automate the base management processes: forecasting, planning, budgeting, monitoring and analysis. It provides an

opportunity for a comprehensive analysis of the enterprise performance and trends in their changes, integrates various components for local strategic management tasks. Also, the task of such a system is to provide management with up-to-date and reliable information for decision-making at all levels of organization management with minimal cost.

The market of such systems is considered broad enough: it includes large corporate products such as Oracle EPM, Oracle Hyperion Planning, IBM Cognos Disclosure Management, SAP EPM, IBM Cognos FPM, IBM Cognos TM1, SAS Strategy Management, as well as small open-source projects: Host Analytics, Infor, Longview Solutions and etc.

The corporate performance management (CPM) application suite market is mature and composed of vendors offering solutions that are widely adopted by both large and midsize organizations (midsize can roughly be defined as having annual revenue of \$100 million to \$1 billion). Given the range of solutions available, CPM suites are also accessible to smaller organizations (those with \$10 million to \$100 million in annual revenue). CPM initiatives aim to either improve processes within the office of finance (OOF) or support performance management (PM) throughout the organization. CPM deployments can typically be categorized as one of two types: OOF CPM and strategic CPM. OOF CPM largely involves the improvement of financial processes, while strategic CPM supports organizationwide transformation and growth [6].

The general shortcomings of existing EPM-systems include the following:

- they do not take into account the evolution of the indicators and the connection between them;
- most of the known systems usually use only financial indicators, although there is a tendency to develop indicators that take into account various factors [4];
- do not allow to define and formalize the strategy, the strategy is always formed by a person, there is no methodology for determining its feasibility;
- the problem with reconciliation of strategic goals has not been solved.

The existence of separate strategic goals and their strategies, which are developed by various decision makers, can lead to a violation of the integrity and strategic management connectedness in general. As result, there can be an inconsistency and contradictions in enterprise activity at the tactical and operational levels of the management [4].

Therefore, it is proposed to consider the process of strategic plans formation as a set of stages intended to develop strategic annual plans and budgets of the enterprise. This process is the basis for building EPM-system.

Problem statement. The papers [7, 8] show the general structure of the EPM-system, which is introduced in the strategic enterprise management systems.

Based on the analysis of architectural decisions regarding EPM software packages, the following conclusions were made.

Firstly, software products that implement all the components for strategic management, such as Oracle EPM, SAP EPM and others, are thought quite cumbersome. Usually they have a high cost and require installation of big platforms, without which their work is impossible. The introduction of such products may result in lack of return, their loss-making or low operating efficiency. All this is an obstacle to their implementation for many businesses.

Secondly, small open-source products have a poor functionality and very often do not provide a mechanism for integrating with other corporate systems at all.

That is why the main task is to choose such architectural decisions regarding the software implementation of the strategic management system, which will allow the decision maker quickly and efficiently to solve individual tasks, to analyze various aspects of the enterprise activity and to combine solutions of strategic management tasks in different combinations.

Since one of the key missions in strategic management is the definition of long-term goals, it is proposed to consider the autonomous task of strategy map building. The goal is to develop architectural concept for software solution that implements building of this map. The software solution should allow the decision maker to model the goal creation process, to take into account different information for the goal formation, to check the feasibility of all the considered goals, and also to be able to use the results of the strategy map building for the further formation of the enterprise development program.

The process of building an enterprise strategy map. The main stages of the process of a strategic program formation for the development of the enterprise were proposed in the paper [9]. Let's take a look at the more detailed process of strategy map building.

1. Determine the priorities of the enterprise development directions. Guided by the fact that the main goal of any enterprise is to get profits, which is always achieved in a market economy by improving the enterprise competitiveness, it is proposed to consider the following areas of competitiveness as the development directions: production, finance, marketing and personnel. An analysis of these areas will allow us to formulate general strategic goals of the enterprise. The choice of these areas is also explained by the fact that in order to develop a system of performance indicators of the enterprise within the strategic development program it is proposed to choose BSC methodology. The BSC is based on a strategy map, which is a set of goals by the four perspectives: financial, customer, internal business processes, learning and growth. Since the strategy map goals must be consistent with the strategic goals, the following is proposed. Firstly, formulate general strategic goals based on the analysis of possible development directions and evaluate their feasibility. Based on the analysis of general strategic goals feasibility, choose that goals which are considered to be planned. Then decompose them into the goals by perspectives.

To determine the priorities of development directions (production, finance, marketing, and personnel), it is proposed to use the analytic hierarchy process. Hierarchy

direct process is built in the following way. Either a problem focus, which is an integrated enterprise development, or the purpose of the development, i.e. improvement of the enterprise competitiveness, is placed at the top level. At the next levels, actors as interested parties in the directions development are presented. Development strategies in these areas will form a generalized development scenario which is the lower level of the hierarchy. Based on the built hierarchy of direct and reverse processes, during all HP procedures factors, which influence the directions development, goals and policy of the stakeholders in the enterprise development, is reviewed. As a result of calculations, the importance ratio values, which characterize the degree of influence of a separate direction on the enterprise development success and indicate which directions need to be developed in the first place, are determined. Thus, on the basis of these ratios the priority directions of enterprise development are determined.

2. For the development of each direction, taking into account their importance ratios, formulate expertly possible general strategic goals. These goals can be represented as the following set $Z^\Sigma = Z_E^\Sigma \cup Z_F^\Sigma \cup Z_P^\Sigma \cup Z_M^\Sigma$, where $Z_E^\Sigma, Z_F^\Sigma, Z_P^\Sigma, Z_M^\Sigma$ – set of all general strategic goals related to the development directions: production, finance, marketing and personnel.

3. Identify general enterprise strategic goal from all possible goals Z^Σ . Let's consider that Z^G is a set of general strategic goals $Z^G \subset Z^\Sigma$. At the same time, it should be mentioned that a separate general strategic goal covers all development strategies.

4. Verify the feasibility of each general strategic goal from the set Z^G . For this, it is necessary:

4.1 Identify possible strategies for achieving each common strategic goal. Can be considered the following two strategies for achieving the goal: a maximum effort strategy and a minimum effort strategy (eg, strategy of taking market over and strategy of market presence for the strategic goal "diversification");

4.2 Build production trajectories for all strategies. Each trajectory is based on the criterion of maximizing total returns at all the period intervals. For trajectory building it is proposed to use the system optimization methodology;

4.3 Analyze a possibility of the enterprise to implement chosen strategies and ensure delivering the production with correct volumes. The output trajectory determines the necessary resources and investments volumes to adjust the resource base of the enterprise. As a result, for each strategy a development trajectory is formed as a set of values: output volumes; production resources volumes; investments, i.e. funds for the necessary resources. Then for each goal, a set of effective trajectories is formed based on the solution of the two-criteria problem: maximizing the total profit from production and minimizing investment costs for development in accordance with strategies;

4.4 Choose a strategy for achieving a general strategic goal based on the analysis of development trajectories. A particular trajectory, which is more in line with the enterprise capabilities, is being chosen. If it turns out that the enterprise is not able to implement at least one trajectory, it will mean that this general strategic goal cannot be achieved during the foreseeable course of business success and selected strategies. Consequently, it may be reasonable to reject the strategies for achieving this general strategic goal. Thus, building of development trajectories for each strategy gives owners, management and senior management an ability to analyze market opportunities of the enterprise, reconsider strategies for achieving a general strategic goal and make the right choice of the goal itself.

5. Choose the planned strategic goals that form the set Z^E , where $Z^E = \{Z_j^E\}$, $j \in N^T$, where Z_j^E – j -th planned strategic goal for the period T , N^T – set of indexes of planned strategic goals for the period T , $Z^E \subset Z^G$. For each planned strategic goal, the strategy for its achievement will be chosen. Also the planned output values for assortment groups, necessary production resources and investments will be defined.

It should be noted that all obtained values of output volumes, resources and investments have value-laden nature. Since the long-term period is considered, then all values for computational procedures are predicted or determined expertly.

6. Form enterprise strategic goals by the perspectives: finance, clients, business processes, personnel. The planned strategic goals are transformed by the perspectives. This means that the general goals $Z^E = \{Z_j^E\}$ are aligned with the set of goals by perspectives

$$Z^H = Z^{HF} \cup Z^{HK} \cup Z^{HBP} \cup Z^{HP}, \quad \text{where}$$

$$Z^{HF} = \{Z_g^{HF}\}, g \in G^{HF}, \quad Z^{HK} = \{Z_g^{HK}\}, g \in G^{HK},$$

$$Z^{HBP} = \{Z_g^{HBP}\}, g \in G^{HBP}, \quad Z^{HP} = \{Z_g^{HP}\}, g \in G^{HP} - \text{goals}$$

by perspectives: finance, clients, business processes, personnel, $Q^F = |G^{HF}|$, $Q^K = |G^{HK}|$, $Q^B = |G^{HBP}|$,

$Q^P = |G^{HP}|$, G^{HF} , G^{HK} , G^{HBP} , G^{HP} – set of goal indexes by perspectives: finance, clients, business processes, personnel, and their capacity is equal respectively Q^F , Q^K , Q^B , Q^P .

Then an enterprise strategic map can be imagined as a set of terms: $\overline{SM}^H = \langle Z^E, Z^H, CZ^H \rangle$, where CZ^H – a set of adjacency matrixes.

7. Perform a cognitive analysis of a strategy map $\overline{SM}^H$ to determine the 'power of influence' of goals by perspectives to planned strategic goals and their interdependence. As a result of a cognitive map building and its analysis, less meaningful or duplicate goals by perspectives and weak links between them will be removed. As a result, new strategy map $\overline{SM}^H$ is being built.

8. Build extended version of strategy map.

8.1 Identify key success factors (KSF) that affect the feasibility of the relevant strategic goals by the perspectives. The achieving of goals by perspectives is associated with a set of key success factors.

8.2 Build a cognitive map for analyzing the tightness of KSF relations to strategic goals. This process should remove connection duplications between the goals and the KSFs as well as non-essential KSFs. It must significantly reduce the number of KPIs in the next steps. As a result, a set of KSFs and their impact on strategic goals by the perspectives is formed.

8.3 Based on KSF, form a set of key performance indicators (KPI) by the perspectives: finance, customers, business processes, and personnel. As a result, an extended version of enterprise strategy will be formed:

$$SM_T^H = \langle Z^E, Z^H, CZ^H, KSF^H, SF^H, S^H \rangle,$$

which consists of the map $\overline{SM^H}$, key success factors KSF^H , strategic KPI $S^H = \{ S^{HF}; S^K; S^{HBP}; S^{HP} \}$ by the perspectives and connections between KSF and goals SF^H .

Using microservice architecture for a software application intended to build a strategy map. The entire process of formulating an enterprise development program, which is suggested in [9], can be implemented as only one application. Nevertheless, in this case the logical solution is to present separate stages of this process as a set of several small applications. This is because each step of the process involves solving many problems. It requires a lot of data from different sources of information. Moreover, these data usually have a different scope. Therefore, it is proposed to consider each stage as a separate application that will be implemented programmatically.

For example, the process of building a strategy map can be considered as a separate management task. It need to be resolved at the stage of the program development as well as at the stages of the analysis of the strategic plan execution. The solution of this task may also be required in reviewing and evaluating the enterprise future by its owners in order to assess the future of development directions and to form new prospective ones in the enterprise activity. Hence, it is suggested implementing EPM-system as a software product with a service-oriented architecture (SOA) [10].

SOA is a set of architectural principles that are independent of technology and products. Splitting the system into services will allow easily extending and replacing functionality without affecting the entire information system of strategic management – the EPM system. SOA facilitates using of data and logic in the next generation of this system, i.e. with its reengineering.

Despite the fact that it was decided to choose service-oriented architecture for the EPM-system, it is proposed to implement application for building a strategy map as a micro-service application, that is, as some kind of subapplication that has its own business responsibility [11, 12].

The microservices represent an architectural style in which complex applications are created as a set of small, lightweight, self-contained, independent, not strongly connected services, each of which is responsible for a particular process. The main advantage of the choice is the ability to horizontally scale overloaded microservices, in particular those that use mathematical algorithms for data computation [15–17]. The micro-services provide alternative means for creating applications, providing flexibility, scalability and fault tolerance. However, the development and support of applications with the micro-service architecture also has several difficulties related to the distribution, data inconsistency and so forth. [11, 14].

Figure 1 shows a component diagram for a service intended to build an enterprise strategy map using a micro-service architecture. It is suggested to create a set of microservices by the following bounded contexts.

1. *Strategic Goal*. It is responsible for defining the priority directions of the enterprise development and forming general strategic goals.

2. *Goal Validation*. It is responsible for verifying the feasibility of the general strategic goals of the enterprise and the formulation of planned strategic goals.

3. *Strategic Map*. It is responsible for defining goals by perspectives and relevant KSFs as well as for building a strategy map.

4. *KPI*. It is responsible for defining key performance indicators by the perspectives.

In addition, API Gateway pattern should be also noted. Briefly, it's a single entry point for all clients. The API gateway handles requests in one of two ways. Some requests are simply proxied/routed to the appropriate service. It handles other requests by fanning out to multiple services. Rather than provide a one-size-fits-all style API, the API gateway can expose a different API for each client [16].

Using an API gateway has the following benefits:

- insulates the clients from how the application is partitioned into microservices;
- provides the optimal API for each client;
- reduces the number of requests/roundtrips.

However, there are also some drawbacks:

- increased complexity since the API gateway is yet another moving part that must be developed, deployed and managed;
- increased response time due to the additional network hop through the API gateway.

The API gateway might also implement security, e.g. verify that the client is authorized to perform the request [16].

Conclusions. The work have examined the process of building an enterprise strategy map, which software implementation was suggested to perform with using microservice architecture. Given arguments for chosen architecture type and the description to each microservice. In future works it is necessary to solve the problems of choosing (developing) the API Gateway, data integration, communication with third parties and other issues related to software implementation of the solution for building a strategy map.

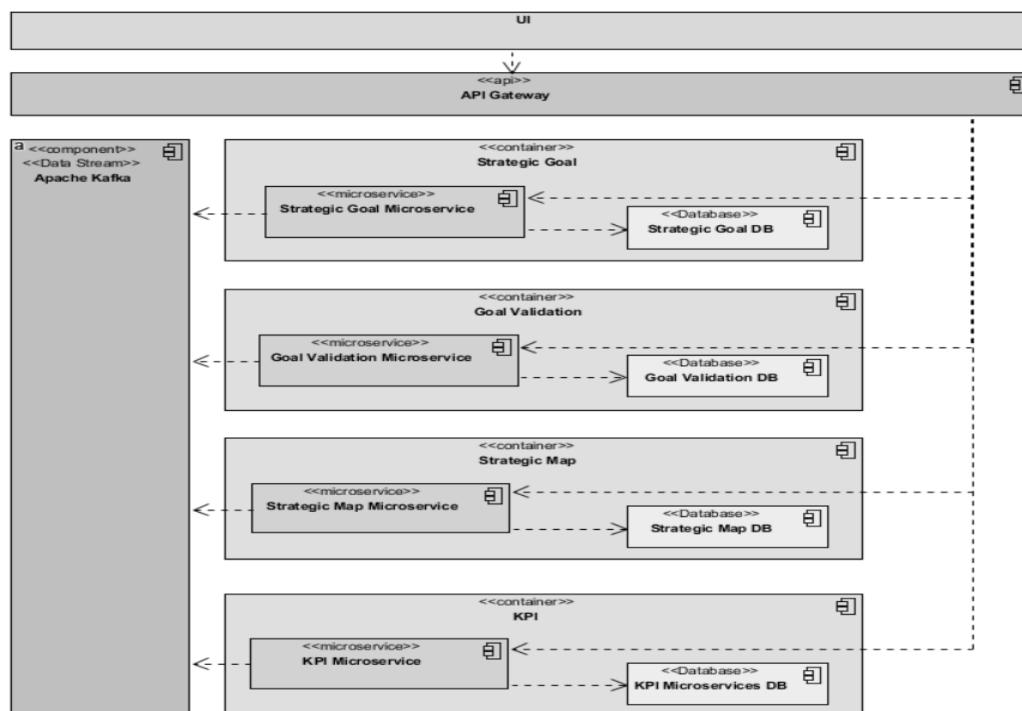


Fig. 1 – Component diagram of strategy map building application

References

1. Ansoff I.A. Strategic management. Classic edition / I.A. Ansoff, G.I. Nakamura. – Palgrave Macmillan, 2007. – 272 p.
2. Kaplan R. S. Transforming the balanced scorecard from performance measurement to strategic management: Part I / R. S. Kaplan, D. P. Norton // Accounting horizons. – 2001. – Т. 15. – № 1. – С. 87–104.
3. Humphreys K. A. The balanced scorecard: The effect of strategy information on performance evaluation judgments / K. A. Humphreys, K. T. Trotman // Journal of Management Accounting Research. – 2011. – Т. 23. – № 1. – С. 81–98.
4. Каплан Р. Стратегические карты. Трансформация нематериальных активов в материальные результаты / Р. Каплан, Д. П. Нортон. – М. : ЗАО «Олимп-Бизнес», 2005. – 512 с.
5. Балахонова О. М. Обзор информационных систем для решения задач стратегического менеджмента / О. М. Балахонова // Статистика и экономика. 2015. – № 5. – Режим доступа : <http://cyberleninka.ru/article/n/obzor-informatsionnyh-sistem-dlya-resheniya-zadach-strategicheskogo-menedzhmenta> – Дата звертання : 01 грудня 2017.
6. Gartner report: magic quadrant for CPM systems. – Режим доступу : <https://cpm.korusconsulting.ru/press-center/blog/otchet-gartner-magic-quadrant-dlya-cpm-sistem/> – Дата звертання : 01 грудня 2017.
7. Москаленко В. В. Подход к построению информационной системы управления эффективностью предприятия, входящего в холдинг / В. В. Москаленко, Н. Г. Фонта // Інформаційні технології: проблеми та перспективи: монографія / за заг. ред. В. С. Пономаренко. – Х. : Вид. Рождо С. Г., 2017. – С. 371 – 386.
8. Москаленко В. В. Структура системы Enterprise Performance Management с учётом технологии каскадирования ключевых показателей деятельности / В. В. Москаленко, Н. Г. Фонта // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія «Системний аналіз, управління та інформаційні технології». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 45(1217). – С. 34 – 40
9. Москаленко В. В. Технология формирования программы развития как системы годовых планов предприятия на основе ключевых показателей деятельности / В. В. Москаленко, Т. В. Захарова, Н. Г. Фонта // European cooperation Scientific Approaches and Applied Technologies. – Варшава, – 2015. – Vol. 2(2). – С. 108–124.
10. Rotem-Gal-Oz A. SOA Patterns, Manning Publications. / A. Rotem-Gal-Oz – Режим доступу: <http://arnon.me/soa-patterns/> – Дата звертання : 01 грудня 2017.
11. Clark K. Microservices, SOA, and APIs: Friends or enemies? / K. Clark 2016 – [Електронний ресурс] – Режим доступу : https://www.ibm.com/developerworks/websphere/library/techarticle/s/1601_clark-trs/1601_clark.html – Дата звертання : 06 грудня 2017.
12. J. Stenberg About the SOA Heritage Impact on Microservices. / J. Stenberg 2017 – Режим доступу : https://www.infoq.com/news/2017/11/soa-impact-microservices?utm_campaign=rightbar_v2&utm_source=infoq&utm_medium=news_link&utm_content=link_text – Дата звертання : 06 грудня 2017.
13. Переваги мікросервісів та їх створення за допомогою .NET. – Режим доступу: <https://internetdevels.ua/blog/building-microservices-dotnet> – Дата звертання : 06 грудня 2017.
14. Microservices: yesterday, today, and tomorrow // Present and Ulterior Software Engineering. – Режим доступу : <https://arxiv.org/pdf/1606.04036.pdf> – Дата звертання : 06 грудня 2017.
15. Newman S., Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems / S. Newman – Beijing, O'Reilly, 2015, 282 p.
16. Lewis J. Microservices a definition of this new architectural term / J. Lewis, M. Fowler – Режим доступу : <https://martinfowler.com/articles/microservices.html> – Дата звертання : 01 грудня 2017.
17. Клапчук Р. Г. Монолітні веб-сервіси та мікросервіси: порівняння та вибір / Р. Г. Клапчук, В. С. Харченко // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2017. – № 1. – С. 51–56. – Режим доступу : <https://www.khai.edu/csp/nauchportal/Arhiv/REKS/2017/REKS117/Klapchuk.pdf> – Дата звертання : 06 грудня 2017.

References (transliterated)

1. Ansoff I.A., Nakamura G.I. Strategic management. Classic edition, Palgrave Macmillan, 2007, 272 p.
2. Kaplan R. S., Norton D. P. Transforming the balanced scorecard from performance measurement to strategic management: Part I, Accounting horizons, 2001, vol. 15, no. 1, pp. 87–104.

3. Humphreys K. A., Trotman K. T., The balanced scorecard: The effect of strategy information on performance evaluation judgments, *Journal of Management Accounting Research*, 2011, vol. 23, no. 1, pp. 81–98.
4. Kaplan R. S. *Strategy Maps: Converting Intangible Assets Into Tangible Outcomes*, Harvard Business Review Press, 2004, 454 p. (Rus. ed.: Kaplan R. *Stratezhicheskiye karti. Transformatsiya nematerial'nykh aktivov v material'nie rezul'tati*, Moscow, Olympus Business, 2005, 512 p.).
5. Balakhonova O. M. *Obzor ynfomatsyonnykh sistem dlya resheniya zadach stratezhicheskogo menedzhmenta* [Survey of information systems for strategic management], *Statystyka y ekonomika*, 2015, no. 5. Available at: <http://cyberleninka.ru/article/n/obzor-informatsionnyh-sistem-dlya-resheniya-zadach-strategicheskogo-menedzhmenta>. (accessed 01.12.2017).
6. Gartner report: magic quadrant for CPM system. Available at: <https://cpm.korusconsulting.ru/press-center/blog/otchet-gartner-magic-quadrant-dlya-cpm-sistem>. (accessed 01.12.2017).
7. Moskalenko V. V., Fonta N. H. *Podkhod k postroyeniyu ynfomatsyonnoy systemy upravleniya effektivnost'yu predpriyatiya, vkhodyashcheho v kholdynh* [The approach to building an information management system for the efficiency of an enterprise included in a holding], *Informatsiyni tekhnolohiyi: problemy ta perspektyvy: monohrafiya*, ed. by V. S. Ponomarenko. Kharkiv, Vyd. Rozhko S. H., 2017., pp. 371–386.
8. Moskalenko V. V., Fonta N. H. *Struktura systemy Enterprise Performance Management s uchjotom tekhnolohyy kaskadirovaniya klyuchevykh pokazateley deyatel'nosti* [The structure of the Enterprise Performance Management system, taking into account the technology of cascading key performance indicators], *Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KhPI»*, *Zbirnyk naukovykh prats, Seriya «Systemnyy analiz, upravlinnya ta informatsiyni tekhnolohiyi»*, Kharkiv: NTU «KhPI», 2016., no. 45(1217), pp. 34–40.
9. Moskalenko V. V., Zakharova T. V., Fonta N. H. *Tekhnolohyya formirovaniya programmy razvytiya kak systemy hodovykh planov predpriyatiya na osnove klyuchevykh pokazateley deyatel'nosti* [Structure of Enterprise Performance Management System that takes into account the technology of the cascading of key performance indicators], *European cooperation Scientific Approaches and Applied Technologies*, Varshava, 2015, vol. 2(2), pp. 108–124.
10. Rotem-Gal-Oz A. *SOA Patterns*, Manning Publications. Available at: <http://arnon.me/soa-patterns/>. (accessed 01.12.2017).
11. Clark K. *Microservices, SOA, and APIs: Friends or enemies?* Available at: https://www.ibm.com/developerworks/websphere/library/techarticle/s/1601_clark-trs/1601_clark.html. (accessed 01.12.2017).
12. J. Stenberg *About the SOA Heritage Impact on Microservices*. Available at: https://www.infoq.com/news/2017/11/soa-impact-microservices?utm_campaign=rightbar_v2&utm_source=infoq&utm_medium=news_link&utm_content=link_text. (accessed 06.12.2017).
13. *Perevahy mikroservisiv ta yikh stvorenniya za dopomohoyu .NET.* – Available at: <https://internetdevels.ua/blog/building-microservices-dotnet>. (accessed 06.12.2017).
14. *Microservices: yesterday, today, and tomorrow, Present and Ulterior Software Engineering.* Available at: <https://arxiv.org/pdf/1606.04036.pdf>. (accessed 06.12.2017).
15. Newman S. *Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems*, Beijing, O'Reilly, 2015, 282 p.
16. Lewis J., Flower M. *Microservices a definition of this new architectural term.* Available at: <https://martinfowler.com/articles/microservices.html>. (accessed 01.12.2017).
17. Klapchuk R.H., Kharchenko V.S. *Monolitni veb-servisy ta mikroservisy: porivnyannya ta vybir* [Monolith web-services and microservices: comparison and selection], *Radioelektronni i komp'yuterni systemy*, 2017, no. 1, pp. 51–56. Available at: <https://www.khai.edu/csp/nauchportal/Arhiv/REKS/2017/REKS117/Klapchuk.pdf>. (accessed 06.12.2017).

Надійшла (received) 08.12.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Концепція архітектурного рішення для сервісу побудови стратегічної карти підприємства / В. В. Москаленко, Ю. С. Березенко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 55 (1276). – С. 45–50. – Бібліогр.: 17 назв. – ISSN 2079-0023.

