

С.В. Антоненко, М.А. Бегарь, Л.В. Мащенко

**ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ
ИСПЫТАНИЙ НА ОСНОВЕ СПЛАЙН-РАСПРЕДЕЛЕНИЙ**

Аннотация. Предлагается технология планирования испытаний технических систем на основе последовательного анализа для сплайн-распределения Вейбулла с двумя узлами. Приведен пример реализации разработанного метода на изделии авиационной техники.

Постановка проблемы в общем виде. Важной частью жизненного цикла технических систем является их мониторинг. При этом методы и средства, применяемые при планировании проведения мониторинга, не обеспечивают его эффективность как с точки зрения экономических затрат, так и качества получаемых выводов. В силу этого востребованной является алгоритмизация и разработка современной информационной технологии планирования испытаний и принятия решений при мониторинге.

Наиболее важна задача повышения эффективности мониторинга авиационно-космической техники. Для анализа показателей надежности и эффективности функционирования изделий авиационно-космической техники используются различные методы обработки массивов данных об особых случаях, возникающих в процессе эксплуатации, например, отказы бортовых систем наблюдаемой техники. В процессе обработки массивов отказов используют различные вычислительные схемы, позволяющие восстанавливать параметры функций распределения времени непрерывной наработки до отказа. При этом их достоверность часто имеет только качественную оценку. Авторами предлагается применить аппарат теории планирования испытаний для выбора наиболее достоверного результата по оценке параметров.

Анализ последних достижений. Существенный вклад в теорию планирования испытаний внес А.Вальд [1], предложивший метод последовательного анализа, который получил развитие в работах Б.Шора, О.Ширяева, Ю.Беляева. Вычислительные схемы рассмотрены на основе экспоненциального закона распределения времени наработки до отказа.

Исследования, проведенные Р.Судаковым и О.Тескиным, позволили сформулировать вычислительную технологию испытаний, основанную на биномиальном распределении. Разработано множество стандартов и регламентов испытаний. Однако существующие ГОСТы, регламентирующие планы испытаний для нормального, биномиального, экспоненциального и Вейбулла распределений (18242-72, 27.410-83, 24660-81, 20736-75, СТ СЭВ 1192-78, 27.410-87, 27.402-95), приводят к заниженным оценкам показателей надежности.

В настоящее время при решении многообразных задач обработки статистических данных нашли широкое применение сплайн-распределения [2]. Им присуще адекватное и достоверное описание реальных процессов. Поэтому актуальным является использование сплайн-распределений при разработке вычислительных схем планирования испытаний.

Возможность сокращения количества наблюдений наиболее важна при испытаниях дорогостоящих изделий. Этого можно достичь, применив методы на основе последовательного анализа. Еще одно преимущество методов планирования испытаний с использованием последовательного анализа состоит в том, что они позволяют повысить достоверность получаемых выводов о показателях мониторинга для заданного количества испытаний. В известных на сегодняшний день работах специалистов в области планирования испытаний такая область применения метода последовательного анализа не рассматривалась, также не рассматривались распределения, отличные от классических. Программные комплексы (НАДИС, СПК, ДИАНА, АТСТАТ-ППП, QSTAT, PLANK, STATISTICA и др.) с реализацией известных вычислительных схем планирования испытаний, не отвечают современным требованиям, предъявляемым к программному продукту.

Следовательно, в данное время не существует информационной технологии оптимизации процесса мониторинга технических систем (особенно изделий авиационно-космической техники), которая соответствует современному уровню методов планирования испытаний, принятия решений и программного обеспечения компьютерной техники.

Цель работы. Необходимо разработать вычислительную технологию планирования испытаний на основе сплайн-распределения Вейбулла с двумя узлами

$$f(x, \bar{\theta}) = \begin{cases} \lambda \beta_1 x^{\beta_1-1} \exp(-x^{\beta_1} \lambda), & 0 \leq x \leq x_0; \\ \lambda \beta_2 X_0^{\beta_1-\beta_2} x^{\beta_2-1} \exp\left(-x_0^{\beta_1} \lambda \left(\frac{x}{X_0}\right)^{\beta_2}\right), & x_0 \leq x \leq x_1; \\ \lambda \beta_3 X_0^{\beta_1-\beta_2} x_1^{\beta_2-\beta_3} x^{\beta_3-1} \exp\left(-x_0^{\beta_1} \lambda \left(\frac{x_1}{x_0}\right)^{\beta_2} \left(\frac{x}{x_1}\right)^{\beta_3}\right), & x \geq x_1, \end{cases} \quad (1)$$

на основе последовательного анализа для данных, полученных при оценке показателей надежности авиационно-космической техники. Следует отметить, что впервые указанные вычислительные схемы для сплайн-распределения Вейбулла с одним узлом были рассмотрены А.Ф.Приставкой.