Концепция архитектурного решения для сервиса построения стратегической карты предприятия / В. В. Москаленко, Ю. С. Березенко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 55 (1276). – С. 45–50. – Библиогр.: 17 назв. – ISSN 2079-0023.

The concept of an architectural solution for the service intended to build an enterprise strategy map / V. V. Moskalenko, Y. S. Berezenko // Bulletin of National Technical University "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No. 55 (1276). – P. 45–50. – Bibliogr.: 17. – ISSN 2079-0023.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Москаленко Валентина Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління; тел.: (067) 715-87-12; e-mail: mvv_17@mail.ru.

Москаленко Валентина Владимировна – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры программной инженерии и информационных технологий управления; тел.: (067) 715-87-12; e-mail: mvv_17@mail.ru.

Moskalenko Valentina Volodymyrovna – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor at the Department of Department of Software Engineering and Management Information Technologies; tel.: (067) 715-87-12; e-mail: mvv_17@mail.ru.

Березенко Юрій Станіславович – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», студент; тел.: (067) 520-41-29; e-mail: urkaver@gmail.com.

Березенко Юрий Станиславович – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», студент; тел.: (067) 520-41-29; e-mail: urkaver@gmail.com.

Berezenko Yuriy Stanislavovich – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", student; tel.: (067) 520-41-29; e-mail: urkaver@gmail.com.

Y. A. KLYUCHKA, O. Y. CHEREDNICHENKO, A. V. VASYLENKO, O. V. YAKOVLEVA

FORECASTING THE RESULTS OF FOOTBALL MATCHES ON THE INTERNET BASED INFORMATION

Стаття присвячена моделі прогнозування результатів футбольних матчів, яка перевершує шанси букмекерів. Статистичні підходи показали складні і низькі результати прогнозування. Інструменти інтелектуального аналізу даних з недостатніми можливостями, також дали низькі прогнози. Запропонована модель використовує інформацію про попередні результати команди. Прогноз заснований на прогнозуючих факторах. Хоча важко врахувати всі чинники, що впливають на результати матчів, робиться спроба знайти найбільш значущі чинники.

Ключові слова: прогнозування результатів футбольних матчів, статичні підходи, чинники прогнозування.

Статья посвящена модели прогнозирования результатов футбольных матчей, превосходящая шансы букмекеров. Статистические подходы показали сложные и низкие результаты прогнозирования. Инструменты интеллектуального анализа данных с недостаточными возможностями, также дали низкие прогнозы. Предложенная модель использует информацию о предыдущих результатах команды. Прогноз основан на прогнозирующих факторах. Хотя трудно учесть все факторы, влияющие на результаты матчей, делается попытка найти наиболее значимые факторы.

Ключевые слова: прогнозирования результатов футбольных матчей, статистические подходы, факторы прогнозирования.

The purpose of the article is making a model of results forecasting for football matches, which works better than bookmakers organizations. Lately the popularity of football forecasting has been increased. The existing statistic approaches show difficult and low prediction. The developed model for predicting the results of football matches uses information about the previous results of the teams. The forecast is based on forecasting factors. Although it is difficult to consider all the factors that influence the results of matches the model makes an attempt to find the most important ones. The described model of forecasting takes into consideration such characteristics as: place in the tournament table; total points; goal difference; total number of players, skipping the match; points home / away; home match; "defence strength"; "attack strength"; team form. Testing shows that forecasting and actual results of football matches coincide. The offered model could be used in commercial computer programs for forecasting results of football matches in bookmakers organizations.

Keywords: forecasting the results of football matches, forecasting factors, "defence strength", "attack strength".

Introduction. Recently, football attracts an increasing number of people, accumulates significant financial, material and intellectual resources, and is gradually becoming an important element of the economy. Forecasting the results of football matches in itself is an important task, which is the basis of the bookmaker business. Modern technological tools for tracking football players create a large amount of data that experts use to analyze matches and player performance. For example, football statistics fill the Internet from time to time. The English Premier League, in particular, produces a lot of data, because it is so popular.

Models and computer programs predicting the results of sports games have been developed over the years. Most of them use stochastic methods of describing uncertainty: regressive and autoregressive analysis, the Bayesian method in combination with Markov chains and the Monte Carlo method. The peculiarities of such models are: sufficiently high complexity, a large number of assumptions, the need for a large array of statistical data. In addition, these models are not always easy to interpret. There are also models that use neural networks to predict the results of a football match. They can be considered as universal approximants of nonlinear dependences, tested on experimental data. They also need to have arrays of statistical data, and the physical significance of weights between neurons after training can not be determined.

In this study, the weighted sum of indicators, the Poisson distribution and the forecasting rules are used to increase the accuracy of predicting the results of football matches by identifying the winning team based on data obtained from the results of matches of the previous championship and the relevant factors. Despite the fact that it is difficult to take into account all factors

influencing the results of matches, an attempt is made to find the most important factors that are not confidential information and can be easily determined before the start of the football match.

Review of the Literature. The analysis shows that different authors offer different ways to solve the problem of predicting the results of football matches.

In their first study, Serhiy Shtovba, predicted the results of football matches based on fuzzy rules. The method is based on the formalization of expert linguistic statements - rules in the form of an unclear knowledge base with subsequent tuning on experimental data. The proposed approach can be used to predict the results of other sports tournaments [1].

Serhiy Shtovba at al. foretold the results of football matches using the machine support vectors [2]. They modified the initial task of predicting the winners of a football match with three possible solution classes (the winning of the home team, the draw and the win of the away team) into a typical regression problem for which the SVM algorithm was used to minimize the mean square error. The transition from a continuous output value of a model to a discrete one is carried out according to the following rules:

- If the value of the predicted indicator is not negative, then the result of the match will be "away team will not win";
- If the value of the predicted indicator is negative, then the result of the match will be "home team will win".

That is, the result of a football match is predicted by the positive or negative sign of the output.

In 2009, Zavalodko at al., in their article, "Forecasting the results of football matches based on

fuzzy multi-criteria analysis” used fuzzy multi-criteria analysis [3]. The method of fuzzy multi-criteria analysis in choosing the best option based on fuzzy logical inference which uses the basis of linguistic rules of production type, allows you to predict the future games of football matches. The described structure of influencing factors and linguistic term sets allows to take into account the features of statistical data.

Douwe Buurisma developed a system with the intention of “breaking” the inequality of bookmakers on football [4]. He used seven algorithms of machine learning, such as: MultiClassClassifier, RotationForest, Logitboost, BayesNet, Naive Bayes and Home Wins. The forecast accuracy is 55%. He admitted that in the end his system did not meet the goal of “beating” bookmakers. The limitation in this study is that the prediction accuracy was relatively low.

Albina Yezus used data set from two sources to predict the football match outcome. The objective of this paper was to achieve maximum accuracy [5]. She used machine learning methods, such as the Nearest-Neighbor method and Random Forest. The accuracy obtained from these two methods was 63.4% and 55.8%, respectively. Albina suggested that other methods such as SVM and logistic regression should be used to achieve high accuracy.

Ben Ulmer and Matthew Fernandez predicted the soccer match results in English Premier League [6]. They used some methods of machine learning, namely the method of gradient descent, Naïve Bayes, hidden Markov model, Support Vector Machine and Random forest. They suggested not to predict the first few matches because of the lack of data on the form of the team. They compared all methods, of which SVM showed the best result with an accuracy of 69%.

Focusing more towards complex data set, Igiri Nwachukwu developed a more complete system with improved prediction accuracy, using factors that directly affect the result of a football match [7]. They used such methods as artificial neural network (ANN) and logistic regression (LR). The prediction accuracy is 85% and 93% for the ANN and LR methods, respectively [9].

Jongho Shin and Robert Gasparyan forecasted the result of the match using data from virtual games such as FIFA. They used ARI (overall player rating) of each player of the team to predict the results of the match in real time. The accuracy of predicting the match in real time is 75%, and in the virtual – 80% [8, 9].

In his article, Andrei Skorohod, predicted the results of football matches using a neural network [10]. He developed two multilayered neural networks of direct propagation with three and four hidden layers of neurons, respectively, which were used to predict the result of a football match and the number of goals scored in the match. The accuracy of this approach was 71.5%.

The main sources providing information for forecasting are the sites Soccerway, MyScore [11, 12]. This site provides: information about players who are not included in the starting lineup of the team; the expanded tournament table of the current championship, highlighting games played at home and away (showing

the number of goals scored at home / away, conceded at home / away, etc.). Also on the sites are the results of the last 5 games played by the home team and away team. Information on the teams of the Ukrainian Championship is provided by the Transfermarkt site [13].

Methods. In this article, to predict the results of football matches, we use the following methods - method based on the weighted sum of indicators, method based on Poisson distribution and method based on forecasting rules.

Method based on the weighted sum of indicators.

First of all, you need to choose the indicators that form the rating of the football team. It is advisable to choose such parameters for evaluation which the collection of statistical information would not be difficult. At the same time, these indicators should have a high degree of importance for the team rating. When choosing indicators, it is necessary to take into account that there are indicators: incentives and disincentives. Incentives are indicators which increase leads to an increase in the team's rating, and disincentives are those which decrease leads to an increase in the rating of the football club.

Each of the indicators can affect the rating of the team in different ways to a certain extent, and this degree is different. In order to reflect this difference in the model, we introduce weight coefficients [14].

Having determined with the indicators and weighting factors, the team rating is calculated. To do this, you must perform a number of actions.

Calculate the relative weight of the indicator for each team (formula 1 for incentives indices, formula 2 for indices – disincentives):

$$Brel_{ij} = \frac{B_{ij}}{\sum_{j=1}^2 B_{ij}}, \quad (1)$$

where B_{ij} – initial value of the i -th indicator, j -th team;

$Brel_{ij}$ – relative weight of the i -th indicator, j -th team, $i = \overline{1, n}$.

$$Brel_{ij} = 1 - \frac{B_{ij}}{\sum_{j=1}^2 B_{ij}}, \quad (2)$$

Calculate the team rating by the formula:

$$Ra_j = Mrel_j^T \times W, \quad (3)$$

where W – the matrix of weight coefficients;

$Mrel_j^T$ – the matrix containing the relative weight of the indicators for each j -th team;

Ra_j – the j -th team rating.

For the convenience of comparison, we can normalize the rating of teams by one according to the formula:

$$Rrel_j = \frac{Ra_j}{\sum_{j=1}^2 Ra_j}, \quad (4)$$

where Ra_j – absolute rating of the j -th team;

$Rrel_j$ – the rating of the team, normalized to one.

To interpret the obtained team rating, it is necessary to enter the so-called linguistic interval scale.

In this model, a five-level linguistic scale shown in Table 1 will be used.

Table 1 – Five-level linguistic scale

Match result	Team rating
Win	$X > 75\%$
Win or draw	$55\% < X \leq 75\%$
Draw	$45\% \leq X < 55\%$
Lose or draw	$25\% \leq X < 45\%$
Lose	$X < 25\%$

Method based on Poisson distribution. The Poisson distribution is a mathematical concept for translating the mean statistical values into the probability relative to the variable results. Before using Poisson's formula to calculate the likely outcome of a match it is necessary to calculate the average number of goals that each team is likely to score in this match. This number can be calculated by determining the “attack strength” and “defence strength” of each team and comparing these indicators.

The choice of the data range is extremely important in calculating the “attack strength” and “defence strength”. If the range is too extended, then the data will not match the current strength of the teams. However, if the range is too narrow, this can lead to data corruption due to the frequent occurrence of the results that differ sharply from other values in the available data set [14–17].

Step – 1: Calculation “attack strength” and “defences strength”.

Step – 1.1: The first step in calculating “attack strength” based upon last season’s results is to determine the average number of goals scored per team, per home game, and per away game.

Calculate this by taking the total number of goals scored last season and dividing it by the number of games played.

$$X = \frac{X_1}{X_2}, \quad (5)$$

where X – average number of goals scored at home;

X_1 – season total goals scored at home;

X_2 – total number of home games (in season).

$$Y = \frac{Y_1}{Y_2}, \quad (6)$$

where Y – average number of goals scored away;

Y_1 – season total goals scored away;

Y_2 – total number of away games (in season).

Step – 1.2: Also need the average number of goals an average that team concedes. This is simply the inverse of the above numbers (since the number of goals a home team scores will be equal to the same number that an away team concedes).

Step – 2: Predicting the number of goals of home team.

Step – 2.1: Calculate “attack strength” of the home team.

Step – 2.1.1: Take the number of goals scored at home last season by the home team and divide by the number of home games.

Step – 2.1.2: Divide this value by the season’s average home goals scored per game to get an “attack strength”.

$$Attack_h = \frac{x_1}{X}, \quad (7)$$

where $Attack_h$ – “attack strength” of the home team;

x_1 – the number of goals scored at home last season by the home team;

X – the number of home games.

Step – 2.2: Calculate “defence strength” of the away team.

Step – 2.2.1: Take the number of goals conceded away from home last season by the away team and divide by the number of away games.

Step – 2.2.2: Divide this by the season’s average goals conceded by an away team per game to get a “defence strength”.

$$Defence_a = \frac{y_1}{Y'}, \quad (8)$$

where $Defence_a$ – “defence strength” of the away team;

Y' – the average number of goals conceded in away match;

y_1 – the number of goals conceded in away matches last season by the away team;

y – the number of away games.

Now it is possible to use the following formula to calculate the likely number of goals that the home team can score.

$$Goal_h = Attack_h \times Defence_a \times X, \quad (9)$$

Step – 3: Predicting the number of goals of the away team.

Step – 3.1: Calculate “attack strength” of the away team.

Step – 3.1.1: Take the number of goals scored away from home last season by the away team and divide by the number of away games.

Step – 3.1.2: Divide this by the season’s average goals scored by an away team per game to get an “attack strength”.

$$Attack_a = \frac{y'_1}{Y}, \quad (10)$$

where $Attack_a$ – “attack strength” of the away team;

y_1 – the number of goals scored away from home last season by the away team;

y – the number of away games.

Step – 3.2: Calculate “defence strength” of the home team.

Step – 3.2.1: Take the number of goals conceded at home last season by the home team and divide by the number of home games.

Step – 3.2.2: Divide this by the season’s average goals conceded by the home team per game to get a “defence strength”.

$$Defence_a = \frac{x'_1}{X'}, \quad (11)$$

where $Defence_a$ – “defence strength” of the home team;

X' – the average number of goals conceded at home games;

x'_1 – the number of goals conceded in home matches last season by the home team,

x – the number of home games.

Now it is possible to use the following formula to calculate the likely number of goals that away team can score.

$$Goal_a = Attack_a \times Defence_h \times Y, \quad (12)$$

Poisson Distribution allows to use these figure ($Goal_h, Goal_a$) to distribute 100% of probability across a range of goal outcomes for each team [18].

$$P(a; b) = \frac{(e^{-b})(b^a)}{a!}, \quad (13)$$

where a – random variable;

$e = 2,7182818285$;

b – the likely number of goals that one of the teams can score.

Method based on forecasting rules. As factors which influence the result of the match were chosen: the loss of key players; team form; the level of the team; home factor; goals scored and conceded. The influencing variables are the differences of each of the factors for a pair of teams.

The difference of the losses of key players:

$$z_1 = c_1 - c_2, \quad (14)$$

where c_1 – the number of traumatized and disqualified players in the home team;

c_2 – the number of traumatized and disqualified players in the away team.

The difference in the team's form:

$$z_2 = g_1 - g_2, \quad (15)$$

where g_1 – points scored by the home team in the last five games;

g_2 – points scored by the away team in the last five games.

The difference in the level of teams:

$$z_3 = l_1 - l_2, \quad (16)$$

where l_1 – tournament position of the home team in the current championship;

l_2 – tournament position of the away team in the current championship.

Field factor:

$$z_4 = p_1 - p_2, \quad (17)$$

where p_1 – the number of points scored by the home team in home games in the last five matches;

p_2 – the number of points scored by the away team in away games in the last five matches.

The difference of scored and conceded goals:

$$z_5 = m_1 - m_2, \quad (18)$$

where m_1 – the difference of scored and conceded goals of the home team;

m_2 – the difference of scored and conceded goals of the away team.

The term-sets shown in Table 2, are used for the linguistic assessment of the input and output variables.

Table 2 – Term-sets

Variable	Term-sets	Interval
z_1	Large bench (LB)	[-6; -2]
	Equal bench (EB)	[-1; 1]
	Short bench (SB)	[2; 6]
z_2	Many losses (ML)	[-15; -13]
	Few losses (FL)	[-12; -6]
	Equal games (EG)	[-5; 5]
	Few wins (FW)	[6; 12]
	Many wins (MW)	[13; 15]
z_3	Leader (L)	[-n; -11]
	Top – score (TS)	[-10; -6]
	Middle (M)	[-5; 5]
	Bottom team (BT)	[6; 10]
	Outsider (O)	[11; n]
z_4	Absolute failure (AF)	[-n; -7]
	Failure (F)	[-6; -4]
	Equality (E)	[-3; 3]
	Advantage (A)	[4; 6]
	Absolute advantage (AA)	[7; n]
z_5	Shameful meeting (ShM)	[-n; -11]
	Equal meeting (EM)	[-10; 10]
	Crushing meeting (CrM)	[11; n]
r Match result	Loss (L)	
	Draw (D)	
	Win (W)	

Expert linguistic statements reflecting the relationship between the factors ($z_1 - z_5$) and the result of a football match (r) are presented in Table 3.

Table 3 – Rules base

№	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5	r
1	LB	EG	TS	E	EM	W
2	EB	FW	L	E	CrM	W
3	LB	FW	TS	A	CrM	W
4	SB	EG	M	AA	P	W
5	LB	EG	L	A	CrM	W
6	EB	MW	TS	A	EM	W
7	SB	EG	TS	E	CrM	D
8	LB	FL	M	AA	EM	D
9	SB	EG	M	E	EM	D
10	EB	FW	BT	AF	ShM	D
11	EB	EG	M	A	EM	D
12	SB	FL	O	F	ShM	L
13	EB	FL	BT	E	EM	L
14	LB	FL	M	E	EM	L
15	EB	FL	BT	AF	ShM	L
16	SB	EG	BT	E	ShM	L
17	LB	ML	M	E	EM	L

Each string in this table corresponds to one «IF–TO» rule, for example, the first string equals to rule:

IF z_1 is «large bench» and z_2 is «equal games» and z_3 is «top – score» and z_4 is «equality» and z_5 is «equal meeting», TO r is «win».

To determine which method is the best there is a need to compare them. The comparison of methods by several criteria is presented in Table 4.

Table 4 – Comparison of methods

Criteria Methods	Number of forecasting factors	Forecasting result	Forecasting match score	Situational factors are considered
Method based on the weighted sum of indicators	n	%	no	no
Method based on Poisson distribution	2	%	yes	no
Method based on forecasting rules	n	term	no	no

Each method has its advantages and disadvantages, as can be seen in Table 4. Therefore, these methods need to be used together, since the method based on the weighted sum of indicators and the method based on forecasting rules use a large number of factors that lead to an increased forecast accuracy. On the other hand, using the method based on Poisson distribution it is possible to predict the score of a football match. However, each method does not account for situational factors. In this case, these methods do not take into account the arrival of a new coach / player on the result of the team. The potential fatigue of the team associated with the performance of the team in other football tournaments (Champions League, Europa League, etc.) is also not taken into account.

Results. In the introduction, we indicated various techniques used for prediction of a winner. These methods involve a combination of different parameters which can give various accuracy. We have presented a comparative study of these methods. To test the methods the match of the English Premier League season 2016 – 2017 between

Manchester United and Tottenham Hotspur, which was held on October 28, 2017 was taken.

Method based on the weighted sum of indicators.

The following parameters were selected for the formation of a football team rankings:

- Place in the tournament table;
- Total points *;
- Goal difference;
- Total number of players skipping the match;
- Points home/away *;
- Home match (1 – yes, 0 – no)

* – the index is calculated as the sum of the values for the last 5 matches.

It should be specified that among the selected parameters disincentives are the following:

- Place in the tournament table;
- Goal difference;
- Total number of players skipping the match.

Other indicators are incentives.

Table 5 presents the main indicators that form the ranking of football teams, the value of the indicators of each team and weight (i.e. importance) of each indicator.

Table 5 – Data for the forecast

№	Indicator	Manchester United	Tottenham Hotspur	Weight coefficient
1	Place in the tournament table	2	3	6
2	Total points	20	20	9
3	Goal difference	18	13	7
4	Total of players skipping the match	5	2	5
5	Points home/away	15	13	9
6	Home match	1	0	7

Using data from a Table 5 it is possible to calculate the relative weight of the index for every team.

In a table 6 the relative weight of index is presented for every team.

Table 6 – Relative weight of the index

№	Indicator	Manchester United	Tottenham Hotspur
1	Place in the tournament table	0,6	0,4
2	Total points	0,5	0,5
3	Goal difference	0,42	0,58
4	Total number of players skipping the match	0,29	0,71
5	Points home/away	0,54	0,46
6	Home match	1	0

Knowing relative weight of indexes of each team it is possible to calculate rating of teams.

In Table 7 the rating of teams is presented.

Table 7 – Team ranking

Team	Manchester United	Tottenham Hotspur
Team ranking	24,29	18,71
Team rating, normalized per unit	0,56	0,44
Rating in% (X)	56,48%	43,52%
Match result	Win or draw (55%<X<=75%)	Lose or draw (25<=X<45%)

From Table 7 it follows that the Manchester United team will win or play in a draw with the team of Tottenham Hotspur.

Method based on Poisson distribution. The first step in calculating “attack strength” based upon last season’s results is to determine the average number of goals scored per team, per home game, and per away game: to calculate this by taking the total number of goals scored last season and dividing it by the number of games played. In 2016 – 2017 English Premier League season, these values were 607/380 for home games and 457/380 for away games. This means that on average in one home match the teams were scored 1.597 goals ($X = Y' = 1,597$) and in the away match – 1.202 goals ($Y = X' = 1,202$).

The data for calculating the “attack strength” and the “defense strength” of the teams Manchester United and Tottenham Hotspur are taken from the Soccerway website and are presented in Figure 1

Figure 1 – Tournament table of the teams of the season 2016 – 2017

The results of calculating the attack strength and the defense strength of the teams Manchester United and Tottenham Hotspur are presented in Table 8.

Table 8 – Defence strength and attack strength

Season total goals scored at home		607
Total number of home/away games (in season).		380
Average number of goals scored at home		1,597
Season total goals scored away		457
Average number of goals scored away		1,202
Average number of goals conceded at home		1,202
Average number of goals conceded away from home		1,597
Team	Manchester United	Tottenham Hotspur
Indicator		
Number of goals scored at home last season by the home team	26	–
Number of goals conceded away from home last season by the away team	–	39
Number of home matches	19	–
Number of away matches	–	19
Number of goals conceded in home matches last season by the home team	12	–
Number of goals conceded in away matches last season by the away team	–	17
Attack strength	0,857	1,707
Defence strength	0,525	0,560
Number of goals	0,766	1,078

It is definite that, no game ends 0,766 vs. 1,078 – this is simply the average. Poisson Distribution, a formula created by French mathematician Simeon Denis Poisson, allows us to use these figures to distribute 100% probability across a range of goal outcomes for each team.

The distribution of Poisson for our match is presented in the Table 9.

Table 9 – Poisson distribution for our match

Goals \ Teams	0	1	2	3	4	5
Manchester United	46,46%	35,61%	13,65%	3,49%	0,67%	0,10%
Tottenham Hotspur	34,03%	36,68%	19,77%	7,10%	1,91%	0,41%

This example shows that there is a 46,46% chance that Manchester United will fail to score, but a 35.61% chance they will score a single goal and a 13.65% chance they'll score two. Tottenham Hotspur, on the other hand,

is has 34.03% not to score, 36.68% – to score one and 19.77% – to score two.

Method based on forecasting rules. The result of a football match by the rules of forecasting is presented in Table 10.

Table 10 – The result of a football match based on the rules of forecasting

Team \ Variable	Manchester United	Tottenham Hotspur	Forecast
z_1	5 people	2 people	3 SB
z_2	10 points	10 points	0 EG
z_3	2	2	-1 M
z_4	15 points	13 points	2 E
z_5	+19	+12	7 EM
r	Draw		D
Match result	1	0	

According to this method, the match between Manchester United and Tottenham Hotspur was supposed to end in a draw, but Manchester United won with the minimum account 1 – 0.

Compare the results of the methods to determine which of the methods accurately predicted the result of the match.

The results of the methods are presented in Table 11.

Table 11 – Comparison of results

Result \ Methods	Lose	Draw	Win
Weighted sum method of indicators	–	±	±
Poisson distribution	–	+	–
Forecasting rules	–	+	–

All the methods indicated that the match Manchester United – Tottenham Hotspur is to end in a draw. This is due to the fact (The reason is) that both teams are equal in strength and they are on the 2nd and 3rd places of the standings, respectively. Also, the home team had a big loss of players (5 traumatized people) and low performance on the home field in the 2016 – 2017 season. However, the weighted sum method of indicators also indicated that the match could end in victory for Manchester United.

Discussion. It can be seen from the literature review that different models has a different set of factors which affect the forecast of a football match. Thus, the accuracy of the system will depend on the choice and calculation of factors. To achieve better accuracy than previous models, it was decided to choose 5–6 main factors that

significantly affect the outcome of the match. The proposed model uses 3 methods for predicting a football match results. Testing these methods shows that low prediction accuracy is at the method based on forecasting rules. The method based on the weighted sum of indicators and the method based on Poisson distribution have accuracy that is not worse than the methods considered in the literature review have.

The method based on the weighted sum of indicators uses 6 indicators, which affect the rating of the team to a certain extent. The influence of indicators was displayed in the form of weight coefficients. These weights increase the accuracy of predicting a football match results. However it should be kept in mind that this approach involves adjusting of the model parameters by an analyst immediately before each match. After analyzing the statistical indicators of teams and guided by their own experience, an analyst should choose the weight coefficients, and may exclude some indicators from the calculation.

In the distribution of Poisson's two main aspects of the football game are the attack and defense. Thus, comparing these two factors between two teams gives us intuition about the best team, both attacking and protecting. However Poisson Distribution is a simple predictive model that doesn't consider numerous factors. Situational factors – such as club circumstances, game status etc. – and subjective evaluation of the change of each team during the transfer window are completely ignored. Correlations are also ignored; such as the widely recognized pitch effect that shows certain matches have a tendency to be either high or low scoring.

The method based on rules of forecasting predicts the results of football matches based on the conditions “IF-TO” rule base. Testing the model shows that the

received forecasts are in good agreement with the actual outcomes of football matches. The described base of rules in the article allows us to predict the outcome of a football match based on available information about the current state of teams and the results of previous fights.

Conclusion. Comparative research helps to determine which method is best of all. The method based on the weighted sum of indicators predicts a result of a football match with an accuracy of more than 77,6%. The method based on Poisson distribution uses another set of prediction factors and predicts the match result with an accuracy of 83,5%. As for the method based on rules of forecasting, they predict the result of the match with an accuracy of 70,4%. Thus, we can conclude that the accuracy of the system will depend on the choice of forecasting factors: the accuracy of the calculation of parameters and the choice of the best forecasting method.

References

1. Штовба С. Д. Прогнозирование результатов футбольных матчей на основе нечетких правил / С. Д. Штовба, В. В. Вивдюк // Вестник молодых ученых. – 2002. – С. 57 – 64.
2. Штовба С. Д. Прогнозування результатів футбольних матчів за допомогою машини опорних векторів / С. Д. Штовба, А. Д. Цаконас, Г. Д. Дуніас // Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту. – 2003. – С. 181–186.
3. Заволодько А. Э. Прогнозирование результатов футбольных матчей на основе нечеткого многокритериального анализа / А. Э. Заволодько, М. И. Рыженко // Национальный технический университет «ХПИ». – 2009. – С. 129–131.
4. Douwe B. Predicting sports events from past results / B. Douwe // University of Twente. – 2011. – С. 1–6.
5. Albin Y. Predicting outcomes of Soccer matches using machine learning / Y. Albin // Saint-Petersburg State University Mathematics and Mechanics Faculty. – 2014. – С. 3–12.
6. Ben U. Predicting Soccer Match results in the English Premier League / U. Ben, F. Matthew // School of Computer Science Stanford University. – 2014. – С. 1–5.
7. Igiri, Chinwe P. An improved prediction system for Football match result / P. Igiri, Chinwe, O. Nwachukwu, Enoch. // Department of Computer Science, University of Port Harcourt. – 2014. – С. 12–20.
8. Jongho S. A novel way of Soccer match prediction / S. Jongho, G. Robert. – 2014. – С. 1–5.
9. Kushal G. Football Match Winner Prediction / G. Kushal, S. Harshal, V. Saurabh, D. Khushali // Department of Computer Engineering, Dwarkadas J. Sanghvi College of Engineering, Mumbai, India. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, volume 5, issue 10, October 2015. – С. 364–368.
10. Скороход А. В. Прогнозирование результатов спортивных событий на основе глубокой нейронной сети / А. В. Скороход // Міжнародний науковий журнал. – 2016. – № 7. – С. 122–123.
11. Soccerway. Available at: <http://ru.soccerway.com/>. (accessed 5.10.2017).
12. MyScore. Available at: <https://www.myscore.com.ua/>. (accessed 5.10.2017).
13. Transfermarkt. Available at: <https://www.transfermarkt.com/>. (accessed 5.10.2017).
14. Behter L. V. Weighted sum of indexes method for predicting football matches / L. V. Behter, N. I. Klevets // Best.Today. – Available at: <http://bets.today/ru/articles/weighted-sum-of-indexes>. (accessed 20.10.2017).
15. Ретклифф Д. Распределение Пуассона в ставках на футбол / Д. Ретклифф // Фораноль. – 22 December 2014. – Available at: <https://www.sports.ru/tribuna/blogs/foranol/717591.html>. (accessed 23.10.2017).
16. Benjamin C. Poisson Distribution: Predict the score in soccer betting / C. Benjamin // PINNACLE. – 27 April 2017. – Available at: <https://www.pinnacle.com/en/betting-articles/Soccer/how-to-calculate-poisson-distribution/MD62MLXUMKMXZ6A8>. (accessed 23.10.2017).
17. Temujin. Распределение Пуассона и футбольные ставки / Temujin // Хабрахабр. – 23 December 2016. – Available at: <https://habrahabr.ru/post/318150/>. (accessed 23.10.2017).
18. Sportorate. Распределение Пуассона на примере футбольных ставок // SPORTORATE. – 21 December 2015. – Available at: <http://sportorate24.ru/sportivnoe-investirovanie/raspredelenie-puassona-na-primere-futbolnyx-stavok/>. (accessed 23.10.2017).
19. Lars Распределение Пуассона в футболе // TIPBET – 25 December 2014. – Available at: <http://tipbet.ru/122396-raspredelenie-puassona-v-stavkah.html>. (accessed 23.10.2017).
20. Кузьменко М. В. Расчет исхода футбольного матча с помощью распределения Пуассона / М. В. Кузьменко, А. В. Шапок, Н. К. Прихач // Белорусский национальный технический университет. – С. 132.

References (transliterated)

1. Shtovba S. D., Vivdyuk V. V. Prognozirovanie rezul'tatov futbol'nyh matchej na osnove nechetkih pravil [Prediction of football match results based on fuzzy rules]. *Vestnik molodyih uchenyih* [Bulletin of Young Scientists]. Publ., 2002, pp. 57 – 64.
2. Shtovba S. D., Tsakonas A. D., Dunias G. D. Prognozuvannya rezul'tativ futbol'ny'x matchiv za dopomogoyu mashyn'ny'x oporny'x vektoriv [Forecasting football match outcomes with support vector machines]. *Visnyk Zhytomyr's'kogo inzhenerno-tekhnologichnogo insty'tuta* [Bulletin of the Zhytomyr Engineering and Technology Institute]. Publ., 2003, pp. 181–186.
3. Zavolod'ko A. Je. Prognozirovanie rezul'tatov futbol'nyh matchej na osnove nechetkogo mnogokriterial'nogo analiza [Forecasting the results of football matches based on fuzzy multi-criteria analysis]. National Technical University "KhPI". Kharkov, NTU "KhPI" Publ., 2009, pp. 129–131.
4. Douwe B. Predicting sports events from past results. University of Twente Publ., 2011, pp. 1–6.
5. Albin Y. Predicting outcomes of Soccer matches using machine learning. Saint-Petersburg State University Mathematics and Mechanics Faculty Publ., 2014, pp. 3–12.
6. Ben U, Matthew F. Predicting Soccer Match results in the English Premier League. School of Computer Science Stanford University Publ., 2014, pp. 1–5.
7. Igiri, Chinwe P., Nwachukwu, Enoch. O. An improved prediction system for Football match result. Department of Computer Science, University of Port Harcourt Publ., 2014, pp. 12–20.
8. Jongho S, Jongho G. A novel way of Soccer match prediction. Publ., 2014, pp. 1–5.
9. Kushal G. Football Match Winner Prediction / G. Kushal, S. Harshal, V. Saurabh, D. Khushali // Department of Computer Engineering, Dwarkadas J. Sanghvi College of Engineering, Mumbai, India. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, volume 5, issue 10, October 2015, pp. 364–368.
10. Skorohod A. V. Prognozirovanie rezul'tatov sportivnyh sobytij na osnove glubokoj nejronnoj seti [Forecasting the results of sports events based on deep learning network]. *Mizhnarodnij naukovi zhurnal* [International Scientific Journal]. Publ., 2016, no 7, pp. 122–123.
11. Soccerway. Available at: <http://ru.soccerway.com/>. (accessed 5.10.2017).
12. MyScore. Available at: <https://www.myscore.com.ua/>. (accessed 5.10.2017).
13. Transfermarkt. Available at: <https://www.transfermarkt.com/>. (accessed 5.10.2017).
14. Behter L.V. Weighted sum of indexes method for predicting football matches / L.V. Behter, N. I. Klevets // Best.Today. – Available at: <http://bets.today/ru/articles/weighted-sum-of-indexes>. (accessed 20.10.2017).
15. Retkliff D. Raspredelenie Puassona v stavkah na futbol [Poisson distribution in betting on football]. // Fora nol'. – 22 December 2014. – Available at: <https://www.sports.ru/tribuna/blogs/foranol/717591.html>. (accessed 23.10.2017).
16. Benjamin C. Poisson Distribution: Predict the score in soccer betting / C. Benjamin // PINNACLE. – 27 April 2017. – Available at: <https://www.pinnacle.com/en/betting-articles/Soccer/how-to-calculate-poisson-distribution/MD62MLXUMKMXZ6A8>. (accessed 23.10.2017).

17. *Temujin*. Raspredelenie Puassona i futbol'nye stavki [Poisson distribution and soccer bets]. // *Temujin* // *Habrahabr*. – 23 December 2016. – Available at: <https://habrahabr.ru/post/318150/>. (accessed 23.10.2017).
18. *Sportorate*. Raspredelenie Puassona na primere futbol'nyh stavok [Poisson distribution on the example of football betting]. // *SPORTORATE*. – 21 December 2015. – Available at: <http://sportorate24.ru/sportivnoe-investirovanie/raspredelenie-puassona-na-primere-futbolnyh-stavok/>. (accessed 23.10.2017).
19. *Lars*. Raspredelenie Puassona v futbole [Poisson distribution in football]. // *TIPBET* – 25 December 2014. – Available at: <http://tipbet.ru/122396-raspredelenie-puassona-v-stavkah.html>. (accessed 23.10.2017).
20. *Kuzmenko M.V., Shashok A.V., Prihach N.K.* Raschet ishoda futbol'nogo matcha s pomoshh'ju raspredeleniya Puassona [Calculating the outcome of a football match using the Poisson distribution]. / Belarusian National Technical University., 132p.

Надійшла (received) 22.11.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Прогнозування результатів футбольних матчів на основі збору інформації в інтернет / Я. О. Ключка, О. Ю. Чередніченко, А. В. Василенко, О. В. Яковлева // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 55 (1276). – С. 51–59. – Бібліогр.: 20 назв. – ISSN 2079-0023.

Прогнозирование результатов футбольных матчей на основе сбора информации в интернет / Я. А. Ключка, О. Ю. Чередниченко, А. В. Василенко, Е. В. Яковлева // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 55 (1276). – С. 51–59. – Библиогр.: 20 назв. – ISSN 2079-0023.

Forecasting the results of football matches on the Internet based information / Y. A. Klyuchka, O. Y. Cherednichenko, A. V. Vasilenko, O. V. Yakovleva // Bulletin of National Technical University "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No. 55 (1276). – P. 51–59. – Bibliogr.: 20. – ISSN 2079-0023.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Ключка Ярослав Олександрович – студент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», кафедра програмної інженерії та інформаційних технологій управління, м. Харків, Україна, тел.: (093) 385-10-95; e-mail: yarikklyuchka@mail.ru.

Ключка Ярослав Александрович – студент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», кафедра программной инженерии и информационных технологий управления, г. Харьков, Украина, тел.: (093) 385-10-95; e-mail: yarikklyuchka@mail.ru.

Klyuchka Yaroslav Aleksandrovich – student, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Department of Program Engineering and Information Technology Management, Kharkiv, Ukraine, tel.: (093) 385-10-95; e-mail: yarikklyuchka@mail.ru.

Чередніченко Ольга Юрійвна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри ПІТУ; тел.: (057) 707-64-74, (067) 754-79-44; e-mail: olha.cherednichenko@gmail.com.

Чередниченко Ольга Юрьевна – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры ПИИТУ; тел.: (057) 707-64-74, (067) 754-79-44; e-mail: olha.cherednichenko@gmail.com.

Cherednichenko Olga Yurevna – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor at the Department of SEMIT; tel.: (057) 707-64-74, (067) 754-79-44; e-mail: olha.cherednichenko@gmail.com.

Василенко Артем Вікторович – аспірант, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», кафедра програмної інженерії та інформаційних технологій управління, м. Харків, Україна, тел.: (097) 586-46-48; e-mail: artyom4ek@yandex.ua.

Василенко Артём Викторович – аспирант, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», кафедра программной инженерии и информационных технологий управления, г. Харьков, Украина, тел.: (097) 586-46-48; e-mail: artyom4ek@yandex.ua.

Vasilenko Artem Viktorovich – PhD Student, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Department of Program Engineering and Information Technology Management, Kharkiv, Ukraine, tel.: (097) 586-46-48; e-mail: artyom4ek@yandex.ua.

Яковлева Олена Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри інформатики; тел.: (057) 702-14-94; e-mail: olena.yakovleva@nure.ua.

Яковлева Елена Владимировна – кандидат технических наук, доцент, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, доцент кафедры информатики; тел.: (057) 702-14-94; e-mail: olena.yakovleva@nure.ua.

Yakovleva Olena Vladimirovna – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Kharkiv National University of Radioelectronics, Associate Professor at the Department of Informatics; tel.: (057) 702-14-94; e-mail: olena.yakovleva@nure.ua.

С. В. ЛУБЕНЕЦ, Е. П. ПАВЛЕНКО, Е. Н. ХАРЦИЙ

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ФИНАНСОВЫХ ИНВЕСТИЦИЙ

Пропонуються методи визначення цінових рівнів фіксації прибутку у прогнозування результатів інвестицій на світових фінансових ринках. Дані методи дозволяють виконувати адекватну оцінку ряду показників сили і якості цінових зон попиту/пропозиції для пошуку найбільш імовірних можливостей для прибуткового інвестування, прогнозувати розмір потенційного прибутку в кожній окремій інвестиції, а також визначати середньостатистичну прибутковість торгово-інвестиційної діяльності в цілому. Розроблено рекомендації щодо практичного застосування вказаних методів з урахуванням поточної ринкової ситуації.

Ключові слова: торгово-інвестиційна діяльність, прогнозування, фінансові інвестиції, фінансові ринки, ціновий ряд, прибуток.

Предлагаются методы определения ценовых уровней фиксации прибыли в прогнозировании результатов инвестиций на мировых финансовых рынках. Данные методы позволяют выполнять адекватную оценку ряда показателей силы и качества ценовых зон спроса/предложения для поиска наиболее вероятных возможностей для прибыльного инвестирования, прогнозировать размер потенциальной прибыли в каждой отдельной инвестиции, а также определять среднестатистическую доходность торгово-инвестиционной деятельности в целом. Разработаны рекомендации по практическому применению указанных методов с учетом текущей рыночной ситуации.

Ключевые слова: торгово-инвестиционная деятельность, прогнозирование, финансовые инвестиции, финансовые рынки, ценовой ряд, прибыль.

Methods are offered for determining the price levels for fixing profits in forecasting the results of investments in world financial markets, based on the analysis of price time series taking into account current financial indicators and the market situation. These methods allow an adequate assessment of a number of indicators of strength and quality of the price zones of the supply/demand in order to find the most probable opportunities for profitable investment, it is highly probable to forecast the size of the potential profit in each individual investment, and also to determine the average yield of trade and investment activities in general, taking into account a variety of investment transactions for a long time distance. Recommendations are developed on the practical application of the methods considered taking into account the current market situation. The ways of further researches of the mentioned problems are outlined taking into account the mentioned problem moments.

Keywords: trade and investment activities, forecasting, financial investments, financial markets, price range, profit.

Введение. В связи с развитием автоматизированных торговых систем и широкой популярностью автоматизированной торгово-инвестиционной деятельности на финансовых рынках, в настоящее время актуальными являются вопросы высоковероятного прогнозирования результатов финансовых инвестиций на этих рынках. При этом одним из ключевых факторов, определяющих вероятность прогнозирования, является способность финансовых аналитиков и инвесторов на основе ценовых временных рядов определять ближайшие инвестиционные (торговые) цели финансовых вложений.

Постановка проблемы. Известно [1, 2], что одним из наиболее важных компонентов эффективного инвестирования на финансовых рынках является поиск, построение на ценовом графике и оценивание специальных зон спроса/предложения (баз), характеризующихся наличием в них сильного дисбаланса между спросом и предложением.

В качестве показателей силы дисбаланса в зонах спроса/предложения могут выступать так называемые усилители дисбаланса [3]. К таким основным усилителям относятся следующие шесть усилителей: «Сила (Strength)», «Время и уровень (Time@Level)», «Вознаграждение и Риск (Reward/Risk)», «Касания (Retracement)», «Подход к зоне (Arrival)», «Общая картина (Big Picture)»

Однако при определении некоторых усилительных показателей зон спроса/предложения существует ряд проблем. В частности, одна из таких проблем связана с неоднозначностью в подходах к расчёту одного из ключевых усилителей

«Вознаграждение и Риск (Reward/Risk)» [4]. А это, в свою очередь, является следствием проблемы с определением ценового уровня первой (ближайшей) цели для планируемой финансовой инвестиции (тейкпрофита), на котором происходит автоматическое закрытие текущей торговой сделки с фиксацией прибыли. Действительно, ведь именно на основе параметра «Цель1» (TP1) и рассчитываются баллы по указанному усилителю:

$$\text{Вознаграждение/Риск} = \text{Цель1/Стоплосс}$$

или

$$\text{Reward/Risk} = \text{TP1/SL},$$

где «Стоплосс» (SL) – это ценовой уровень ограничения финансовых потерь, на котором происходит автоматическое прерывание текущей торговой сделки с фиксацией полученных убытков в случае неблагоприятного развития рыночной ситуации и движении цены в направлении, противоположном ожидаемому.

Анализ состояния проблемы. Усилитель «Вознаграждение и Риск» отражает соотношение потенциального размера ожидаемой прибыли планируемой финансовой инвестиции к размеру потенциального риска. Как известно, это критически важно для обеспечения среднестатистической прибыльности торгово-инвестиционной деятельности в целом, за результатами достаточно большого числа торговых сделок на длительной временной дистанции.

При расчете усилителя «Вознаграждение/Риск», а также при прогнозировании результатов финансовых инвестиций на основе анализа ценового временного ряда, в настоящее время применяются следующих два метода определения параметра «Цель1» (рис. 1):

— в качестве прогнозного размера потенциальной прибыли используется максимальное расстояние, на которое цена ушла от базы, прежде чем вернуться к ней снова («Способ 1»). Такой подход предложено определять, как прагматичный подход;

— в качестве прогнозного размера потенциальной прибыли используется расстояние до ближайшего к базе противоположного ценового уровня того таймфрейма, на котором выполняется вход в рынок («Способ 2»). Такой подход предложено определять, как пессимистичный подход.

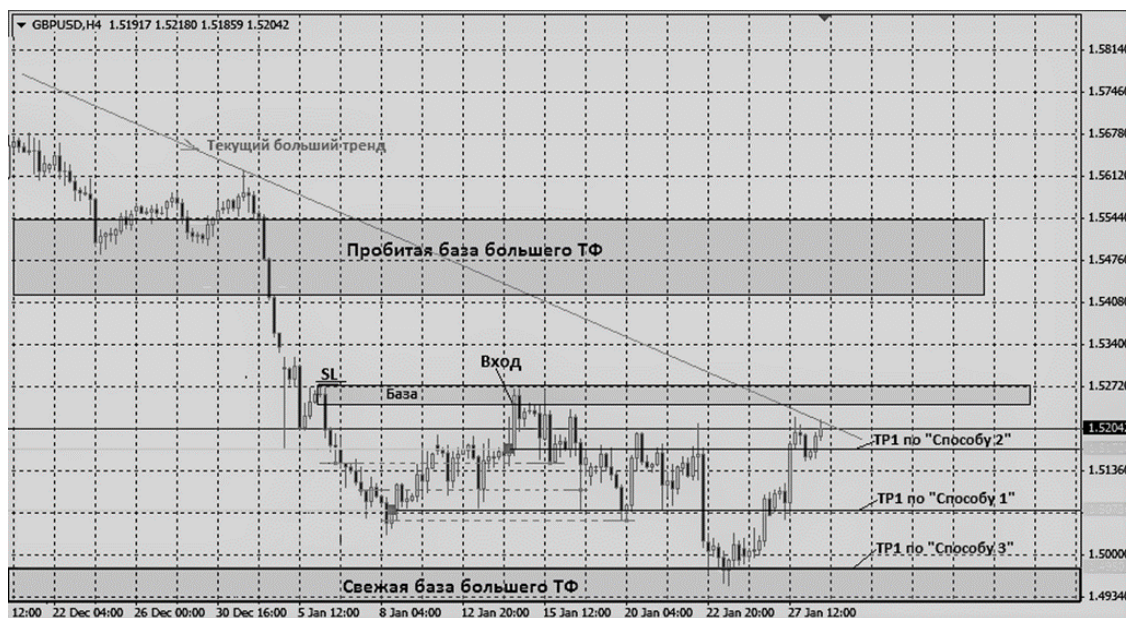


Рис. 1 – Способы определения «Цели 1» торговой инвестиции

Таким образом, получаем существующую неоднозначность в методах, а с ней и проблему адекватного текущей рыночной ситуации выбора одного из этих методов при прогнозировании и анализе результатов финансовых инвестиций. К тому же в настоящее время практически отсутствуют конкретные и детальные рекомендации по применению приведенных выше методов определения «Цели 1».

Метод решения проблемы. В первую очередь, учитывая реалии функционирования финансовых рынков и процессов инвестирования на них, авторами предложен для применения еще один – третий метод («Способ 3») к определению параметра «Цели 1», который рекомендуется обозначить как оптимистичный подход. При этом методе в качестве прогнозного размера потенциальной прибыли следует использовать расстояние до ближайшей ещё свежей, т.е. ранее не тестируемой ценой, противоположной встречной зоны спроса/предложения предыдущего тренда (см. рис. 1).

Кроме того, учитывая приведенное выше разнообразие методов определения «Цели 1», были разработаны следующие рекомендации и предложения по их использованию в практике финансового инвестирования.

Исходя из логики рыночных ценовых движений прагматичный «Способ 1» следует применять при движении цены в ценовом коридоре, а также в случае открытия торговых сделок в направлении движения цены на общей картине финансового рынка, т.е. в направлении тренда на большем таймфрейме. Это

вызвано тем, что при подобном развитии рыночной ситуации наиболее вероятным является дальнейшее движение цены в направлении данного тренда, и существует высокая вероятность того, что цена как минимум повторно пройдет прогнозное расстояние.

Пессимистичный «Способ 2» логично применять при торговле против большого тренда на старшем таймфрейме, поскольку в данном случае наиболее вероятный является ситуация, когда цена сможет сделать только отскок от базы до ближайшего противоположного уровня рабочего таймфрейма, после чего продолжить своё движение в направлении основного большого тренда. Известно, что в такой ситуации финансовую прибыль следует фиксировать быстро, на ближайшем к цене ценовом уровне.

Тогда из приведенных рекомендаций можно прийти к выводу, что прогнозный размер потенциальной прибыли с определением ближайшей торговой «Цели 1», а также расчёт усилителя «Вознаграждение/Риск», должны зависеть от значения ещё одного ключевого усилителя «Общая картина (Big Picture)». При этом предлагается следующий алгоритм связывания этих усилителей между собой:

— если «Большая картина»=2 балла (торговля за трендом), то для определения «Цели 1» и оценки усилителя «Вознаграждение/Риск» следует использовать «Способ 1»;

— если «Большая картина»=1 или 0 баллов (торговля против тренда), то для определения «Цели 1» и оценки усилителя «Вознаграждение/Риск» следует использовать «Способ 2».

Оптимистичный «Способ 3» также следует использовать при «Большая картина»=2 балла. Однако это следует делать с учетом не только направления текущего тренда, но и его стадии: применять «Способ 3» только в том случае, если этот тренд ещё пребывает в стадии «молодости». И хотя понятие

«молодости» тренда довольно расплывчатое, тем не менее его можно оценить количественно. Например, текущий тренд можно считать «молодым», если он ещё не достиг 50–70 % от длительности предыдущего большего тренда (рис. 2). В этом случае более высока вероятность продолжения текущего тренда.



Рис. 1 – Стадии текущего тренда на ценовом графике

Однако можно предложить и другую, более корректную трактовку «молодости» текущего тренда: его следует считать «молодым», если он ещё не достиг наиболее сильной зоны спроса/предложения (базы) предыдущего тренда (см. рис. 2). В противном случае такой тренд следует считать «старым» и «Способ 3» не применять.

Наконец, при прогнозировании результатов финансовых инвестиций с определением ближайшей торговой цели можно предложить использовать одновременно все три рассмотренные выше способа определения «Цели1», не зависимо от текущего контекста рынка. При этом инвестору в процессе сопровождения инвестиции следует последовательно фиксировать на соответствующих ценовых уровнях определённую долю полученной финансовой прибыли по мере движения цены в положительном направлении, путем закрытия только некоторой части активной торговой сделки. Т.е. часть сделки (или лот 1) закрыть с некоторой прибылью на пессимистичной «Цели1», другую часть (лот 2) – на прагматичной «Цели1», и наконец, третью часть сделки (лот 3) – на оптимистичной «Цели1».

Следует заметить, что учитывая психологию инвестиционных процессов [5], предложенная комбинация методов с фиксацией первой прибыли на пессимистичной «Цели1» придаст инвестору уверенность в своих действиях и сможет уберечь его от излишнего беспокойства, от деструктивных и разрушающих эмоциональных действий при дальнейшем сопровождении оставшихся открытых лотов инвестиционной сделки.

Выводы. В работе раскрыты методы определения финансовых целей планируемых

торговых сделок. Их применение позволяет прогнозировать размер потенциальной прибыли в каждой отдельно взятой инвестиции, а также определять среднестатистическую прибыльность торгово-инвестиционной деятельности в целом.

Предложено расширить существующие методы оценки прогнозного значения потенциальной прибыли так называемым оптимистичным подходом, применение которого может существенно повысить результаты финансовых инвестиций.

Однако рассматриваемые вопросы требуют дальнейшего исследования, вызванного применением в практике инвестирования отложенного способа установки торговых ордеров. Проблема здесь состоит в том, что на момент установки отложенного ордера инвестор не видит характера подхода цены к тестируемой базе, а также не может наблюдать, какие ценовые формации при этом подходе образовывались. По сути это приводит к тому, что инвесторы не имеют возможности адекватно определять ценовые уровни для ближайших финансовых целей, что исключает возможность высоковероятного прогнозирования финансовых результатов инвестиций.

Список литературы

1. Лубенец С. В. Аналіз часових рядів у прогнозуванні фінансових інвестицій / С. В. Лубенець // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Сер. «Економічна». – Харків : ХНУ ім. В. Н. Каразіна – 2013. – № 1068, вип. № 86. – С. 124–128.
2. Лубенец С. В. Проблемы определения зон спроса (предложения) в сильных ценовых трендах / С. В. Лубенец, Е. П. Павленко, Е. Н. Харций // Вісник НТУ «ХПІ». Серія : Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХПІ», 2015. – № 58 (1167). – С. 57–61.

3. Оценка уровней Спроса (Поддержки) и Предложения (Спротивления). – Режим доступа : <http://www.myforextrading.ru/2012/03/1.html>. – Дата обращения : 02 декабря 2017.
 4. Анатомия ценовых зон, или антиусилители баз. Часть 2. – Режим доступа : http://trader2014.blogspot.com/2017/10/2_22.html. – Дата обращения : 02 декабря 2017.
 5. Лубенець С. В. Проблеми формування психологічних якостей фахівців у сфері фінансових інвестицій / С. В. Лубенець, О. М. Харцій, Г. В. Афеєнченко // Вісник ХДАК : зб. наук. праць / М-во культури України, ХДАК. – Харків, 2014. – Вип. 45. – С. 275–282.
 2. Lubenec S. V., Pavlenko E. P., Harcij E. N. Problemy opredelenija zon sprosa (predlozhenija) v sil'nyh cenovyh trendah. [The problems of determining the zones of demand (supply) in strong price trends]. Visnyk NTU «XPI». Seriya: Sy'stemnyj analiz, upravlinnya ta informacijni tehnologiyi. Xarkiv: NTU «XPI», 2015, no 58 (1167), pp. 57–61.
 3. Ocenka urovnej Sprosa (Podderzhki) i Predlozhenija (Soprotivlenija). Available at: <http://www.myforextrading.ru/2012/03/1.html>. (accessed 02.12.2017)
 4. Anatomija cenovyh zon, ili antiusiliteli baz. Chast' 2. Available at: http://trader2014.blogspot.com/2017/10/2_22.html. (accessed 02.12.2017)
 5. Lubenez' S. V., Xarcij O. M., Afechenko G. V. Problemy` formuvannya psy`xologichny`x yakostej faxivciv u sferi finansovy`x investy`cij. [Problems of formation of psychological qualities of specialists in the field of financial investments]. Visnyk XDAK: zb. nauk. prac` / M vo kul`tury` Ukrayiny`, XDAK. Xarkiv, 2014, no 45, pp. 275–282.
- Поступила (received) 05.12.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Прогнозування результатів фінансових інвестицій / С. В. Лубенець, Є. П. Павленко, О. М. Харцій // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 55 (1276). – С. 60–63. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-0023.

Прогнозирование результатов финансовых инвестиций / С. В. Лубенец, Е. П. Павленко, Е. Н. Харций // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 55 (1276). – С. 60–63. – Библиогр.: 5 назв. – ISSN 2079-0023.

Forecasting the results of financial investments / S. V. Lubenec, E. P. Pavlenko, E. N. Harcij // Bulletin of National Technical University "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No. 55 (1276). – P. 60–63. – Bibliogr.: 5. – ISSN 2079-0023.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Лубенець Сергій Васильович – кандидат технічних наук, доцент, Харківська державна академія культури, доцент кафедри журналістики, м. Харків; тел.: (097) 361-55-09; e-mail: S.Lubenec@ukr.net.

Лубенец Сергей Васильевич – кандидат технических наук, доцент, Харьковская государственная академия культуры, доцент кафедры журналистики, г. Харьков; тел.: (097) 361-55-09; e-mail: S.Lubenec@ukr.net.

Lubenec Sergej Vasil'evich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Kharkiv State Academy of Culture, Associate Professor at the Department of Journalism, Kharkov; tel.: (097) 361-55-09; e-mail: S.Lubenec@ukr.net.

Павленко Євген Петрович – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри інформаційних управляючих систем, м. Харків; тел.: (050) 303-33-56; e-mail: evgenijpavlenko821@gmail.com.

Павленко Евгений Петрович – кандидат технических наук, доцент, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, доцент кафедры информационных управляющих систем, г. Харьков; тел.: (050) 303-33-56; e-mail: evgenijpavlenko821@gmail.com.

Pavlenko Evgenij Petrovich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Kharkiv National University of Radioelectronics, Associate Professor at the Department of the Information Control Systems, Kharkov; tel.: (050) 303-33-56; e-mail: evgenijpavlenko821@gmail.com.

Харцій Олена Миколаївна – кандидат психологічних наук, доцент, Харківська державна академія культури, доцент кафедри соціальної психології, м. Харків; тел.: (066) 372-20-13; e-mail: harley_99@ukr.net.

Харций Елена Николаевна – кандидат психологических наук, доцент, Харьковская государственная академия культуры, доцент кафедры социальной психологии, г. Харьков; тел.: (066) 372-20-13; e-mail: harley_99@ukr.net.

Harcij Elena Nikolaevna – Candidate of Psychological Sciences (Ph. D.), Docent, Kharkiv State Academy of Culture, Associate Professor at the Department of Social Psychology, Kharkov; tel.: (066) 372-20-13; e-mail: harley_99@ukr.net.

D. E. DVUKHGLAVOV, V. E. KULYNYCH

DEVELOPMENT OF SOFTWARE SOLUTION FOR BUILDING ROUTE OF A ORDERS GROUP DELIVERY IN PRESENCE OF TIME CONSTRAINTS

The problem of determining route of visiting several points is considered. The task differs from known ones that time for arrival at each point is specified. The tasks of these class are solved in courier delivery services of various goods types. Basis of proposed algorithm for determining delivery route is algorithm for forming the route tree used matrix, which specify distances between delivery points, which is supplemented by checking conditions for possibility of visiting points, according to defined delivery time vector. Various criteria for selecting vertices for inclusion in route are considered. During developing software that implements proposed algorithm, used parallel computation methods that allow to obtain a solution for problem of sufficiently large dimension at acceptable time.

Keywords: route planning in presence of time constraints, Hamiltonian contour, parallel computing.

Розглядається задача визначення маршруту відвідування декількох пунктів за наявності заданого часу прибуття в кожний пункт. Основою алгоритму рішення, що пропонується, складає алгоритм формування дерева маршрутів на основі визначеної матриці часу переміщення між пунктами, який був доповнений перевіркою умов можливості відвідування пунктів. При цьому пропонуються різні критерії вибору вершин для включення в маршрут. Під час розробки програмного забезпечення, яке реалізує запропонований алгоритм, використані методи паралельних обчислень.

Ключові слова: планування маршруту за наявності обмежень за часом, Гамільтонів контур, паралельні обчислення.

Рассматривается задача определения маршрута посещения нескольких пунктов при наличии заданного времени прибытия в каждый пункт. Основую предлагаемого алгоритма решения составляет алгоритм формирования дерева маршрутов на основе заданной матрицы времени перемещения между пунктами, который дополнен проверкой условий возможности посещения пунктов. При этом предлагаются различные критерии выбора вершин для включения в маршрут. При разработке программного обеспечения, реализующего предложенный алгоритм, использованы методы параллельных вычислений.

Ключевые слова: планирование маршрута при наличии временных ограничений, Гамильтонов контур, параллельные вычисления.

Introduction. Especially popular now are services "delivered to door". Now to buy something, it's enough to call phone, make your choice to manager, and receive your order after some time through from hands of delivery service employee. The same can be done if you go to website of an online store or delivery service. The list of items that can be ordered today includes mail and parcels, food and water, clothing and equipment. In any case, it is modern, it is convenient, it does not require time and effort.

In turn, in the context of an increasing flow of such orders, there is question about quality of delivery service. The quality should be understood as the absence of damage and delivery timeliness. It is really difficult to keep packaging due to randomness of influencing factors. But ensuring delivery at right time is important task for this service segment.

Timeless delivery is impossible without careful planning, which, in turn, should be ensured by high-quality information provision. Currently, route planning systems are powerful systems that receive data from geographic information services such as Google Maps and GIS2, which provide information about location of infrastructure and roads, and routing directions (or multiple) from one point to other. An example of such systems is "4logist" [1], "ABMcloud" [2], "Anthill Logistics" [3], and others.

Meanwhile, algorithmic provision of such systems can be improved. In general case, delivery manager must make delivery route plan which will be minimal. Such task in scientific world was called "The Traveling Salesman Problem". Solutions and algorithms for solving this problem are known too. Meanwhile, in a number of delivery spheres planning should take into account an extra mandatory condition – delivery of orders at specified

time. Such task often arises when delivering a group of "food" orders (pizza or sushi). And in such arrangement of implemented solutions in known software products there etc.

The purpose of article. Direction of improvement of known forming routes methods is account of specified delivery deadlines. This article presents method of solving problem in formulated initial conditions and results of software implementation development of this method.

Problem formulation and formalization. In general case, there is a source from which goods or services are delivered by customers. Depending on product which will be delivered, it may be a wholesale warehouse, a production shop, a bakery or a kitchen shop, a postal terminal. Future in this article such point will be called "Logistics Center" (LC).

The meaningful resolution of this problem looks like this. There are orders in LC, each of which must be delivered to their destination. For each order there is a deadline – time not later than order must be delivered. Time required to transfer from LC to destination points and times required to transfer between points is calculated and stored in memory at stage of system prepare. It is necessary to find orders delivery sequence where number of orders with violated time term will be minimal.

For formalized statement of task, following notation and variables must be entered.

Let n – the number of orders. Then designate the delivery time for a point i as follows t_i^D , where $i = \overline{1, n}$. Matrix $\{t_{ij}\}_{i=0, j=0}^{n, n}$, will consist of the elements t_{ij} – which is the time to move from point i to point j . An example of distance matrix for three points and LC is presented in Table 1.

Table 1 - Example of displacement matrix for 3 points and LC

	LC	1	2	3
LC	0	t_{01}	t_{02}	t_{03}
1	t_{10}	0	t_{12}	t_{13}
2	t_{20}	t_{21}	0	t_{23}
3	t_{30}	t_{31}	t_{32}	0

The path matrix has following properties:

- each element of main diagonal contains zeros since path from point to itself is zero;
- path matrix is symmetric matrix, since travel time from point i to point j equals time of moving from point j to point i .

Following restrictions determine the conditions for constructing route. Let x_i be the order number executed by i -th account, where $i = \overline{1, n}$. Next condition is imposed on these variables:

$$x_i \in \{1, 2, \dots, n\}, i = \overline{1, n} \quad (1)$$

$$x_i \neq x_j, i \neq j. \quad (2)$$

This restriction ensures that all points are bypassed, and in this case, none of items can be visited more than once. Such conditions correspond to known travel salesman problem (The Traveling Salesman Problem) [4], in which it is necessary to bypass all points from a definite list exactly once and return to start point (in our case – to LC).

The criterion of optimality of this task should ensure that timely delivery of order is taken into account. Let $y(i, x)$ be number that x_i will be executed, where $i = \overline{1, n}$. Then denote by $z_{y(i, x)}$ – time at which order will be delivered to point i . Formula for calculating $z_{y(i, x)}$ is presented as expression (3):

$$z_{y(i, x)} = t_{0x_1} + \sum_{j=1}^{y(i, x)} t_{x_j x_{j+1}}. \quad (3)$$

Finally, let denote by $w_{y(i, x)}$ a binary value equal to 0 if directive time of order is not violated and 1 in otherwise. The formula for calculating $w_{y(i, x)}$ is presented as expression (4):

$$w_{y(i, x)} = \begin{cases} 0, & \text{if } z_{y(i, x)} \leq t_{y(i, x)}^D; \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases}, i = \overline{1, n}. \quad (4)$$

Using introduced notation, it is possible to formulate an optimality criterion for the problem. This criterion is as follows (expression (5)):

$$\sum_{i=1}^n w_i \rightarrow \min. \quad (5)$$

Thus, problem for solve consists in minimizing target function represented by expression (5) under conditions (1) and (2).

Solution of this problem is to find Hamiltonian cycles on a graph, that is closed paths that bypass all vertices in a graph exactly once. Methods for solving such problem without accounting time criterion are known (for example [5]). Most popular of them is method of branches and boundaries and method of successive improvement of solution. Meanwhile, they are not fully suited to solution of this task.

Algorithm for determining delivery route with account time constraints. Proposed approach is to consider all possible simple paths that begin at arbitrarily selected starting point, until a Hamiltonian cycle is found or all possible paths will not be explored. Such scheme of operations became basis of algorithm for determining delivery route in presence of certain delivery deadlines, idea of which is presented in [6]. Consider steps of algorithm.

Each of branch tree vertices will be represented in $v = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k)$, where k is vertex level, path length in branch tree from root to given vertex (i.e. sequence of distance from LC to items starting with α_1 and ending with α_k). When $k = 0$, it is necessary to designate vertex as $v = ()$. Also denote by $B(v)$ and $H(v)$ corresponding upper and lower bounds of v ; by V – vertices v .

Sequence of algorithm actions is next.

Step 1. Initialize branch tree $V = \{(1), (2), \dots, (n)\}$ and go to step 2.

Step 2 (stop condition). At this step stop check is performed like (6):

$$|V| = 1 \text{ and } B(v) = H(v). \quad (6)$$

If this condition is met, then solution is found. Optimal path is path v .

Step 3 (branching). Define $v = \text{Branching}(V)$. Define the set $\beta = \{1, 2, \dots, n\} \setminus v$. Next define new set $V = V \setminus \{v\} \cup \{v, \beta_i\}, i = \overline{1, n-k}$ (i.e. excludes vertex v and add its descendants). Go to step 4.

Step 4 (clipping). For each pair of vertices $v', v'' \in V, v' \neq v''$ verify condition (7):

$$B(v') \leq H(v''). \quad (7)$$

When the condition is fulfilled, perform following operation (see (8)):

$$V = V \setminus \{v''\}. \quad (8)$$

Then go to step 2.

The $\text{Branching}(V)$ function allows to find among the options best vertex for fastest way to get decision result.

The $\text{Branching}(V)$ function can be implemented in several ways. During work, there are three options of branching that differ in inclusion vertices rules in ways

tree may considered. In this case, in all options, sections of way that lead to vertices that are already included in way are not included.

The search strategy "Breadth". In this variant $Branching(V) = v$ such that $v = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k)$, $v' = (\alpha'_1, \alpha'_2, \dots, \alpha'_k) \in V$ and condition $k \leq k'$ is satisfied, i.e. choose vertex whose last element index is smallest.

Optimistic strategy. In this variant $Branching(V) = v$ such that $v = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k)$, $v' = (\alpha'_1, \alpha'_2, \dots, \alpha'_k) \in V$ and condition $H(v) \leq H(v')$ is satisfied, i.e. choose vertex whose high estimate of delivery time is better.

Realistic strategy. In this variant $Branching(V) = v$ such that $v = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k)$, $v' = (\alpha'_1, \alpha'_2, \dots, \alpha'_k) \in V$ and the condition $B(v) \leq B(v')$ is satisfied, i.e. choose vertex whose below estimate of delivery time is better.

Function $B(v)$ determines upper estimate of optimality criterion for route v . Algorithm for determining value $B(v)$ contains following steps.

Step 1. Put $x_i = \alpha_i, i = \overline{1, k}$, if $k = n$, go to step 3; otherwise put $j = 0$ and go to step 2.

Step 2. Mark $\beta = \{1, 2, \dots, n\} \setminus \{x_1, x_2, \dots, x_{k+j}\}$.

Delivery time for this way will be denoted by z . Formula for calculation is represented by expression (9):

$$z = t_{0x_1} + \sum_{i=2}^k t_{x_i x_{i+1}}. \quad (9)$$

Next calculate values of w_{β_i} in according (10):

$$w_{\beta} = \begin{cases} t_{x_{k+j}\beta_i}^D - (z + t_{x_{k+j}\beta_i}) \mid z + t_{x_{k+j}\beta_i} < t_{\beta_i}^D; \\ + \infty, \end{cases} \quad i = \overline{1, n - (k + j)}. \quad (10)$$

Next determine value of h in according (11):

$$h = \underset{i = \overline{1, n - (k + j)}}{\operatorname{argmin}} w_{\beta_i} \quad (11)$$

Then put $j = j + 1$, $x_{k+j} = \beta_h$. If $k + j = n$, go to step 3, otherwise - to step 2.

Step 3. Determine delivery time for each point of vertex v as follows (see (12)) and then go to step 4:

$$z_1 = t_{0x_1}; \quad (12)$$

$$z_i = z_{i-1} + t_{x_{i-1}x_i}, i = \overline{2, n}.$$

Step 4. For each z_i , make comparison with directive time and write 0, if directive is not violated, and 1, otherwise (see (13)):

$$w_i = \begin{cases} 0 \mid z_i < t_{x_i}^D; \\ 1. \end{cases} \quad (13)$$

Then go to step 5.

Step 5. The estimate of $B(v)$ will be (expression (14)):

$$B(v) = \sum_{i=1}^n w_i. \quad (14)$$

Function $H(v)$ determines upper estimate of optimality criterion for route v .

Algorithm for determining value $H(v)$ contains following sequence of actions.

Step 1. Put $x_i = \alpha_i, i = \overline{1, k}$. If $k = n$, go to step 5, otherwise - go to step 2.

Step 2. Mark $\beta = \{1, 2, \dots, n\} \setminus \{x_1, x_2, \dots, x_{k+j}\}$. Go to step 3.

Step 3. Determine delivery time for each point of v according to expression (15), then go to step 4:

$$z_i = t_{0\alpha_1} + \sum_{j=1}^{k-1} t_{\alpha_j \alpha_{j+1}}, i = \overline{1, k}; \quad (15)$$

$$z_i = t_{0\alpha_1} + \sum_{j=1}^{k-1} t_{\alpha_j \alpha_{j+1}} + t_{\alpha_k \beta_i}, i = \overline{k+1, n}.$$

Step 4. For each z_i make comparison with directive time (look expression (10)), then go to step 5:

Step 5. Estimate $H(v)$ will take as follow (expression (16)):

$$H(v) = \sum_{i=1}^n w_i. \quad (16)$$

This problem belongs to class of NP-difficult problems [4]. Thus, there is probability that with increase in number of delivery points, time for solving problem will not be tolerable. Therefore, to reduce running time of program implementing presented algorithm proposed to apply parallel computing.

Using parallel computations. Parallel computations are calculations that can be implemented on multiprocessor systems with possibility of simultaneous execution of many actions generated by decision process one or many tasks of one project [7].

Partitioning input data into groups can be done in different ways [8]. The first variant of data partitioning is to divide input data array into p parts, and executing on each of processors processing on data from corresponding segment. This approach take name "segment algorithm". The other strategy involves executing on each of processors processing on data from input data array, which placed on p position apart. This approach takes name "step algorithm".

Presented algorithm was make parallel. For reduce time of solving problem of determining delivery route, proposed to distribute initial set V to several subsets $V_s, s = \overline{1, p}$, depending on number of cluster processors or kernel of computer p . Thus, p sets of nodes will be

compare decision results of each task. Index of best solution can be defined from expression (17):

$$s_opt = \underset{s=1,p}{\operatorname{argmin}} w_s. \quad (17)$$

Thus, v_{s_opt} will be best way to deliver orders.

Developing software implementation of algorithm. Program development is carried out according to modern approaches to software design [9].

At initial stages, some UML diagrams were developed, use of which allowed to significantly accelerate development process [10]. The most interesting of them is a classes diagram of, which is presented in Fig. 1.

In development of this diagram were thought-out classes that allow to search solution using different branching strategy and different variants of calculations organization.

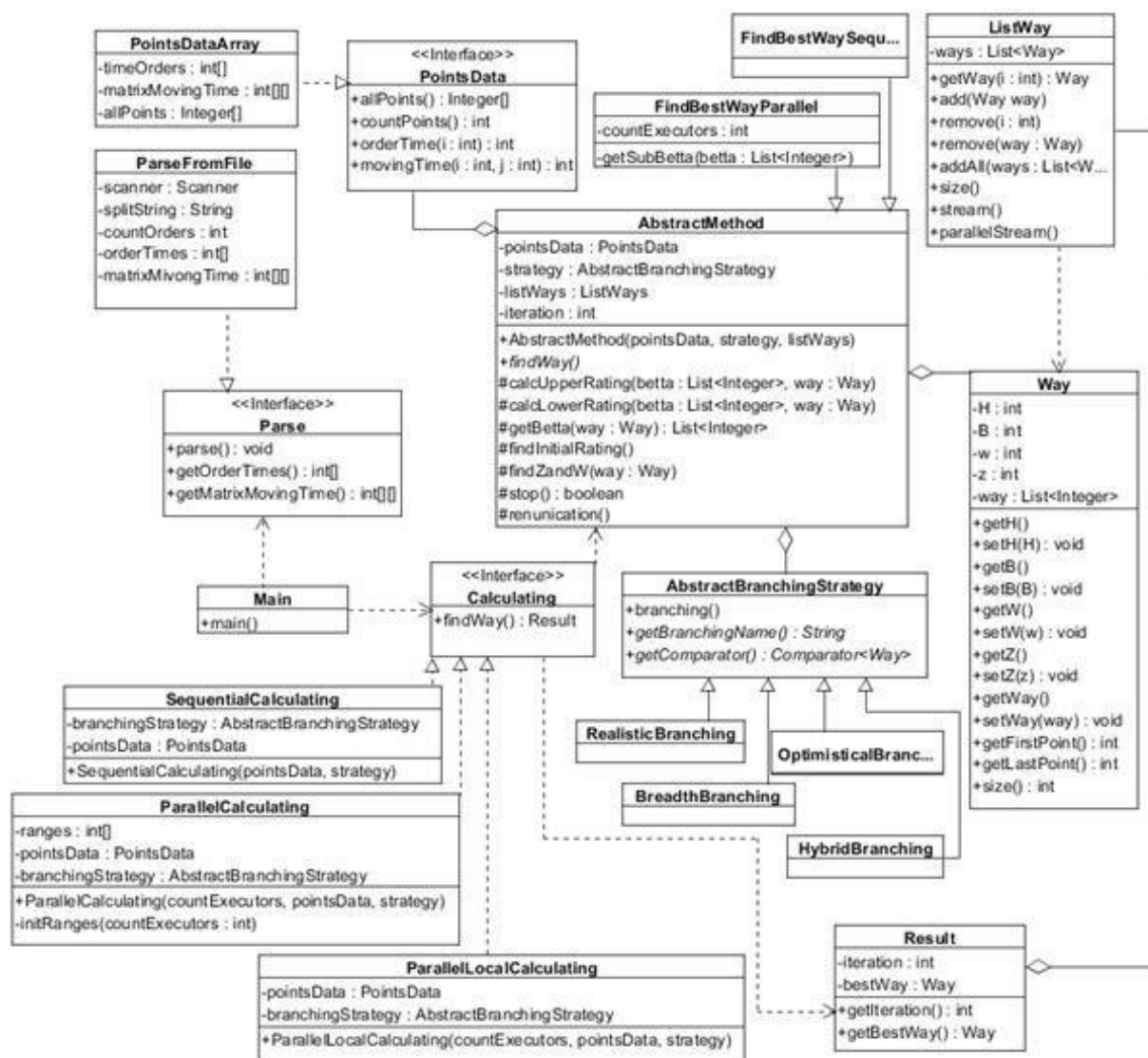


Fig. 1 – Classes diagram

This approach to structuring the program meets the best techniques for realizing principles of object-oriented design. The advantage of this variant of building program structure is in getting possibility of increasing number of methods of branching implementing and number of approach to organization of calculations without changing the basic algorithm for determining the route delivery orders. For this purpose it serve abstract classes AbstractBranchingStrategy and Calculating. Also on fig. 1 you can see class HybridBranching which in future will allowed realize hybrid strategy of branching.

To study algorithm properties, software implementation of algorithm was developed that represents console application in Java programming language created in integrated IntelliJ Idea environment.

Research of time characteristics of program implementation. For testing files with several delivery examples with different number of items were created (based on examples from [6]). Research of program implementation carried out in two directions:

- research dependence time of program executing from strategy of branching in defining route process;
- research dependence time of program executing from approach to organization of computations.

The results were obtained for the three different branching strategies proposed above: breadth, optimistic or realistic.

Also various technologies of computing organization consider has been investigated:

- sequential calculation;
- parallel calculations with use 2 threads;
- parallel calculations with use 4 threads.

For program testing used computer, which has next configuration: processor – Intel Core i5-4440, 3.1GHz; number of kernels – 4; RAM – 8Gb. This configuration can be considered as “average modern computer“, which can be used for automating in planning of delivery orders.

Times to receive delivery routes by use developing program for different output options (different delivery points) are presented on fig. 2–4.

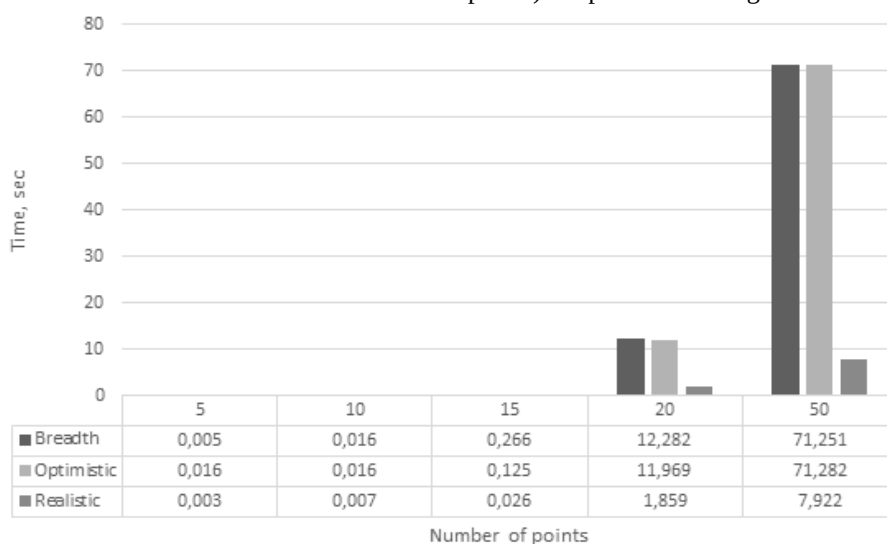


Fig. 2 – Processing time for different branching strategy when using sequential calculations

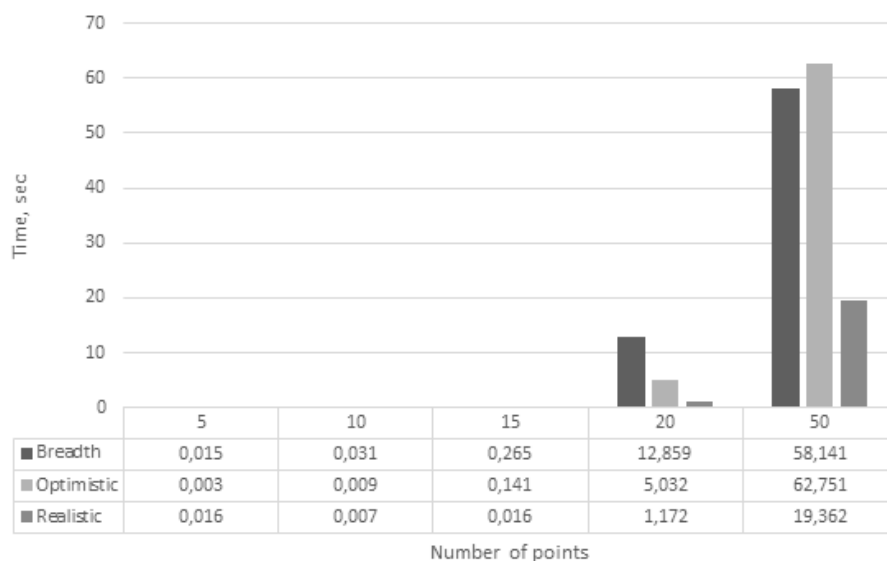


Fig. 3 – Processing time for different branching strategy when using parallel calculations (2 threads)

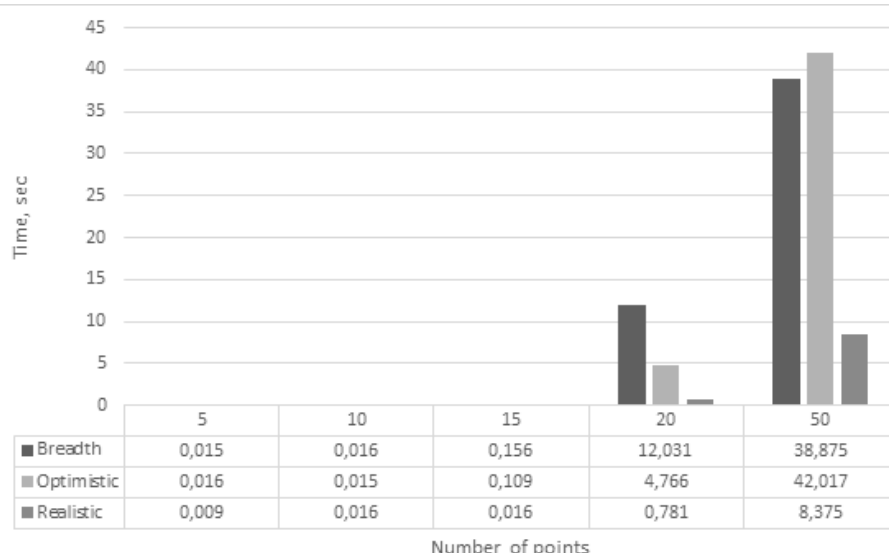


Fig. 4 – Processing time for different branching strategy when using parallel calculations (4 threads)

If make conclusions only from data presented in tables then it can be argued that software implementation allows you to get a solution for 15 delivery points in less than 1 sec for any approach to computations. But implementation time grows factorially with growth of problem dimension and this thesis has been confirmed. Also in according to results best results shows using realistic strategy. When use realistic strategy of branching maximal time was near 20 sec. It can consider as good result.

On Fig. 4–6 results are presented in depends of method of calculations organization.

This representation should provide an idea of expediency of using parallel computing. Two variants of parallel computations are considered – using 2 or 4 threads. These are typical variants for modern computers. More computers are a dual core. In addition, in operating system Windows which installed on more computers there can create two virtual kernels.

Such representation once again confirms that solution for route is no more than 15 delivery points will be received in less than 1 sec without dependence of usage approach to computations. But such review of results did not give clear answer on expediency of parallel computing.

If look at results for 20 delivery points, then for breadth strategy results are approximately equal. But for other two strategies, the worst result was for case of using 4 threads, i.e. parallel computations slowed output almost twofold. Using 2 threads allowed to get result not much faster than sequential calculations.

When planning delivery for 50 cases, use of parallelism is more advisable. But in this case use of two threads gives results much faster. However, for a realistic strategy, it turned out to be more efficient to use 4 threads to parallelize computations.

Obtained results give a possible make some conclusions on work.

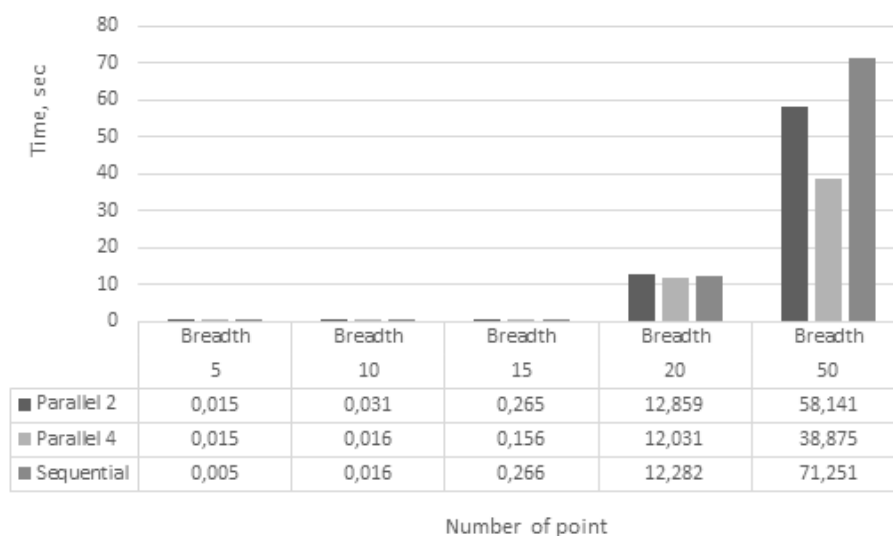


Fig. 5 – Processing time for different type of calculation when using branching strategy «Breadth»

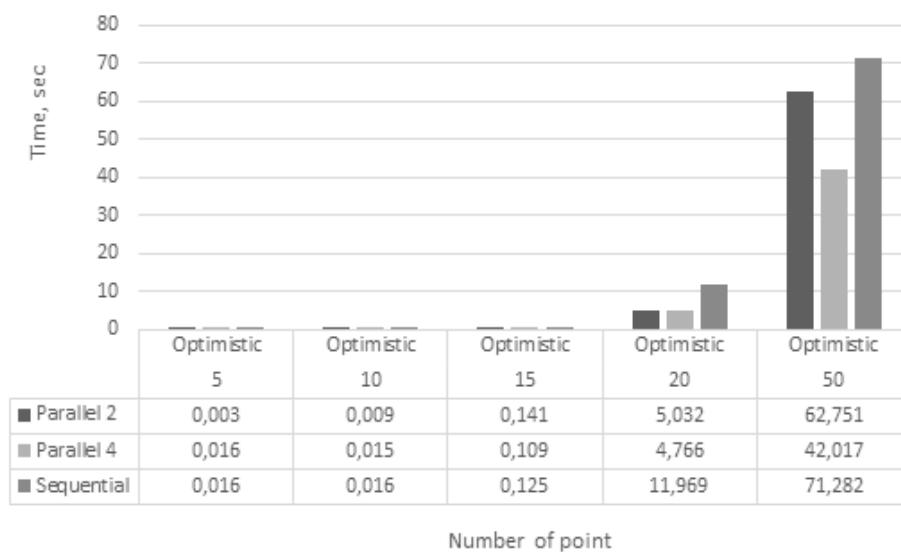


Fig. 6 – Processing time for different type of calculation using branching strategy «Optimistic»

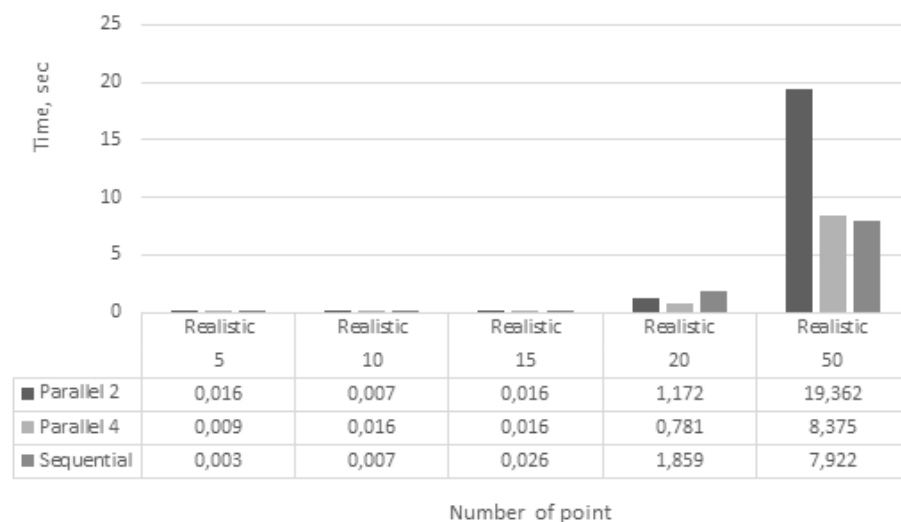


Fig. 7 – Processing time for different type of calculation when using branching strategy «Realistic»

Conclusions. Presented results testify to practical significance of presented work, which consists in possibility of using this algorithm for forming of route in delivery planning systems in case of presence of defined delivery deadlines. Main strategy for branching should be considered a realistic branching strategy, which is based on worst forecast of timely delivery of orders. Concerning use of parallel computations, there is no unambiguous conclusion. For small number of delivery points, a solution at acceptable time can be obtained with traditional sequential processing. For large number of delivery points, the use of parallel computations requires a study on more examples.

References

1. CRM программа для автоматизации экспедиторов и перевозчиков «4logist». – Available at : www.4logist.com. – Accessed : 20th of October 2017.
2. Система управления транспортом «ABMcloud». – Available at : www.abmcloud.com. – Accessed : 20th of October 2017.
3. Web-сервис «Муравьиная логистика». – Available at : <https://ant-logistics.com/main.html>. – Accessed : 20th of October 2017.

4. Зайченко Ю. П. Исследование операций / Ю. П. Зайченко – Киев : Слово, 2003. – 688 с.
5. Balakrishnan R. A Textbook of Graph Theory / R. Balakrishnan, K. Ranganathan. – Springer, 2012. – 305 p.
6. Афраймович Л. Г. Учебно-методическая разработка «Информационные технологии в области принятия решений. Часть 1» / Л. Г. Афраймович. – Нижний Новгород : Нижегородский госуниверситет, 2016. – 27 с.
7. Михалевич В. С. Словарь по кибернетике / В. С. Михалевич – К. : Глав. ред. Укр. Сов. Энциклопедии им. М. П. Бажана, 1989. – 751 с.
8. Воеводин В. В. Параллельные вычисления / В. В. Воеводин, Вл. В. Воеводин. – СПб. : БХВ-Петербург, 2002. – 608 с.
9. Орлов С. А. Технологии разработки программного обеспечения. Современный курс по программной инженерии. 4-е изд. // С. А. Орлов, Б. Я. Цилькер. – СПб. : Питер, 2012. – 608 с.
10. Буч Г. Язык UML. Руководство пользователя: пер. с англ., 2-е изд. // Г. Буч, Дж. Рамбо, А. Якобсон. – М. : ДМК Пресс, 2006. – 496 с.

References (transliterated)

1. CRM programma dlya avtomatizatsii ekspeditorov i perevozchikov «4logist» [CRM program for the automation of forwarders and carriers «4logist»]. Available at : www.4logist.com (accessed 20.10.2017).

2. Sistema upravleniya transportom «ABMcloud» [Transport management system «ABMcloud»]. Available at : www.abmcloud.com (accessed 20.10.2017).
3. Web-servis «Murav'inaya logistika» [Web-service «Ant logistics»]. Available at : <https://ant-logistics.com/main.html>. (accessed 20.10.2017).
4. Zaychenko YU. P. Issledovaniye operatsiy [Operations research]. Kiyev, Slovo, 2003, 688 p.
5. Balakrishnan R., Ranganathan K. A Textbook of Graph Theory. Springer, 2012, 305 p.
6. Afraymovich L. G. Uchebno-metodicheskaya razrabotka «Informatsionnyye tekhnologii v oblasti prinyatiya resheniy. Chast' I» [Educational material «Information technologies in the decision-making sphere. Part 1»]. Nizhniy Novgorod, Nizhegorodskiy gosuniversitet, 2016, 27 p.
7. Mikhalevich V. S. Slovar' po kibernetike [Dictionary on Cybernetics]. Kiyev, Glav. red. Ukr. Sov. Entsiklopedii im. M. P. Bazhana, 1989, 751 p.
8. Voyevodin V. V., Voyevodin V. I. Parallelnyye vychisleniya [Parallel calculations]. St.-Petersburg, BKHV-Peterburg, 2002, 608 p.
9. Orlov S. A., Tsil'ker B. YA. Tekhnologii razrabotki programmnogo obespecheniya. Sovremennyy kurs po programmnoy inzhenerii. 4-ye izd [Software development technologies. Modern course in software engineering]. St.-Petersburg, Piter, 2012, 608 p.
10. Buch G., Rambo Dzh., Yakobson A. YAzyk UML. Rukovodstvo pol'zovatelya: per. s angl. 2-ye izd [The Unified Modeling Language. User Guide. Second Edition]. Moscow, DMK Press, 2006, 496 p.

Received 16.11.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Разработка программного решения для построения маршрута доставки группы заказов при наличии временных ограничений / Д. Е. Двухглавов, В. Е. Кулинич // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 55 (1276). – С. 64–71. – Бібліогр. : 10 назв. – ISSN 2079-0023.

Разработка программного решения для построения маршрута доставки группы заказов при наличии временных ограничений / Д. Э. Двухглавов, В. Е. Кулинич // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 55 (1276). – С. 64–71. – Библиогр. : 10 наим. – ISSN 2079-0023.

Development of software solution for building route of a orders group delivery in presence of time constraints / D. E. Dvukhglavov, V. E. Kulynych // Bulletin of National Technical University "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No. 55 (1276). – P. 64–71. – Bibliogr. : 10. – ISSN 2079-0023.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

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

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

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

Кулинич Вадим Євгенійович – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», студент; тел.: (099) 377-18-04; e-mail: kulinichvadim29@gmail.com.

Кулинич Вадим Евгениевич – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», студент; тел.: (099) 377-18-04; e-mail: kulinichvadim29@gmail.com.

Kulynych Vadim Evgenijovych – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", student; tel.: (099) 377-18-04; e-mail: kulinichvadim29@gmail.com.

*I. M. GODLEVSKIY, D. O. HIIEVSKIY***TECHNOLOGY OF MULTIPLE-CRITERIA SYNTHESIS AND CHOICE OF DISTRIBUTED ORGANIZATIONAL MANAGEMENT STRUCTURE OF DISTRIBUTION LOGISTICS SYSTEM**

У роботі запропонована технологія формування організаційної структури управління логістичної системи дистрибуції, яка складається з наступних етапів: синтез конфігурації логістичної системи; формування варіантів: ведення бізнесу, виконавців бізнес-процесів, організаційної структури управління; оцінка варіантів і вибір безлічі ефективних; прийняття рішення за вибором організаційної структури.

Ключові слова: організаційна структура, логістична система, дистрибуція, бізнес-процес, прийняття рішень.

В работе предложена технология формирования организационной структуры управления логистической системы дистрибуции, которая состоит из следующих этапов: синтез конфигурации логистической системы; формирование вариантов: ведения бизнеса, исполнителей бизнес-процессов, организационной структуры управления; оценка вариантов и выбор множества эффективных; принятие решения по выбору организационной структуры.

Ключевые слова: организационная структура, логистическая система, дистрибуция, бизнес-процесс, принятие решения.

Technology of the creation of distributed organizational management structure of logistics distribution system is proposed in this study and consists of the following stages: synthesis of logistics system configuration, elicitation of the alternatives in following aspects: business management, business-process executors, organizational management structure; the alternatives estimation and choice of effective ones; decision-making in the aspect of choosing rational organizational structure. The developed approach is a modification of the technology described in [4]. New criterion is added to implement stability issues on the stage of logistics system configuration. AHP method is used to choose rationally effective executors for the business-processes and supply chains.

Keywords: organizational structure, logistics system, distribution, business-process, decision-making.

Introduction. In the nowadays marketing conditions the orientation of manufacturers is directed towards the interests and requests of the end-consumers of goods and services. Maximization of net income under the situation of uncertain demand became a main economic interest of the manufacturers. Logistics approach implementation may allow company to reduce operational costs, increase shipments quality and, thus, achieve competitive advance on the market [1, 2].

It is necessary to consider logistics systems management in the context of governing company as a whole. Logistics strategy should be regarded as an integral component of corporate strategy which consists of sub-strategies in the next fields: marketing, logistics, production etc.

It is possible to say about mapping between several control loops and components of corporate strategy. For instance, logistics control loop consists of several components which correspond to the areas of system analysis. Strategic requirements elicitation matches with goal analysis procedure. Logistics network configuration corresponds to structural and functional analysis. Design of logistics system (LS) organizational management structure (OMS) coincides with organizational-procedural, technical-economic and social-economic analysis.

Strategical program of actions in logistics area is created after development of the logistics strategy, detailed and implemented under operational control. Special attention in logistics is paid to strategic planning, end-product of which is OMS which manages distributed LS. This paper focuses on the one of its components – distribution system [3]. **The aim** of study is further development of technology for creation of geographically distributed OMS [4] of distribution LS, which is discussed in [5].

This paper focuses on creation of dynamic model of company organizational activity synthesis based on

inter-functional and inter-organizational coordination of separate LS components as well as vertical and horizontal coordination of the whole system.

Literature review. The issues of formation of distributed OMS of LS were discussed in [5]. Authors created the basis for the solution of this problem and described it within the main stages which are presented on the fig. 1. They propose the way of creating the configuration of LS with the usage of transportation theory and inventory management topics. Furthermore, the idea of the hierarchical OMS of LS is discussed and the insight of distributed LS optimization via inter-functional and inter-organizational coordination is provided. To the best of our knowledge, the described technology and the ways of its stages implementation is a strong point of this paper but it is not supported by mathematical formalization. Hence, this is an area which this paper attempts to cover.

Problem definition. The main stages of technology describing the formation of distributed organizational structure for distribution logistics system are defined in [5]. As it was earlier mentioned the aim of this study is the improvement of presented in [5] technology, therefore, it's necessary to define the main areas of its correction.

In addition to the first stage (LS configuration) an additional criterion is proposed, which defines the stability of certain configuration to the external disturbances. Further, the best decisions which satisfy additional criterion are chosen from the set of effective configuration which is created according to [5]. Supply chain members' assigning is proposed to conduct in two sub-stages:

- Selection of the outsourcing alternatives from the set of existing ones for separate business process or group of processes;
- Assignment of executors to chosen processes.

Then modification of earlier mentioned technology is proposed.

The idea is that on the third stage experts and persons that generate decisions propose different variants of OMS and make their complex estimations according to indicators which characterize certain logistics operators. As a result, the most satisfactory OMS alternatives are gathered. Then the optimization task of OMS occurs from the point of satisfying defined KPIs because created OMS of LS with assigned members exists at the finite interval of time (plan period). Thus, dynamic task of inter-functional and inter-organizational coordination of separate two-layered subsystems is solved, and both horizontal and vertical coordination of system as a whole are reached.

Technology of distribution LS OMS synthesis. Technology consists of six stages (fig. 1), each of which allows returning to the previous ones. As it was mentioned earlier the aim of paper is further development and enhancement of technology mentioned in [5]. The step-by-step illustration of remastered approach is provided onwards.

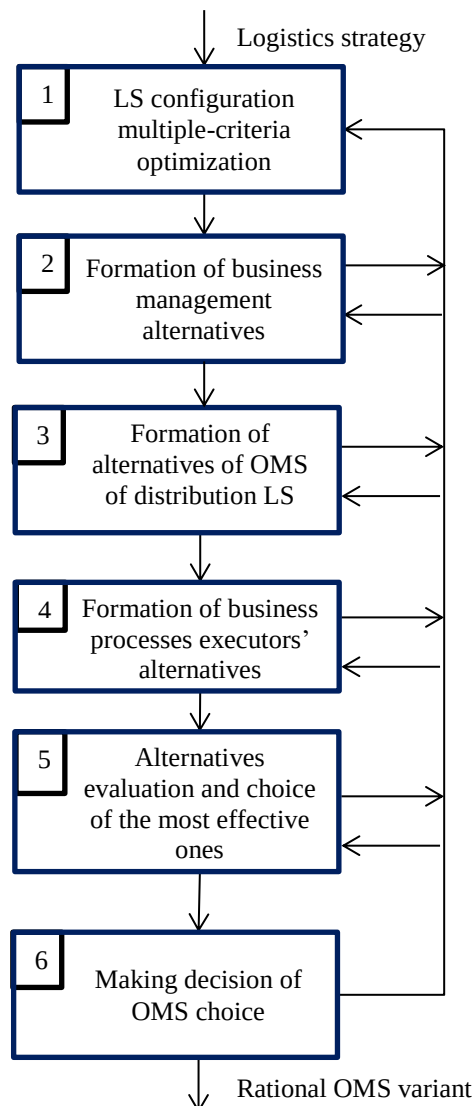


Fig. 1 – Technology of multiple-criteria synthesis and choice of distributed organizational management structure of logistics distribution system

The first stage occurs similarly to the earlier proposed one. During this stage the strategic logistic network is designed as a basis for the realization of logistics operations. The foundation of this stage is transportation theory approach [6]. S – summarized costs of production storage and transportation, and C – level of customer service, are chosen as the criteria for the network configuration. The set of task solution alternatives is created due to varying of control parameters such as the amount of intermediate warehouses, the inventory value, and the duration of product sales cycle. Then from this set Pareto-effective alternatives are chosen (B – Pareto set). Narrowing of the Pareto set occurs on account of adjusting the boundary values of weighting factors of importance vector ρ (fig. 2).

$$\bar{\rho} = (\bar{\rho}_S, \bar{\rho}_C) \text{ и } \underline{\rho} = (\underline{\rho}_S, \underline{\rho}_C)$$

$$\rho_C, \rho_S \geq 0, \rho_S + \rho_C = 1, \underline{\rho}_S \leq \rho_S \leq \bar{\rho}_S, \underline{\rho}_C \leq \rho_C \leq \bar{\rho}_C$$

As a result, the set $B \subseteq \bar{B}$. It consists of N configurations of logistics system.

$$B = \{B_1, B_2, B_3 \dots B_N\}$$

Considering that this task refers to strategic management it's important to investigate the factor of stability of formulated alternatives to emergencies such as failure of intermediate warehouses, incomplete production delivery, transport malfunction etc. Set of such adverse situations can be built with the usage of experts' estimations.

$$A = \{A_1, A_2, A_3 \dots A_N\}$$

It's assumed that the likelihood of such events is equal and each of them brings on occurrence the negative payoff U_{ij} in terms of criteria S and C .

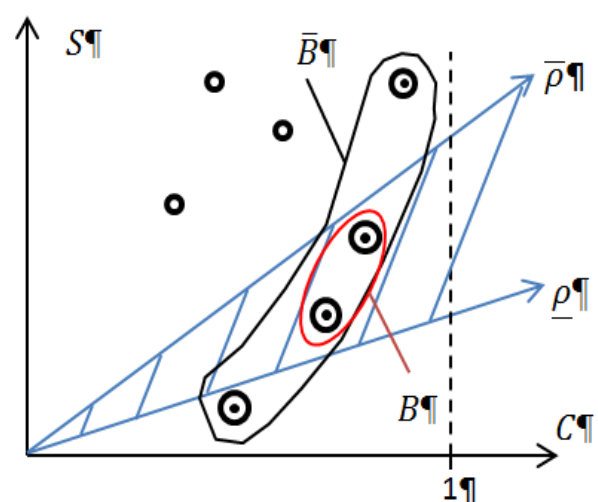


Fig. 2 – Formation of LS configuration alternatives

Let's focus on the formulation of aggregate indicator "negative payoff" from the combination of criteria S and C .

Due to the difference in scales all criteria should be normalized according to approach proposed in [7]. Preliminarily, it's necessary to define maximum and minimum of these criteria:

$$(B, A) = \left(\{B_i, i = \overline{1, N}\}, \{A_j, j = \overline{1, M}\} \right) \Rightarrow \\ \Rightarrow \left\{ (C_{ij}^*, S_{ij}^*), i = \overline{1, N}; j = \overline{1, M} \right\}$$

where S_{ij}^* and C_{ij}^* - the costs and the level of service for i variant of LS configuration at j variant of emergency. Then:

$$C_{\max} = \max_i \max_j C_{ij}^*; C_{\min} = \min_i \min_j C_{ij}^*;$$

$$S_{\max} = \max_i \max_j S_{ij}^*; S_{\min} = \min_i \min_j S_{ij}^*.$$

From the other side:

$$B = \{B_i, i = \overline{1, N}\} \Rightarrow \{C_i, S_i, i = \overline{1, N}\},$$

where S_i and C_i - the costs and the level of service under the condition of extreme event absence. Therefore, "negative payoff" of extreme events U_{ij} (table 1) can be defined as:

$$U_{ij} = W_{ij}^* - W_i, i = \overline{1, N}; j = \overline{1, M};$$

$$W_{ij}^* = \rho_c^i * \omega_{ij}^c(C_{ij}^*) + \rho_s^i * \omega_{ij}^s(S_{ij}^*);$$

$$W_i = \rho_c^i \omega_i^c(C_i) + \rho_s^i \omega_i^s(S_i);$$

$$* \omega_{ij}^c(C_{ij}^*) = \frac{C_{\max} - C_{ij}^*}{C_{\max} - C_{\min}}; * \omega_{ij}^s(S_{ij}^*) = \frac{S_{ij}^* - S_{\min}}{S_{\max} - S_{\min}};$$

$$\omega_i^c(C_i) = \frac{C_{\max} - C_i}{C_{\max} - C_{\min}}; \omega_i^s(S_i) = \frac{S_i - S_{\min}}{S_{\max} - S_{\min}}.$$

Apparently, weighting factors of importance $\{\rho_c^i, \rho_s^i, i = \overline{1, N}\}$ corresponds to the alternatives from the set B .

Because the task of strategic planning is considered, minimax criterion of choosing the preferable alternative U^* is proposed:

$$U^* = \min_{i=\overline{1, N}} \max_{j=\overline{1, M}} U_{ij}.$$

This is the criterion of maximum awareness. Such choice of alternative eliminates risk because decision-maker won't get the result that is worse than anticipated one. Therefore, it's possible to say that in the context of strategic planning this criterion is fundamental; although, in some situations risk elimination may cause sufficient losses.

The second stage which is dedicated to formulation of business management alternatives, in fact, is a basis for the creation of the organizational management structure carcass because on this step logistics providers are assigned to the business-processes and supply chains [8].

Table 1 – Types of negative payoffs

Configurations of logistics system	Types of negative payoffs from the emergencies occurrence			
	A_1	A_2	...	A_M
B_1	$U_{1,1}$	$U_{1,2}$	...	$U_{1,M}$
B_2	$U_{2,1}$	$U_{2,2}$	...	$U_{2,M}$
...	...	...	...	...
B_N	$U_{N,1}$	$U_{N,1}$	...	$U_{N,M}$

In the study [9] the formal approach for choosing business management alternatives was formulated. It is based on the SWOT-analysis matrix and aggregation of different criteria. Now the new approach to formalization of SWOT-analysis matrix is proposed which is based on analytic hierarchy process (AHP). This method describes a process of aggregating the point of experts' views on different criteria and bringing them to the unified form with the checking of solution consistency. Created hierarchical structure of decision-making process is shown at the fig. 3.

On the third stage, the experts take into account the finite number of LS configuration alternatives, and the set of chosen business management variants. Then they generate the alternatives of distribution LS organizational management structure. This stage is poorly exposed to formalization and based on the experts' experience. It can be named as structural synthesis. Similarly, the stage where concrete executors are assigned to business processes is called parametric synthesis. Only after parametric synthesis the preliminary evaluation of LS organizational management structure can be done.

After conducting structural synthesis of OMS alternatives on the third stage the task of assigning specific executors to separate business-processes and supply chains is initiated. On the first step of third stage the weakest candidates are detected and discarded with the usage of the complex criterion. It consists of the set of indicators such as service reliability, skill base, economic indicators, quality of service, management skills, human policy etc. Further the set of OMS variants is built. Their preliminary estimation (stage 5) is conducted on the basis of three complex criteria: summarized logistics costs, level of customers' service, and stability to emergencies. Although, this process is similar to the first stage, nevertheless, on this stage it is based upon specific business-processes executors and organizational management structure.

On the six stage the dynamic task of rational OMS variant choosing is solved with the usage of horizontal and vertical coordination of three-layered (usually) OMS, which is based on two-layered models of inter-functional and inter-organizational coordination.

Conclusions. The modified technology of multiple-criteria synthesis and choice of distributional LS organizational management structure differs from proposed one in [5] on the following points:

- On the stage of LS configuration the stability criterion is used;

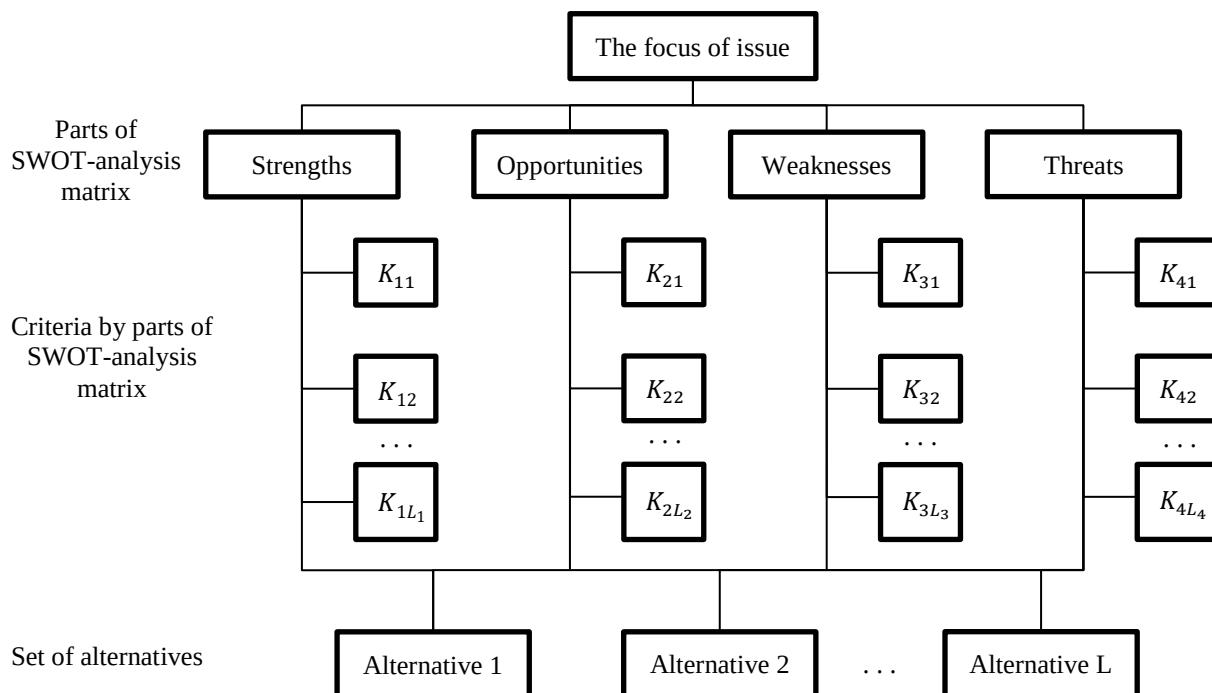


Fig. 3 – Applying AHP approach to SWOT-analysis

- Strategy of maximum awareness is used to eliminate risk of choosing worse alternative than anticipated one;
- AHP is implemented to solve the task of business management variants identification;
- Structural synthesis of OMS variants is conducted on the basis of business management variants and then the parametrical synthesis is done by choosing specific business-processes executors;
- Decision-making of OMS choice is based on the usage of dynamic models of its development with the satisfaction of specified KPIs.

Further research will be dedicated to the development of dynamic model of logistical system organizational management structure development and elaboration of information technology which covers all stages of OMS synthesis.

References

1. Сергеев В. И. Корпоративная логистика. 300 ответов на вопросы профессионалов / Под общ. и научн. ред. проф. В. И. Сергеева. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 976 с.
2. Сток Дж. Р. Стратегическое управление логистикой / Сток Дж. Р., Ламберт Д. М. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 797 с.
3. Бауэрсокс Доналд Дж., Клосс Дейвид Дж. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2005. – 640 с.
4. Петров Э. Г. Территориально распределенные системы обслуживания / Э. Г. Петров, В. П. Пискалова, В. В. Бескоровайный. – К.: Техника, 1992. – 208 с.
5. Годлевский М. Д. Технология формирования системы организационного управления логистикой дистрибуции при стратегическом планировании / М. Д. Годлевский, А. А. Станкевич, И. М. Годлевский // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 4/3 (58). – С. 17-21.
6. Годлевский И. М. Модели транспортных задач и структурно-топологического синтеза при стратегическом управлении

логистикой дистрибуции / И. М. Годлевский, А. А. Пинаева // Вісник НТУ «ХПІ». – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – № 61. – С. 8-13.

7. Михалевич В. С. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем / В. С. Михалевич, В. Л. Волкович. – М.: Наука, 1982. – 286 с.
8. Куценко А. С. Структура модели координации организационного управления территориально распределенными логистическими системами дистрибуции / А. С. Куценко, И. М. Годлевский // Вісник НТУ «ХПІ». – Х.: НТУ «ХПІ», 2015. – № 58. – С. 82-85.
9. Годлевский М. Д. Формирование участников логистической сети цепочек поставок при стратегическом управлении / М. Д. Годлевский, А. А. Станкевич, Л. С. Чернявская // Вісник НТУ «ХПІ». – Х.: НТУ «ХПІ», 2013. – № 3 (977). – С. 27-34.

References (transliterated)

1. Sergeev, V. I., ed. *Korporativnaja logistika. 300 otvetov na voprosy professionalov* [Corporate logistics. 300 answers on the professionals' questions]. Moscow: INFRA-M Publ., 2005. Print.
2. Stok, Dzh. R., and D. M. Lambert. *Strategicheskoe upravlenie logistikoj* [Strategic logistics management]. Moscow: INFRA-M Publ., 2005. Print.
3. Bowersox, Donall Dzh., and Deyvid Dzh. Kloss. *Integrirovannaja tsep' postavok* [Logistical Management: The Integrated Supply Chain Process]. M.: ЗАО «Olimp-Biznes» Publ., 2005. Print.
4. Petrov, Je. G., V. P. Pisklakova and V. V. Beskorovajnyj. *Territorial'no raspredelennye sistemy obsluzhivaniya* [Geographically distributed service systems]. K.: Tehnika Publ., 1992. 208 p. Print.
5. Godlevskiy, M. D., A. A. Stankevich and I. M. Godlevskiy. *Tehnologija formirovaniya sistemy organizatsionnogo upravleniya logistikoj distributsii pri strategicheskom planirovanii* [Technology of creation of distribution logistics organizational management system under strategic planning]. *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovykh tehnologij*. № 4/3 (58), 2012, pp. 17-21. Print.
6. Godlevskiy, I. M., and A. A. Pinaeva. *Modeli transportnykh zadach i strukturno-topologicheskogo sinteza pri strategicheskom upravlenii logistikoj distributsii* [Transportation theory and structural-topological synthesis models applied to strategic management of logistics distribution]. *Visnik NTU "KhPI"* [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]. № 61. 2014. pp. 8-13. Print.
7. Mihalevich, V. S. and V. L. Volkovich *Vychislitel'nye metody issledovaniya i proektirovaniya slozhnykh sistem* [Evaluation methods

- of complex systems study and design]. М. : Nauka Publ., 1992. 286 p. Print
8. Kutsenko, A. S., and I. M. Godlevskiy. Struktura modeli koordinatsii organizacionnogo upravleniya territorialno raspredelennymi logisticheskimi sistemami distributsii. [Structure of the coordination model of the organizational management of distributed logistical systems of distribution] *Visnik NTU "KhPI"* [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]. № 58, 2015, pp 82-85. Print.
 9. Godlevskiy, M. D., A. A. Stankevich, and L. S. Chernyavskaya. Formirovaniye uchastnikov logisticheskoy seti cepochek postavok pri strategicheskoy upravlenii. [Formation of supply chain network participants under strategic management] *Visnik NTU "KhPI"* [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]. № 3 (977), 2013, pp 27-34. Print.

Received 23.11.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Технологія багатокритеріального синтезу та вибору розподіленої організаційної структури управління логістичною системою дистрибуції / І. М. Годлевський, Д. О. Гієвський // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 55 (1276). – С. 72–76. – Бібліогр.: 9 назв. – ISSN 2079-0023.

Технология многокритериального синтеза и выбора распределенной организационной структуры управления логистической системой дистрибуции / И. М. Годлевский, Д. О. Гиевский // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 55 (1276). – С. 72–76. – Библиогр.: 9 назв. – ISSN 2079-0023.

Technology of multiple-criteria synthesis and choice of distributed organizational management structure of distribution logistics system / I. M. Godlevskiy, D. O. Hiiievskiy // Bulletin of National Technical University "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No. 55 (1276). – P. 72–76. – Bibliogr.: 9. – ISSN 2079-0023.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Годлевський Ігор Михайлович – аспірант, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; тел.: (097) 305–00–50; email: igorgodlevskiy@gmail.com.

Годлевский Игорь Михайлович – аспирант, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»; тел.: (097) 305–00–50; email: igorgodlevskiy@gmail.com.

Godlevskiy Igor Myhailovych – postgraduate student, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"; tel.: (097) 305–00–50; email: igorgodlevskiy@gmail.com.

Гієвський Дмитро Олегович – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», студент; тел.: (050) 964–59–70; email: dmytro.hiiievskiy@gmail.com.

Гиевский Дмитрий Олегович – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», студент; тел.: (050) 964–59–70; email: dmytro.hiiievskiy@gmail.com.

Hiiievskiy Dmytro Olehovych – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", student; tel.: (050) 964–59–70; email: dmytro.hiiievskiy@gmail.com.

УДК 004.891.3

В. М. ЛЕВИКІН, О. В. ЧАЛА

ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ АНОМАЛЬНОЇ ПОВЕДІНКИ ПРОЦЕСІВ В СИСТЕМАХ ПРОЦЕСНОГО УПРАВЛІННЯ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЛОГІВ

В роботі запропоновано підхід до виявлення аномалій поведінки знання-ємних бізнес-процесів на основі порівняльного аналізу трас у складі журналів реєстрації подій. Підхід враховує темпоральному і об'єктний аспекти виконання бізнес-процесу. Темпоральний аспект визначає послідовність подій, що відображають виконання дій бізнес-процесу. Об'єктний визначає характеристики об'єктів, що використовуються бізнес-процесом при виконанні цих дій. При пошуку аномальних фрагментів обчислюється відстань між трасами у просторі атрибутів подій. В якості ознак початку та закінчення аномального фрагменту використовується кут відхилення між трасами. Підхід визначає множину атрибутів об'єктів, пов'язаних з виконанням аномального фрагменту, а також значень цих атрибутів, що в подальшому може бути використано для удосконалення бізнес-процесу.

Ключові слова: аномалія, база знань, інтелектуальний аналіз процесів, процесне управління, контекст.

В работе предложен подход к выявлению аномалий поведения знания-емких бизнес-процессов на основе сравнительного анализа трасс в составе журналов регистрации событий. Подход учитывает темпоральной и объектный аспекты выполнения бизнес-процесса. Темпоральный аспект определяет последовательность событий, отражающих выполнение действий бизнес-процесса. Объектный определяет характеристики объектов, используемых бизнес-процессом при выполнении этих действий. При поиске аномальных фрагментов вычисляется расстояние между трассами в пространстве атрибутов событий. В качестве признаков начала и окончания аномального фрагмента используется угол отклонения между трассами. Подход определяет множество атрибутов объектов, связанных с выполнением аномального фрагмента, а также значений этих атрибутов, что в дальнейшем может быть использовано для совершенствования бизнес-процесса.

Ключевые слова: аномалия, база знаний, интеллектуальный анализ процессов, процессное управление, контекст.

The paper proposes an approach to the detection of abnormalities in the behavior of knowledge-capacity business processes on the basis of comparative analysis of tracks in the log of events logging. The approach takes into account the temporal and object aspects of the implementation of the business process. The temporal aspect defines the sequence of events that reflect the execution of the business process. Object defines the characteristics of objects that use the business process when performing these actions. When searching for abnormal fragments, the distance between paths in the attribute event space is calculated. As an indicator of the beginning and end of an abnormal fragment, the angle of deviation between the tracks is used. The approach defines the set of attributes of objects associated with the execution of an anomalous fragment, as well as the values of these attributes, which can then be used to improve the business process.

Keywords: anomaly, knowledge base, intelligent process analysis, process control, context.

Вступ. Бізнес-процеси (БП) задають формальний опис діяльності підприємства у вигляді множини послідовностей робіт та використовуються в системах процесного управління (СПУ). Цикл функціонування систем процесного управління містить у собі етапи побудови моделей бізнес-процесів, їх конфігурування, вкнення БП, аналізу результатів виконання та подальшого удосконалення таких процесів. СПУ забезпечують реалізацію процесного управління підприємством через управління бізнес-процесами з використанням їх моделей. У відповідності до моделі бізнес-процесу та поточного стану підприємства реалізується одна з апіорно заданих в моделі послідовностей робіт, що дають можливість отримати кінцевий результат БП.

Однак в умовах динамічних змін вимог до бізнес-процесів внаслідок еволюції діяльності підприємства, та змін ресурсів, що використовує БП, виникає потреба у постійному удосконаленні процесної моделі. Таке удосконалення виконується шляхом доповнення моделі БП новими, ефективними в конкретних умовах послідовностями робіт. Адаптація моделі виконується після завершення виконання поточного примірника бізнес-процесу.

Проведення постійної адаптації моделі для класу знання-ємних бізнес-процесів (ЗБП) пов'язане з рядом труднощів, оскільки такі процеси можуть змінювати задану в моделі послідовність дій на основі рішень виконавців (knowledge workers). При обґрунтуванні та

реалізації рішень про адаптацію виконання ЗБП у відповідності до поточного стану підрозділу або підприємства в цілому виконавці, крім загальнодоступних явних знань, можуть виростовувати персональні знання і досвід. Останні зазвичай мають вигляд недокументованих правил (шаблонів) виконання дій. Вони не входять до складу процесної моделі. Тому зміна ходу процесу на основі рішень виконавців з використанням персональних знань призводить до виникнення аномальної, не відображеної в моделі, поведінки ЗБП. Реалізація нетипової послідовності дій призводить до зниження ступеню адекватності процесної моделі, що не дає можливості реалізувати ефективне процесне управління в СПУ.

Таким чином, при управлінні знання-ємними бізнес-процесами виникає проблема виявлення та формалізації аномалій у поведінці БП.

Для вирішення даної проблеми необхідно представити знання про послідовність дій бізнес-процесу та умови і обмеження на виконання дій у вигляді бази знань (БЗ), окремо від його традиційної моделі. Виявлені та представлені у формальному вигляді аномалії також можуть бути розміщені у БЗ і в подальшому використані для доповнення моделі бізнес-процесу та її конфігурування у системі процесного управління.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Можливості виявлення аномалій виконання ЗБП

базуються на використанні парадигми інтелектуального аналізу процесів, що передбачає побудову процесних моделей на основі аналізу записів про послідовність їх виконання [1].

Існуючі підходи до виявлення аномалій у темпоральних даних орієнтовані в першу чергу на пошук відхилень при переміщенні об'єктів у просторі. Такі підходи використовують сегментацію даних, обчислюють схожість траєкторій, використовують символічне представлення траєкторій з подальшим використанням методів кластеризації, враховують зміни в траєкторіях [2]. Для обчислення схожості траєкторій використовують розподіл даних [3], густину даних [4, 5], також відхилення даних (відстань між даними) [6–8].

Однак такі підходи мають ряд недоліків при виявленні аномалій у поведінці дискретних мультіваріантних процесів, представлених у вигляді множини послідовностей дій. По-перше, виявлення аномалій виконується для цілих трас або їх фрагментів, без урахування причин їх виникнення. В той же час, метою пошуку аномалій у поведінці бізнес-процесів є виявлення залежностей, що характеризують нетипову поведінку бізнес-процесу. По-друге, розглядається просторове переміщення об'єктів, тоді як для бізнес-процесів необхідно враховувати множину атрибутів, що характеризують окремі дії.

Таким чином, питання виявлення аномалій у поведінці ЗБП потребують подальшого вирішення.

Метою цієї статті є розробка підходу до виявлення аномальної поведінки бізнес-процесів з тим, щоб забезпечити подальшу формалізацію умов виникнення таких відхилень та включення отриманих залежностей до бази знань системи процесного управління.

Аномалії виконання бізнес-процесів в системах процесного управління.

Аномалії (anomalies, outlier) характеризуються різними відхиленнями від значень більшості даних [9]: «це спостереження, яке дуже відхиляється від інших спостережень, з тим щоб викликати підозри, що це було згенеровано іншим механізмом» [10].

Аномалії як різкі відхилення від нормального ходу виконання подій фіксуються в логах (журналах реєстрації подій) бізнес-процесу. Логи формуються підсистемою моніторингу інформаційної системи процесного управління та містять записи, що відображають виконання кожного бізнес-процесу. Логи складаються з трас. Траса включає в себе послідовність подій, які відображають виконання одного примірника бізнес-процесу. Кожна подія описує виконання відповідної дії процесу, наприклад: очікування ресурсів; безпосереднє виконання; очікування реакції користувача і т. п.

Нестандартне виконання процесу, різкі відхилення в традиційній послідовності його дій відображаються в реєстраційному журналі у вигляді нетипових значень атрибутів подій.

Такі відхилення виконання бізнес-процесу можуть бути викликані багатьма причинами, зокрема втручанням виконавців. Останнє може бути пов'язано

як з недостатньою компетенцією виконавця, так і зі спробами працівників вдосконалити процес в конкретних умовах на основі своїх персональних даних та знань.

Типова поведінка бізнес-процесу задається за допомогою традиційний workflow – моделі, тоді як аномалія відповідає нетрадиційній поведінці у вигляді нетипової траси. Остання відображає нетрадиційну послідовність робіт, що не входить до складу моделі. Кожна така послідовність робіт фіксується в журналі у вигляді послідовності подій, що дозволяє в принципі ідентифікувати відповідну аномалію. Послідовність подій формує патерн аномалії.

В задачах процесного управління окремі події недоцільно розглядати як аномалії, оскільки важливими є не окремі стани процесу, а послідовність виконання його робіт у часі. В той же час окремі нетипові стани процесу на трасі логів можуть виникнути в результаті збоїв у роботі підсистеми моніторингу. Наприклад, внаслідок того, що події перед записом у журнал ставляться в чергу, у розподіленій системі окремі події можуть бути записані з хибними мітками часу. Такі неточні значення часу виглядають як аномальна поведінка процесу, порушення послідовності подій. Однак якщо розглянуте відхилення не призводить до подальшого нестандартного ланцюжка подій, то його недоцільно розглядати як аномалію.

На рис. 1 показано, що відмінності між даними про нормальний хід виконання БП, записами з помилковими даними та аномаліями залежать від сумарного відхилення значень атрибутів множини подій поточної траси процесу від значень атрибутів для типової послідовності подій.

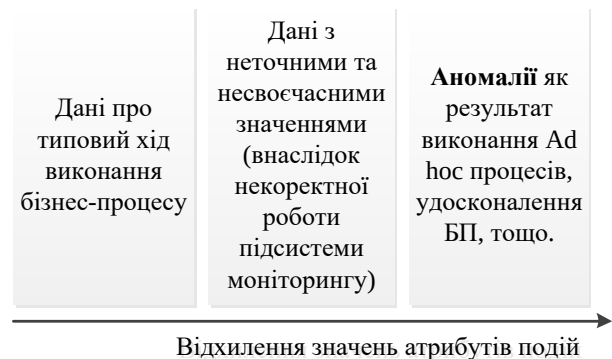


Рис. 1 – Відмінності аномалій виконання бізнес-процесів

Для аномалій виконання бізнес-процесу характерні такі особливості.

По-перше, в журналі реєстрації подій зазвичай зберігається мала кількість трас, що відповідають аномаліям. Причина цієї відмінності полягає в наступному. Аномалії виникають внаслідок реакції виконавців на непередбачені (нечасті) зовнішні впливи. Прикладом такий вплив є зміна вимог клієнта бізнес-процесу. Виконавці на основі своїх знань удосконалюють бізнес-процес і тому його поведінка у нових умовах відрізняється від типової, заданої в моделі. Відповідно, більшість трас логів бізнес-процесу містить у собі записи про відому типову поведінку БП.

По-друге, аномалії зазвичай є результатом використання персоналом своїх знань та досвіду в предметній області. Тому логи бізнес-процесів можуть містити аномалії різних типів:

- пов'язані зі зміною послідовності дій⁴
- визвані зміною об'єктів, з якими оперує процес, без зміни порядку дій.

По-третє, траси, що зафіксували аномалії, можуть містити послідовності подій, аналогічні збоєм в у підсистемі моніторингу.

Узагальнені властивості вхідних даних у задачі аналізу аномалій поведінки бізнес-процесів наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Властивості вхідних даних у задачі аналізу аномалій поведінки бізнес-процесів

Властивості	Місцезнаходження		
	Траса журналу	Журнал БП	Журнали декількох БП
Упорядкованість у часі	+	+	–
Багато-вимірність	–	+	+

Атрибути даних журналу реєстрації подій можуть бути числовими (наприклад, час виникнення події), символьними (прізвища виконавців, назви підрозділів), та категоріальними (категорії продукції, тощо).

Критерії для визначення аномалій у записах про хід виконання БП визначаються особливостями логів подій. Запис про кожну подію містить як темпоральну, так і об'єктну складову. Перша задається маркерами часу виникнення подій, а друга – атрибутами артефактів, з якими оперує бізнес-процес. Відповідно, загальні критерії доцільно класифікувати на темпоральні та об'єктні.

Темпоральні критерії визначають невідповідність послідовності подій аномальної траси процесу порядку дій нормального ходу процесу.

Об'єктні критерії задають відмінність умов виникнення дій при типовій схемі виконання бізнес-процесу. Такі умови визначаються через нетипові атрибути подій траси БП.

В першому випадку в журналі подій зареєстровано нетипову послідовність дій процесу, тобто аномалія характеризує нестандартний зв'язок між вершинами у workflow – графі бізнес-процесу. Вершини даного графу відображають дій процесу, а дуги задають можливі послідовності дій.

У другому випадку аномалії пов'язані з контекстом виконання дій процесу, представленим атрибутами подій логів. Типова послідовність дій виконується у нетиповому контексті. Наприклад, при зміні виконавців для типової послідовності дій атрибути (ім'я, посада, відділ, тощо) цих дій будуть відображені як атрибути відповідних подій логів бізнес-процесу.

Представлені в логах послідовності подій містять темпоральні та контекстні атрибути.

Темпоральні атрибути відображають послідовність виконання дій у конкретному примірнику бізнес-процесу з прив'язкою до конкретних моментів часу. Контекстні атрибути характеризують об'єкти, які використовує бізнес-процес (артефакти). В цілому комбінація темпоральних та контекстних атрибутів задає об'єктно-темпоральні дані, що характеризують виконання БП. Тобто кожна траєкторія БП характеризується зміною атрибутів контексту з часом. До таких атрибутів зазвичай відносять назву та стан поточної дії бізнес-процесу, ім'я та підрозділ виконавця, код, найменування та характеристики продукту, з яким оперує бізнес-процес, тощо.

Орієнтований на траєкторії підхід до визначення аномальної поведінки знання-ємних бізнес-процесів. Запропонований підхід направлений на виявлення нетипових форм траєкторій виконання БП у просторі атрибутів подій з урахуванням як контекстної, так і темпоральної складової їх опису.

Підхід передбачає визначення відстані між групою типових та аномальною траєкторією, а також углів відхилень між цими траєкторіями.

Підхід базується на наступних положеннях.

1. Відстань визначається для пар дій процесу, представлених в журналі парами подій.

Данне положення дозволяє врахувати темпоральний аспект процесу. Кожна дія на траєкторії виконання процесу виникає при завершенні попередньої дії, тому протяжність дії у часі визначається через різницю значень темпоральних міток цих подій.

2. В об'єктному аспекті відстань між діями визначається як нормована відстань між значенням відповідних атрибутів об'єктів, пов'язаних з цими діями.

Данне положення враховує відхилення процесу при зміні об'єктів.

3. Моменти виникнення та завершення аномального фрагменту поведінки БП враховуються за углом відхилення між аномальною та типовою траєкторіями.

Дане положення дозволяє поєднати оцінку за темпоральним та об'єктним аспектами. Угол відхилення задає подію, в якій відбувається перехід від типової до аномальної траєкторії по $n \geq 1$ атрибутів об'єктів.

4. Інтегральна оцінка аномального фрагменту є зваженою сумою відстаней відхилень для дій процесу з урахуванням вугла відхилень.

Дане положення дозволяє врахувати як відмінності у протяжності дій процесу (темпоральний аспект), так і відмінності у діях (назва та стан дії), а також умовах виникнення, виконання і завершення дій (інші атрибути події).

Загальна схема підходу до виявлення аномалій полягає в наступному.

В якості вхідних даних використовується:

– множина траєкторій бізнес-процесу, що внесена до бази знань СПУ; ці траєкторії розглядаються як результат типового функціонування БП.

– траєкторія-кандидат на виявлення аномалій.

Приклад вхідних даних – фрагмент траси-кандидату на виявлення аномалій наведено на

рис. 2. В даному прикладі темпоральний аспект задається міткою часу закінчення події, а також назвою дії "le consult poliklinisch" та її станом "complete". Об'єктний аспект задається назвою відділення, де виконується дія: "Radiotherapy".

```
<trace>
|event>
|<string key="org:group" value=
|"Radiotherapy"/>
|<string key="concept:name" value=
|"le consult poliklinisch"/>
|<date key="time:timestamp" value=
|"2005-01-03T00:00:00.000+01:00"/>
|<string key=
|"lifecycle:transition" value="complete"/>
|/event>
...
</trace>
```

Рис. 2 – Фрагмент вхідних даних

Послідовність виявлення аномалій містить у собі такі базові етапи.

1. Обчислення сумарної інтегральної оцінки відхилень для повної траєкторії – кандидата на аномальну поведінку. На даному етапі визначається середнє відхилення траєкторії – кандидата від усіх типових трас за інтегральною оцінкою. Якщо значення відхилення перевищує заданий поріг, то це свідчить про наявність аномалії у трасі-кандидаті. Виконується перехід до наступного етапу. В іншому випадку процес виявлення аномалій завершується.

2. Видалення з траси – кандидата дії з мінімальним значенням відхилення в темпоральному аспекті. Мета даного етапу – знайти дії, які відповідають нормальній поведінці БП. Такі «типові» дії можуть свідчити про незначну, оперативну корекцію нормального ходу процесу. Наприклад: змінилось прізвище виконавця тієї ж дії, без зміни послідовності дій у фрагменті БП. Новий виконавець може працювати більш повільно, що призведе до деякого відхилення по темпоральному критерію. Однак назва дії залишилась незмінною.

3. Видалення з типових трас такої ж дії, що була видалена з траси-кандидата. Видалення виконується для того, щоб не враховувати відхилення за аналогічною дією.

4. Для кожної зв'язної послідовності дій обчислюється сумарна інтегральна оцінка відхилень фрагменту бізнес-процесу.

5. Фрагменти, для яких інтегральна оцінка не перевищує порогового значення, видаляються з подальшого аналізу.

6. Етапи 2–5 повторюються для окремих фрагментів траси.

Результатом наведених етапів є множина фрагментів, що містять аномалії по темпоральному та об'єктному критеріям.

7. Для результатів виконання етапів 1–6, визначається множина атрибутів, що пов'язана з виникненням аномальних патернів. Виділяються атрибути, що характерні для подій аномального патерну, та не є характерними для аналогічних подій

типового патерну. Множина цих атрибутів визначає необхідні умови (або обмеження) для виконання патерну аномальної поведінки.

8. Виділяються значення атрибутів, що задають виконання окремих дій для кожного аномального патерну виконання БП. Значення атрибутів визначають достатні умови для аномальної поведінки БП.

Слід зазначити, що обмеження запропонованого підходу до виявлення аномалій визначається повнотою інформації про хід процесу в журналі реєстрації подій. Очевидно, що неповний лог, який містить не всі атрибути подій БП, не дозволяє визначити повний набір необхідних та достатніх умов аномального фрагменту дій.

Подальший аналіз значень атрибутів виділених траєкторій дає можливість визначити залежності між атрибутами, їх значеннями та діями процесу. Такі залежності відображують знання виконавців, що було використано для виконання нестрандартного варіанту бізнес-процесу. Порівняння нових залежностей з традиційними патернами виконання бізнес-процесів дає можливість ОПР вдосконалити поточний бізнес-процес.

Бізнес-процес вдосконалюється за двома напрямками:

– впровадження отриманих залежностей у поточний (що виконується) бізнес-процес у вигляді конфігураційних правил, що дає можливість підвищити адекватність моделі БП в реальному часі, по мірі застосування виконавцями своїх знань і, тим самим, обмежити неефективні витрати ресурсів при виконанні процесу;

– адаптація процесної моделі після завершення функціонування поточного екземпляру бізнес-процесу, що дає можливість удосконалити модель з урахуванням неформальних знань виконавців і тим самим підвищити ефективність роботи системи процесного управління.

Висновки. Запропоновано підхід до виявлення аномалій поведінки знання-ємних бізнес-процесів на основі порівняльного аналізу трас у складі логів, що фіксують виконання цих процесів.

Підхід передбачає пошук фрагментів траси з аномаліями по темпоральному і об'єктному аспектам. Темпоральний аспект визначає послідовність подій, що відображають виконання дій бізнес-процесу та тривалість відповідних дій. Об'єктний аспект визначає характеристики об'єктів, що використовуються бізнес-процесом при виконанні цих дій. При пошуку аномальних фрагментів обчислюється відстань між діями. В якості ознаки початку та закінчення аномального фрагменту використовується кут відхилення між діями в просторі атрибутів подій логів.

В практичному плані підхід дає можливість не лише знайти аномальні фрагменти, але й визначити множину атрибутів об'єктів, пов'язаних з виконанням нетипових дій, а також значень цих атрибутів.

Сукупність дій, атрибутів та їх значень аномального фрагменту може бути представлена у вигляді елементу бази знань і в подальшому використана для удосконалення бізнес-процесу.

Список літератури

References (transliterated)

1. 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.
2. Aggarwal C. C. *Data Mining: The Textbook* / C. C. Aggarwal, C. Charu. – Springer, 2015. – 734 p.
3. Barnett V. *Outliers in Statistical Data* / V. Barnett, T. Lewis. – John Wiley & Sons, 1994. – 582 p.
4. Breunig M. M. LOF: Identifying density-based local outliers / M. M. Breunig, H.-P. Kriegel, R. T. Ng, J. Sander // *Proc. 2000 ACM SIGMOD Int'l Conf. on Management of Data*. – 2000. – P. 93–104.
5. Papadimitriou S. LOCI: Fast outlier detection using the local correlation integral / S. Papadimitriou, H. Kitagawa, P. B. Gibbons, C. Faloutsos // *Proc. 19th Int'l Conf. on Data Engineering*. – 2003. – P. 315–326.
6. Knorr E. M. Algorithms for mining distance-based outliers in large datasets / E. M. Knorr, R. T. Ng // *Proc. 24th Int'l Conf. on Very Large Data Bases*. – 1998. – P. 392–403.
7. Knorr E. M. Distance-based outliers: Algorithms and applications / E. M. Knorr, R. T. Ng, V. Tucakov // *VLDB Journal*. – 2000. – vol. 8, no. 3. – P. 237–253.
8. Ramaswamy S. Efficient algorithms for mining outliers from large data sets / S. Ramaswamy, R. Rastogi, K. Shim // *Proc. 2000 ACM SIGMOD Int'l Conf. on Management of Data*. – 2000. – P. 427–438.
9. Aggarwal C. C. Outlier detection for high dimensional data / C. C. Aggarwal, P. S. Yu // *Proc. 2001 ACM SIGMOD Int'l Conf. on Management of Data*. – 2001. – P. 37–46.
10. Hawkins D. *Identification of Outliers* / D. Hawkins. – Chapman and Hall, 1980. – 188 p.
1. Van der Aalst W. M. P. *Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes*. Springer, Berlin Heidelberg, 2011. 352 p.
2. Aggarwal C. C., Charu C. *Data Mining: The Textbook*. Springer, 2015. 734 p.
3. Barnett V, Lewis T. *Outliers in Statistical Data*. John Wiley & Sons, 1994. 582 p.
4. Breunig M. M., Kriegel H.-P., R. T. Ng, Sander J. LOF: Identifying density-based local outliers. *Proc. 2000 ACM SIGMOD Int'l Conf. on Management of Data*. 2000, pp. 93–104.
5. Papadimitriou S., Kitagawa H., Gibbons P. B., Faloutsos C. LOCI: Fast outlier detection using the local correlation integral. *Proc. 19th Int'l Conf. on Data Engineering*. 2003, pp. 315–326.
6. Knorr E. M., Ng R. T. Algorithms for mining distance-based outliers in large datasets. *Proc. 24th Int'l Conf. on Very Large Data Bases*. 1998, pp. 392–403.
7. Knorr E. M., Ng R. T., Tucakov V. Distance-based outliers: Algorithms and applications. *VLDB Journal*. 2000, vol. 8, no. 3, pp. 237–253.
8. Ramaswamy S., Rastogi R., Shim K. Efficient algorithms for mining outliers from large datasets. *Proc. 2000 ACM SIGMOD Int'l Conf. on Management of Data*. 2000, pp. 427–438.
9. Aggarwal C. C., Yu P. S. Outlier detection for high dimensional data. *Proc. 2001 ACM SIGMOD Int'l Conf. on Management of Data*. 2001, pp. 37–46.
10. Hawkins D. *Identification of Outliers*. Chapman and Hall, 1980. 188 p.

Поступила (received) 22.11.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Підхід до виявлення аномальної поведінки процесів в системах процесного управління на основі аналізу логів / В. М. Левикін, О. В. Чала // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХПІ», 2018. – № 55 (1276). – С. 77–81. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-0023.

Подход к выявлению аномального поведения процессов в системах процессного управления на основе анализа логов / В. М. Левыкин, О. В. Чала // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2018. – № 55 (1276). – С. 77–81. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-0023.

Approach to the detection of abnormal behavior of processes in process control systems based on log analysis / V. M. Levykin, O. V. Chala // Bulletin of National Technical University "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov : NTU "KhPI", 2018. – No. 55 (1276). – P. 77–81. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-0023.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Левикін Віктор Макарович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних управляючих систем Харківського національного університету радіоелектроніки, м. Харків, тел.: (057) 702-14-51; e-mail: levykinvictor@gmail.com.

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.

Чала Оксана Викторовна – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры информационных управляющих систем Харьковского национального университета радиоэлектроники, г. Харьков, тел.: (057) 702-14-51; e-mail: oksana.chala@nure.ua.

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.

UDC 519.2

A. E. GOLOSKOKOV, T. A. DRACH, S. E. SHAPOVAL**FUZZY IDENTIFICATION OF THE STATE OF IT CORPORATION**

Проаналізовано методи та підходи до вирішення задачі управління корпорацією. Розглянуто економічні, соціально-психологічні, адміністративні методи управління корпорацією. Розглянуто ситуаційний, системний, ситуаційний нечіткий підходи до управління корпорацією. Внесено рішення застосовувати ситуаційний нечіткий підхід до вирішення задачі дослідження. Запропоновано використовувати алгоритм кластеризації *k*-середніх для того, щоб розподілити нечіткі ситуації по класам. Вирішено задачу кластеризації. Вирішено задачу ідентифікації стану ІТ-корпорації.

Ключові слова: управління корпорацією, нечіткі ситуації, ситуаційне нечітке управління, ідентифікація стану корпорації.

Проанализированы методы и подходы к решению задачи управления корпорацией. Рассмотрены экономические, социально-психологические, административные методы управления корпорацией. Рассмотрены ситуационный, системный, ситуационный нечеткий подходы к управлению корпорацией. Принято решение применять ситуационный нечеткий подход к решению задачи исследования. Предложено использовать алгоритм кластеризации *k*-средних для того, чтобы распределить нечеткие ситуации по классам. Решена задача кластеризации. Решена задача идентификации состояния ИТ корпорации.

Ключевые слова: управления корпорацией, нечеткие ситуации, ситуационное нечеткое управление, идентификация состояния корпорации.

The methods and approaches to solving the problem of corporate governance are analyzed. Economic, social-psychological, administrative methods of corporate management are considered. Situational, systemic, situational fuzzy approaches to corporate management are considered. It was decided to apply a situational fuzzy approach to solving the research problem. It is proposed to use the *k*-means clustering algorithm in order to distribute fuzzy situations by classes. Clustering problem is solved. The task of identifying the state of IT corporation. An example has been calculated with which you can conduct a comprehensive study of the state of the object, which allows you to get a full understanding of the estimated IT corporation not only at the time of the assessment, but also in the retrospective and forecast periods.

Keywords: corporate governance, fuzzy situations, situational fuzzy management, identification of the state of the corporation.

Introduction. Currently, the evolution of the community is largely dependent on IT technology. The IT industry is one of the four priority sectors for Ukraine's export strategy. In recent years, there has been an increase in the number of IT corporations in Ukraine, which are rapidly expanding. The creation of an effective IT-technology requires the creation of an optimal IT-corporation management system. Thus, the task of managing the IT corporation becomes urgent.

The modern concept of "management" means the process of coordination of various activities taking into account their goals, conditions of implementation, stages of implementation.

Considering the management process as an element of the organization, it is necessary to determine what tasks the management of a specific organization performs as it does, that is, to understand which sectors are the subject of coordination and regulation and in what way this coordination is carried out.

The Corporation has the following characteristic features: nonstationarity of the process occurring in the system, a large amount of information, the impossibility of constructing a mathematical model from the standpoint of the classical control theory. The solution of the management task stipulates the following tasks: aggregation of information, identification of the state of the system and solution of the management task.

The present work is devoted to aggregating information and solving the task of identifying the state of IT-corporations. It is proposed to use the elements of situational control and the mathematical apparatus of the theory of fuzzy sets.

Since a large amount of information complicates the construction of the situational management model, it is proposed to aggregate it using cluster analysis.

Analysis of the research problem. The quality of IT-corporation management is largely determined by the effectiveness of decisions taken by leaders of different levels - the higher, middle and lower levels. To make such decisions, managers need to have reliable, timely and regular information about the state of affairs [1].

Particularly acute problems of reliability, timeliness and regularity of management information face large IT corporations. Information systems are the only way to collect, process and present data in a form that is convenient for making managerial decisions.

It can be concluded that in modern conditions IT-corporations need a tool that allows using the available resources as efficiently and economically as possible. The use of foreign experience, concepts and technologies can be of great use only if it is really a progressive experience and if it is used taking into account the specific conditions in which a particular IT corporation is located. Management systems (methodologies, approaches, computer programs) should be flexible enough so that they can be adapted as needed, with various changes in the "external environment".

Thus, it is timely to introduce into the IT-corporation a management system that could make its work more efficient and, as a result, lead to an increase in profits.

Description of the research object. In the work as an object of research is considered an IT corporation, which represents the domestic software industry in the world market.

At the head of the IT corporation is the General Director. He represents it in all institutions and state organizations, concludes contracts, issues orders for the corporation, opens accounts in banks and performs many other functions.

Directly subordinate to the director of the IT corporation are three deputies: marketing, economics and personnel, as well as the chief accountant and legal counselor.

IT-corporation has a linear-functional (combined) management structure, because it is based on a close combination of linear and functional connections in the management apparatus. It provides such a division of labor, in which the linear links make decisions and manage, and the functional – consult, inform, coordinate and plan economic activities. The basis of the organization of functional actions is based on a linear principle. This is illustrated by Figure 1.

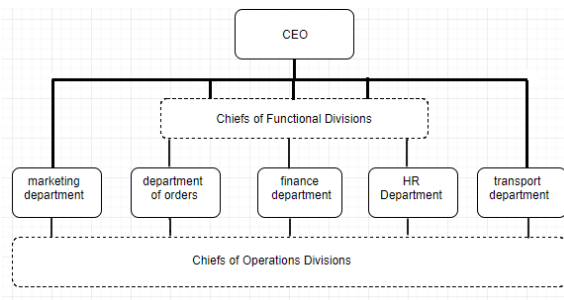


Figure 1 – Linear-functional control structure

The linear-functional structure is also characterized by weak horizontal connections between functional divisions. Therefore, quite often some similar control functions are not coordinated enough. The constant need to harmonize decisions at the level due to the variety of horizontal links causes a significant slowdown in the timing of the implementation of the goals, a decrease in the quality of decisions made, an increase in management costs.

It should be noted that the main criteria for the effectiveness of the IT corporation can be its indicators: the profit that the corporation receives for one quarter (hryvnia), the number of timely completed orders (pcs per quarter), costs, per order (man-hours).

All indicators of IT-corporation activity tend to grow, and the growth rate of profit from sales of products and services exceeds the growth rate of sales proceeds, which in turn exceeds the growth rates of prime cost by a favorable trend.

To solve the management problem, it is proposed to use an unclear situational approach. Since the IT corporation has an established, mature production: a large-scale, mass. The goals here are clear and rarely change. The main thing is to be able to exit in the best way from the unfavorable situations that are created, to avoid failures in the production process.

The management decision always consists in the choice of certain quantities, which are called "management". They, in turn, determine the values of other quantities - the phase coordinates.

To solve the research problem, the following phase coordinates:

- x_1 – number of departments in the IT company (pcs);
- x_2 – number of technologies for creating software products (pcs);

x_{3i} – number of employees who own a certain technology (person), $i = \overline{1, n}$;

x_{4l} – amount of funds allocated for a particular project (computers), $l = \overline{1, n}$;

x_{5m} – number of reserve frames (people), $m = \overline{1, n}$.

Thus, the vector of phase coordinates describing the state of the control object has the following form:

$$X = \{x_1, x_2, x_{3i}, x_{4l}, x_{5m}\}.$$

Due to the large amount of information, it is necessary to aggregate it using fuzzy logic [2]. Each attribute is formalized by a linguistic variable. Next, we set the base set for the characteristic. So, every sign x_i ($i \in J = \{1, 2, K, p\}$) is described by the corresponding linguistic variable $\langle x_i, T_i, D_i \rangle$, where $T_i = \{T'_1, T'_2, K, T'_m\}$ – term-set of a linguistic variable x_i (or a set of linguistic values of the trait; m – number of characteristic values); D_i – basic feature set x_i .

To formalize fuzzy situations of the IT-corporation management process, the vector of phase coordinates:

x_1 – number of departments in IT-corporations.

$\langle$ "Number of departments in IT-corporations", T_1 , $D_1 \rangle$;

$T_1 = \{\text{"few", "enough", "much"}\}$; $D_1 = \{5; 20\}$.

x_2 – number of technologies for creating software products.

$\langle$ "Number of technologies for creating software products.", T_2 , $D_2 \rangle$;

$T_2 = \{\text{"few", "enough", "much"}\}$; $D_2 = \{10; 30\}$.

x_{3i} – number of employees who own a certain technology, where, $i = \overline{1, n}$.

$\langle$ "Number of employees who own a certain technology", T_3 , $D_3 \rangle$;

$T_3 = \{\text{"few", "enough", "much"}\}$; $D_3 = \{15; 50\}$.

x_{4l} – number of reserve personnel who own a certain technology, where i is the project, $l = \overline{1, n}$.

$\langle$ "Number of reserve personnel who own a certain technology", T_4 , $D_4 \rangle$;

$T_4 = \{\text{"few", "enough", "much"}\}$; $D_4 = \{10; 20\}$.

x_{5m} – amount of funds allocated for a particular project, $m = \overline{1, n}$.

$\langle$ "Amount of funds allocated for a particular project", T_5 , $D_5 \rangle$;

$T_5 = \{\text{"few", "enough", "much"}\}$; $D_5 = \{30\ 000; 100\ 000\}$.

Next, we form the control vector. For the considered domain, it has the form:

u_1 – number of employees in IT-corporations (IT-specialists);

$\langle$ "Number of employees in IT-corporations", T_1 , $D_1 \rangle$;

$T_1 = \{\text{"few", "enough", "much"}\}; D_1 = \{100; 1000\}.$

u_2 – volume of investments (in UAH);

<"Volume of investments", T_2 , D_2 >;

$T_2 = \{\text{"few", "enough", "much"}\}; D_2 = \{100000; 300000\}.$

u_3 – technical support (computers);

<"Technical support", T_3 , D_3 >;

$T_3 = \{\text{"few", "enough", "much"}\}; D_3 = \{100; 1000\}.$

u_4 – number of orders of IT solutions (pcs per quarter);

<"Number of orders of IT solutions", T_4 , D_4 >;

$T_4 = \{\text{"few", "enough", "much"}\}; D_4 = \{10; 100\}.$

The criteria for assessing the functioning of the corporation are as follows:

K_1 – profit that the corporation receives for one quarter (in UAH);

<"Profit that the corporation receives for one quarter", T_1 , D_1 >;

$T_1 = \{\text{"few", "enough", "much"}\}; D_1 = \{20000; 100000\}.$

K_2 – number of timely executed orders (units per quarter);

<"Number of timely executed orders", T_2 , D_2 >;

$T_2 = \{\text{"few", "enough", "much"}\}; D_2 = \{3; 15\}.$

K_{3i} – costs, for the performance of one order (man hours), $i = \overline{1, n}$;

<"Costs, for the performance of one order", T_3 , D_3 >;

$T_3 = \{\text{"few", "enough", "much"}\}; D_3 = \{1000; 8000\}.$

The process of functioning of the system reflects the behavior of the system in time and can be represented as a successive change of its states. If the system changes one of its states to another state, then it is customary to say that the system goes from one state to another.

Statement of the research problem and the choice of the method of its solution. The paper considers the IT-corporation, which has a linear-functional management structure. In modern development this organization is one of the leaders in software development. IT-corporation has established, fulfilled and large-scale production. Effective activity of the corporation is satisfactory, however management believes that the IT corporation has a great potential for organization.

Thus, to solve the problem of managing an IT corporation, first of all, it is necessary to solve the problem of identifying the state of the corporation and to develop measures to ensure its further effective development.

So, the IT-corporation's need to redefine target targets and their implementation can be met by creating flexible tool-and-methodical support, including two main processes: information aggregation, IT-corporation status identification.

Thus, the first stage is reduced to the transformation of the detailed information into "packages" (aggregates) of data that allows to analyze the IT corporation in terms of a

small number of relevant aggregate variables that include profit, costs, orders (intermediate and final), the number of employees in the corporation, the amount of investment, the amount of technical support, etc., under conditions for which the initial data are known with varying degrees of detail.

The second stage is the identification of the state of the IT corporation. It consists in determining from the input and output values of such a situation from a particular class of situations, in which the real system under investigation is equivalent.. In accordance with this, it is necessary to define a class of situations models, among which the most suitable (current) model of the situation will be chosen. That is, it is necessary to conduct a comprehensive study of the state of the object, which allows to get a full understanding of the estimated IT corporation not only at the time of the assessment, but also in the retrospective and forecast periods [2].

The management of the corporation should be able to implement its proposed management in any period (once a week, once a month, once a quarter). Then compare the results that were before the introduction and the results were obtained after the innovations. Thus, the IT corporation for 2 years should reach an entirely new level of management, which would lead the corporation to achieve its main goal.

Economic, social-psychological, administrative methods of corporate management are considered. Situational, systemic, situational fuzzy approaches to the management of the IT corporation.

It is revealed that the application of the above methods, as well as the situational approach, is ineffective for our research task. So there are many signs that are quite difficult to describe the situation in the IT corporation. All this is a complex mathematical model. The authors decided to switch to fuzziness. Namely, it was decided to apply a situational fuzzy approach to solving the research problem.

The task of clustering. There are data on the situation describing the state of the corporation. In cluster analysis this is called observation. Each situation is described by signs, for example, the number of technologies for creating software products, the number of funds allocated for a particular project, the number of reserve personnel, the number of employees who own certain technology and the number of departments in the corporation. They form a vector representing the situation. This vector has the form of a list of numbers that can be interpreted as coordinates of a multidimensional space [3].

In order to distinguish classes of situations using the fuzzy k -mean method, we use the MatLab application package for numerical analysis.

In the Statistics Toolbox section, there is a standard function `kmeans()`, access to which allows to obtain clustering results for the sample. The input data for it are sampling (value k), as well as numerous parameters and settings.

Authors were given the following data for the calculation of the test case: $k = 3$, k – a set of characteristics that adequately reflect the properties of the research object (Table 1).

Table 1 – Initial data for the clustering process

An object	The parameters that characterize IT corporation				
	x_1	x_2	x_{3i}	x_{4l}	x_{5m}
IT corporation	{5; 20}	{10; 30}	{15; 50}	{10; 20}	{30000; 100000}

The data given in table 1 form 3 classes ("few", "enough", "much") to describe each of the pranks characterizing the corporation. These vectors are represented in the form of a list of numbers in Table 2. Next they will be interpreted as coordinates of the multidimensional space for the MatLab.

The set of situations formed by the authors is partially given in Table 2.

Table 2 – Developed situations

Situation	Values
S_0	{ few; few }
S_1	{ few; enough }
...	
S_8	{ much; enough }
S_9	{ much; much }

The initial data are heterogeneous, and their estimates by parameters are not consistent, which corresponds to the real situation.

We determine the value of the proximity measure for each criterion. Let us write the obtained values for characteristic x_1 in Table 3.

Table 3 – Normalization of the heterogeneity of values

Normalized values										
0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
few			enough				much			

We calculate the distance between the centers of the parameter clusters. The results are shown in Table 4.

Table 4 – The distance between the centers of the clusters

Distance between signs	The value obtained
x_{1k} and x_{2k}	0,234521
x_{2k} and x_{3ik}	0,158114
x_{3ik} and x_{4lk}	0,424264
x_{4lk} and x_{5mk}	0,455522
x_{1k} and x_{5mk}	0,357071
x_{1k} and x_{3ik}	0,331662
x_{1k} and x_{4lk}	0,223607
x_{2k} and x_{4lk}	0,308221
x_{2k} and x_{5mk}	0,150000
x_{3ik} and x_{5mk}	0,165831

As you can see, the smallest value between the second (the number of technologies for creating software products) and the fifth (the amount of funds allocated to a particular project). And the greatest between the third and

fourth signs, as well as between the fourth and fifth.

Next, a pair of numbers is formed, which consists of the value of the characteristic and the value of the membership function. Then we get the formed situations.

Let's test the test case. Let the current situation S_0 will be formulated as follows: IT-corporation has 4 technologies used to write IT solutions and 3 employees with a certain technology, that is, the total number of developers is 12 people. Also now, the IT corporation is developing a low-budget project (40 000 hryvnia).

The initial data are heterogeneous, and their estimates by parameters are not consistent, which corresponds to the real situation.

We determine the value of the proximity measure for each criterion and write the results in Table 3.

Next, a pair of numbers is formed, which consists of the value of the characteristic and the value of the membership function. Then we get the formed situations.

Let's test the test case. Let the current situation S_0 will be formulated as follows: IT-corporation has 4 technologies used to write IT solutions and 4 employees with a certain technology, that is, the total number of developers is 12 people. Also now, the IT corporation is developing a low-budget project (40 000 thousand hryvnia).

Let's write the current situation S_0 as follows: there is a small number of technologies for creating software products, a large number of employees who possess certain technology and a small amount of funds allocated for a particular project. Situation S_0 characterized by signs x_2 – number of technologies for creating software products, x_{3i} – the number of employees who possess certain technology, x_{4l} – amount of funds allocated for a particular project. Thus, we determine that the characteristic x_2 belongs to the class of situations {few}, x_{3i} belongs to the class of situations {much}, x_{4l} belongs to the class of situations {few}.

We have the situation S_0 is formed as follows:

$$S_0 = \{<0,25/"few">, <0,9/"enough">, <0,35/"few">\}.$$

Further it is necessary to identify the current situation.

The main advantage of the algorithm is its simplicity. Simplicity usually means high execution speed and efficiency compared to other algorithms, especially when working with large data sets [3].

The two main disadvantages of the method in the medium are invested in the sensitivity to explosions and the initial choice of centers of gravity.

The task of identification. To identify the state of the IT corporation, it is necessary to consider the situation in which it is at the moment. It is necessary to compare the input fuzzy situation S_0 with every fuzzy situation $S = \{S_1, K, S_n\}$. As a measure to determine the degree of proximity of the fuzzy situation of a fuzzy situation S_0 the degree of fuzzy inclusion of a fuzzy situation will be used S_0 in an unclear situation S_i . Enabling the fuzzy

situation S_0 in an unclear situation S_i . The definition of the degree of inclusion of situations, based on determining the degree of inclusion of fuzzy sets. Degree of inclusion of the situation S_i in the situation S_j is given by:

$$v(S_i, S_j) = \&v(\mu_{S_i}(y), \mu_{S_j}(y)).$$

Value $v(\mu_{S_i}(y), \mu_{S_j}(y))$ is the degree of inclusion of a fuzzy set $\mu_{S_i}(y)$ in a fuzzy set $\mu_{S_j}(y)$.

For a test render, let's use the example described above. The authors identified 22 reference situations. All reference situations are assigned to three levels of the hierarchy. Using the formula, we will determine the degree of inclusion of the current situation in each of the available. To do this, let us take the part formulated by the authors, earlier situations [4].

To the type of fuzzy situations S' include situations that characterize the state of performance of the functional responsibilities of the corporation.

Situations S' are determined by the following set of characteristics (factors):

x_2 – number of technologies for creating software products (pcs);

x_{3i} – number of employees who have a certain technology (person);

x_{4l} – amount of funds allocated for a particular project (computers).

Situations S'' are determined by the following set of characteristics (factors):

x_1 – number of departments in the IT corporation (pcs);

x_{5m} – number of reserve frames (people).

Situations S'_1 includes fuzzy situations that characterize the quality of management in a corporation, and also depend on the profit of an IT corporation for one quarter. Fuzzy situations S'_1 three characteristics, namely:

x_2, x_{3i}, x_{4l} .

Situations S'_2 characterizes the degree of personnel training in new technologies. Fuzzy situations S'_2 two characteristics, namely: x_2, x_{3i} .

Situations $S'_1 = \{S'_{11}, S'_{12}, S'_{13}\}$, $S'_2 = \{S'_{21}, S'_{22}\}$ we will present in Table 4.

Table 4 – Part generated by the authors, situations

Situation	Values			The signs
S'_1	0,25 / few	0,45 / enough	0,9 / much	x_2
	0,20 / few	0,60 / enough	0,9 / much	x_{3i}
	0,10 / few	0,20 / enough	0,8 / much	x_{4l}
S'_2	0,25 / few	0,45 / enough	0,9 / much	x_2
	0,25 / few	0,45 / enough	0,9 / much	x_{3i}

So, the situation S'_{11} characterizes the small profit of the IT corporation for the quarter. Situation S'_{12} characterizes the sufficient profit of the IT corporation for

the quarter. Situation S'_{13} characterizes the big profit of the IT corporation for the quarter. Situation S'_{21} reflects an insignificant degree of training in new technologies. Situation S'_{22} reflects a significant degree of learning new technologies.

For the test miscalculation, a stack of situations is necessary that belong to the situation S' , because it is characterized by signs x_2, x_{3i}, x_{4l} .

It was determined that the test situation S_0 belongs to the class of situations S' , because situations S' are determined by the following set of characteristics (factors): x_2, x_{3i}, x_{4l} .

Further, it is necessary to determine the degree of inclusion S_0 in each of the situations S'_1 . As S'_2 characterized by all but two signs x_2, x_{3i} , then it does not suit us.

Determine the degree of inclusion of the current situation S_0 in the situation S'_{11} :

$$v(S_0, S'_{11}) = (0,25 \rightarrow 0,25) \& (0,9 \rightarrow 0,2) \& (0,35 \rightarrow 0,1).$$

Determine the degree of inclusion of the current situation S_0 in the situation S'_{12} :

$$v(S_0, S'_{12}) = (0,25 \rightarrow 0,45) \& (0,9 \rightarrow 0,6) \& (0,1 \rightarrow 0,2).$$

Determine the degree of inclusion of the current situation S_0 in the situation S'_{13} :

$$v(S_0, S'_{13}) = (0,25 \rightarrow 0,9) \& (0,9 \rightarrow 0,9) \& (0,1 \rightarrow 0,8).$$

We come to the conclusion that the situation S_0 is closest to the reference fuzzy situation S'_{12} , which indicates a large increase in the number of personnel in the corporation and a sufficient profit for the quarter.

Let us now calculate the degree of fuzzy equality of situations. The degree of equality of two fuzzy subsets $\tilde{A}, \tilde{B}$ set of X is defined as:

$$\mu(\tilde{A}, \tilde{B}) = \&(\mu_A(x) \leftrightarrow \mu_B(x)).$$

If $\mu(\tilde{A}, \tilde{B}) \geq 0,5$, then the sets are fuzzy equally, if $\mu(\tilde{A}, \tilde{B}) \leq 0,5$, then the sets are mutually indifferent.

Based on the foregoing, it is necessary to determine the degree of fuzzy equality of the situation S_0 in each of the situations S'_1 according to the formula 2.

Taking into account the above calculations, we determine the degree of fuzzy equality of the situation S_0 with the situation S'_{12} .

$$\begin{aligned} \mu(S_0, S'_{12}) &= (0,25 \leftrightarrow 0,45) \& (0,9 \leftrightarrow 0,6) \& (0,35 \leftrightarrow 0,2) = \\ &= 0,35 \& 0,8 \& 0,25 = 0,8. \end{aligned}$$

Hence we have that $\mu(S_0, S'_{12}) \geq 0,5$. And this means that the situation S_0 and the situation S'_{12} fuzzy equally.

So, based on the received calculations, namely, the

calculation of the degree of fuzzy inclusion and calculation of the degree of fuzzy equality of situations, it can be concluded that at the moment the corporation has a large increase in the number of personnel and sufficient profit for one quarter [5].

Thus, it is possible to identify the situation in the IT corporation, which can occur at any time and will be considered current. With the help of this identification, the management of the IT corporation at any time can receive reports on the state of affairs in the corporation, as well as obtain the necessary management decision to achieve its specific objectives.

Conclusions. It has been established that the most effective approach to the management of an IT corporation that has an established, established large-scale production is a situational fuzzy approach.

Since it is necessary to process a large amount of information, it is suggested to use the k-means clustering algorithm in order to distribute fuzzy situations.

Data aggregation is performed. Namely, information was converted into data aggregates, which allowed the IT corporation to be analyzed in terms of a small number of relevant aggregate variables.

The state of the IT corporation was identified. Namely, it is determined by the input and output values of such situations from a certain class of situations, in which the real system under investigation is equivalent. An example has been calculated with which you can conduct a comprehensive study of the state of the object, which allows you to get a full understanding of the estimated IT corporation not only at the time of the assessment, but also in the retrospective and forecast periods.

Then, using the results obtained, we propose the solution of the control problem.

Bibliography

1. Гончаров В. В. Важнейшие понятия и концепции в современном управлении / В. В. Гончаров. – М.: МНИИПУ, 1998. – 176 с.
2. Борисов А. И. Модели принятия решений на основе лингвистической переменной / А. И. Борисов, А. В. Алексеев, О. А. Крумберг, Г. В. Меркурьева, В. А. Попов. – Рига: Зинатне, 1982. – 256 с.
3. Jain A. Data Clustering: A Review / A. Jain, M. Murty, P. Flynn // ACM Computing Surveys. – 1999. – Vol. 31, no. 3. – P. 264–323.
4. Мелихов А. Н. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой / А. Н. Мелихов, Л. С. Берштейн, С. Я. Коровин. – М.: Наука, 1990. – 272 с.
5. Ежкова И. В. Принятие решений при нечетких основаниях. I. Универсальная шкала / И. В. Ежкова, Д. А. Поспелов // Изв. АН СССР. Сер.: Техн. кибернетика. – 1977. – № 6. – С. 3–11.

References (transliterated)

1. Goncharov V. V. Vazhnejshie ponjatija i koncepcii v sovremennom upravlenii [The most important concepts and concepts in modern management]. Moscow, MNIIPU Publ., 1998. 176 p.
2. Borisov A. I., Alekseev A. V., Krumberg O. A., Merkur'eva G. V., Popov V. A. Modeli prinjatija reshenij na osnove lingvisticheskoy peremennoj [Models of decision-making on the basis of a linguistic variable]. Riga, Zinatne Publ., 1982. 256 p.
3. Jain A., Murty M., Flynn P. Data Clustering: A Review. ACM Computing Surveys. 1999, vol. 31, no. 3, pp. 264–323.
4. Melihov A. N., Bershtejn L. S., Korovin S. Ja. Situacionnye sovetujushhie sistemy s nechetkoj logikoj [Situational advisory systems with fuzzy logic]. Moscow, Nauka Publ., 1990. 272 p.
5. Ezhkova I. V., Pospelov D. A. Prinjatie reshenij pri nechetkih osnovanijah. I. Universal'naja shkala [Decision making with unclear reasons. I. The universal scale]. Izvestiya AN SSSR. Seriya: Tekhnicheskaya kibernetika. 1977, no. 6, pp. 3–11.

Received 01.12.2017

Бібліографічні описи /Библиографические описания /Bibliographic descriptions

Fuzzy identification of the state of IT corporation / A. E. Goloskokov, T. O. Drach, S. E. Shapoval // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х.: НТУ «ХПІ», 2017. – № 55 (1276). – С. 82–87. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-0023.

Fuzzy identification of the state of IT corporation / A. E. Goloskokov, T. O. Drach, S. E. Shapoval // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків: Національного технічного університету «ХПІ», 2017. – № 55 (1276). – С. 82–87. – Библиогр.: 5 назв. – ISSN 2079-0023.

Fuzzy identification of the state of IT corporations / A. E. Goloskokov, T. O. Drach, S. E. Shapoval // Bulletin of National Technical University "KhPI". Series: System analysis, control and information technology. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – No. 55 (1276). – P. 82–87. – Bibliogr.: 5. – ISSN 2079-0023.

Відомості про авторів /Сведения об авторах /About the Authors

Голоскоков Олександр Євгенович – кандидат технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління; 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 программной инженерии и информационных технологий управления; 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 PIIT; tel.: (066) 268-84-48; e-mail: goloskokov@ukr.net

Драч Тетяна Олександрівна – студентка, 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@ukr.net

Драч Татьяна Александровна – студентка, 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@ukr.net

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@ukr.net

Шаповал Сергій Євгенович – студент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», кафедра програмної інженерії та інформаційних технологій управління, м. Харків, Україна; тел.: (093) 359-38-39; e-mail: serhiishapoval_if32g@ukr.net

Шаповал Сергей Евгеньевич – студент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», кафедра программной инженерии и информационных технологий управления, г. Харьков, Украина; тел.: (093) 359-38-39; e-mail: serhiishapoval_if32g@ukr.net

Shapoval Serhii Evgenovich – student, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Department of Program Engineering and Information Technology Management, Kharkiv, Ukraine; tel.: (093) 359-38-39; e-mail: serhiishapoval_if32g@ukr.net

ЗМІСТ

Северин В. П., Никулина Е. Н., Лукинова Д. А. Имитационное моделирование процессов в реакторе ВВЭР-1000 при регулировании мощности поглощающими стержнями.....	3
Буки А. С., Мазманишвили А. С. Стохастический анализ измерений пятишарового спектрометра Боннера.....	8
Мазманишвили А. С., Сидоренко А. Ю. Алгоритм построения стационарного нормального марковского 3d-поля: динамические уравнения движения, статистические распределения вероятностей, визуализация	13
Боева А. А. Исследование движения магнитогазодинамических ударных волн в неоднородной плазменной среде методом Уизема	21
Godlevskiy M. D., Goloskokova A. A., Bielous O. S. Information technology of a static model solving for quality improvement of the software development process based on the CMMI model	26
Нескорородева Т. В. Правила и составные части методики обобщенно-множественного отображения информации в подсистеме аналитического учета СППР аудита на верхнем уровне	31
Kozulia T., Kozulia M. Integrated information system assessment of complex objects safety level	39
Moskalenko V. V., Berezenko J. C. The concept of an architectural solution for the service intended to build an enterprise strategy map	45
Klyuchka Y. A., Cherednichenko O. Y., Vasylenko A. V., Yakovleva O. V. Forecasting the results of football matches on the Internet based information.....	51
Лубенец С. В., Павленко Е. П., Харций Е. Н. Прогнозирование результатов финансовых инвестиций	60
Dvukhglavov D. E., Kulynych V. E. Development of software solution for building route of a orders group delivery in presence of time constraints.....	64
Godlevskiy I. M., Hiiievskiy D. O. Technology of multiple-criteria synthesis and choice of distributed organizational management structure of distribution logistics system	72
Левикін В. М., Чала О. В. Підхід до виявлення аномальної поведінки процесів в системах процесного управління на основі аналізу логів	77
Goloskokov A. E., Drach T. O., Shapoval S. E. Fuzzy identification of the state of IT corporation.....	82

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
«ХПІ»**

Збірник наукових праць

Серія:
Системний аналіз, управління
та інформаційні технології

№ 55 (1276) 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 «ХПІ».
Кафедра системного аналізу, управління та інформаційно-аналітичних технологій.
Тел.: (057) 707-61-03, (057) 707-66-54; e-mail: bezmenov@kpi.kharkov.ua

Обл.-вид № 89–15.

Підп. до друку 22.06.2017 р. Формат 60×84 1/16. Папір офсетний.
Друк офсетний. Гарнітура Таймс. Умов. друк. арк. 10,0.
Тираж 100 пр. Зам. № 772. Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХПІ». 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

Драч Татьяна Александровна – студентка, 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@ukr.net

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@ukr.net

Шаповал Сергій Євгенович – студент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», кафедра програмної інженерії та інформаційних технологій управління, м. Харків, Україна; тел.: (093) 359-38-39; e-mail: serhiishapoval_if32g@ukr.net

Шаповал Сергей Евгеньевич – студент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», кафедра программной инженерии и информационных технологий управления, г. Харьков, Украина; тел.: (093) 359-38-39; e-mail: serhiishapoval_if32g@ukr.net

Shapoval Serhii Evgenovich – student, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Department of Program Engineering and Information Technology Management, Kharkiv, Ukraine; tel.: (093) 359-38-39; e-mail: serhiishapoval_if32g@ukr.net

ЗМІСТ

Северин В. П., Никулина Е. Н., Лукинова Д. А. Имитационное моделирование процессов в реакторе ВВЭР-1000 при регулировании мощности поглощающими стержнями.....	3
Буки А. С., Мазманишвили А. С. Стохастический анализ измерений пятишарового спектрометра Боннера.....	8
Мазманишвили А. С., Сидоренко А. Ю. Алгоритм построения стационарного нормального марковского 3d-поля: динамические уравнения движения, статистические распределения вероятностей, визуализация	13
Боева А. А. Исследование движения магнитогазодинамических ударных волн в неоднородной плазменной среде методом Уизема	21
Godlevskiy M. D., Goloskokova A. A., Bielous O. S. Information technology of a static model solving for quality improvement of the software development process based on the CMMI model	26
Нескорородева Т. В. Правила и составные части методики обобщенно-множественного отображения информации в подсистеме аналитического учета СППР аудита на верхнем уровне	31
Kozulia T., Kozulia M. Integrated information system assessment of complex objects safety level	39
Moskalenko V. V., Berezenko J. C. The concept of an architectural solution for the service intended to build an enterprise strategy map	45
Klyuchka Y. A., Cherednichenko O. Y., Vasylenko A. V., Yakovleva O. V. Forecasting the results of football matches on the Internet based information.....	51
Лубенец С. В., Павленко Е. П., Харций Е. Н. Прогнозирование результатов финансовых инвестиций	60
Dvukhglavov D. E., Kulynych V. E. Development of software solution for building route of a orders group delivery in presence of time constraints.....	64
Godlevskiy I. M., Hiiievskiy D. O. Technology of multiple-criteria synthesis and choice of distributed organizational management structure of distribution logistics system	72
Левикін В. М., Чала О. В. Підхід до виявлення аномальної поведінки процесів в системах процесного управління на основі аналізу логів	77
Goloskokov A. E., Drach T. O., Shapoval S. E. Fuzzy identification of the state of IT corporation.....	82

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
«ХПІ»**

Збірник наукових праць

Серія:
Системний аналіз, управління
та інформаційні технології

№ 55 (1276) 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 РЕДКОЛЕГІЙ: 61002, Харків, вул. Кирпичова, 2, НТУ «ХПІ».
Кафедра системного аналізу, управління та інформаційно-аналітичних технологій.
Тел.: (057) 707-61-03, (057) 707-66-54; e-mail: bezmenov@kpi.kharkov.ua

Обл.-вид № 89–15.

Підп. до друку 22.06.2017 р. Формат 60×84 1/16. Папір офсетний.
Друк офсетний. Гарнітура Таймс. Умов. друк. арк. 10,0.
Тираж 100 пр. Зам. № 772. Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХПІ». 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