Основная часть. Авторами предложена информационная технология для проведения сравнительного анализа показателей надежности изделий авиационно-космической техники. Суть технологии состоит в том, что в качестве основной и альтернативной гипотезы выбираются показатели, полученные методом I и методом II. Если в результате последовательного анализа принимается гипотеза H_0 , отдается предпочтение методу I, в противном случае – методу II. Для принятия окончательного решения может понадобиться усеченная процедура последовательного анализа. Рассмотрим процедуру последовательного анализа. Пусть по результатам наблюдений случайной величины проведено восстановление распределения. Имеется выборка $t = \{t_i, i=\overline{1, n}\}$ из распределения $f(t, \bar{\theta})$ и две оценки вектора параметров распределения (вектор $\bar{\theta}_1$ и $\bar{\theta}_2$). Сформулируем гипотезы о параметрах распределений

$$H_0: f(t, \bar{\theta}) = f(t, \bar{\theta}_1), H_1: f(t, \bar{\theta}) = f(t, \bar{\theta}_2). \quad (2)$$

В методе последовательной проверки отказываются от постоянного объема выборки, и ограничивают эту величину в процессе эксперимента в зависимости от результатов уже выполненных наблюдений. Устанавливается некоторое правило, которым руководствуются при принятии на каждой стадии эксперимента одного из трех решений: принять гипотезу H_0 ; отвергнуть гипотезу H_0 ; продолжить эксперимент и провести дополнительное наблюдение.

Проверка проводится последовательно. На каждом m -м этапе m -мерное пространство выборок разбивается не на две, а на три попарно непересекающиеся области: критическую G_1 , допустимую G_0 и промежуточную $G_{\text{пр}}$. Если выборочное значение попадает в критическую область G_1 , то гипотеза H_0 отвергается; если – в допустимую область G_0 , то она принимается, и если выборочное значение попадает в промежуточную область $G_{\text{пр}}$, то испытания продолжаются.

Число способов разбиения пространства выборок не ограничено, поэтому существуют самые разнообразные правила выбора решения, сравнить которые можно с помощью критериев качества. Критерием качества часто выбирают минимальную среднюю стоимость эксперимента. Если считать, что стоимость эксперимента пропорциональна размеру выборки n , то критерием качества последовательного правила выбора решения служит минимум среднего значения размера выборки, необходимый для принятия окончательного решения при условии, что уровень значимости не превышает α , а мощность не меньше $1-\beta$.

Как показал А. Вальд [1], среди всех правил выбора решений (последовательных и непоследовательных), для которых условные вероятности ошибок не превосходят величин α и β , последовательное правило выбора решения, состоящее в сравнении отношения правдоподобия $L(t_1, \dots, t_n)$ с двумя порогами C_0 и C_1 , приводит к наименьшим значениям $E\{n(H_0)\}$ и $E\{n(H_1)\}$.

$$C_0 \geq \frac{\beta}{1-\alpha}, \quad C_1 \leq \frac{1-\beta}{\alpha}. \quad (3)$$

В данной статье рассматриваются вычислительные схемы метода последовательного анализа с использованием сплайн-распределения Вейбулла с двумя узлами.

Для принятия решения о совпадении параметров распределений необходимо разработать планы испытаний и определить среднее число наблюдений для принятия окончательного решения. Для последовательного анализа, согласно общей теории, разработанной А. Вальдом, запишем отношение правдоподобия:

$$\begin{aligned}
\ln L(x) = & n \ln \frac{\lambda''}{\lambda'} + s'' \ln \beta_1'' + (k'' - s'') \ln \beta_2'' + (n - k'') \ln \beta_3'' - s' \ln \beta_1' - (k' - s') \ln \beta_3' - \\
& - (n - k') \ln \beta_3' + (n - s'') \ln x_0'' - (n - s') \ln x_0' + (n - k'')(\beta_2'' - \beta_3'') \ln x_1'' - \\
& - (n - k')(\beta_2' - \beta_3') \ln x_1' + (\beta_1'' - 1) \sum_{i=1}^{s'} \ln x_i + (\beta_2'' - 1) \sum_{i=s'+1}^{k''} \ln x_i + (\beta_3'' - 1) \sum_{i=k''+1}^n \ln x_i - \\
& - (\beta_1' - 1) \sum_{i=1}^{s'} \ln x_i - (\beta_2' - 1) \sum_{i=s'+1}^{k'} \ln x_i - (\beta_3' - 1) \sum_{i=k'+1}^n \ln x_i - \lambda'' \sum_{i=1}^{s''} x_i^{\beta_1''} + \lambda' \sum_{i=1}^{s'} x_i^{\beta_1'} - \\
& - \lambda'' x_0''^{\beta_1''} \sum_{i=s'+1}^{k''} \left(\frac{x_i''}{x_0''} \right)^{\beta_2''} + \lambda' x_0'^{\beta_1'} \sum_{i=s'+1}^{k'} \left(\frac{x_i'}{x_0'} \right)^{\beta_2'} - \lambda'' x_0''^{\beta_1''} \left(\frac{x_1''}{x_0''} \right)^{\beta_2''} \sum_{i=k''+1}^n \left(\frac{x_i''}{x_1''} \right)^{\beta_3''} + \lambda' x_0'^{\beta_1'} \left(\frac{x_1'}{x_0'} \right)^{\beta_2'} \sum_{i=k'+1}^n \left(\frac{x_i'}{x_1'} \right)^{\beta_3'}
\end{aligned} \quad (4)$$

Область продолжения испытаний задается неравенством

$$\ln \frac{\delta}{1-\gamma} < \ln L(x) < \ln \frac{1-\delta}{\gamma}, \quad (5)$$

где γ -ошибка 1 рода, δ – ошибка 2 рода, или

$$B_n < D_n < A_n,$$

$$\begin{aligned}
D_n = & (\beta_1'' - 1) \sum_{i=1}^{s''} \ln x_i + (\beta_2'' - 1) \sum_{i=s'+1}^{k''} \ln x_i + (\beta_3'' - 1) \sum_{i=k''+1}^n \ln x_i - (\beta_1' - 1) \sum_{i=1}^{s'} \ln x_i - (\beta_2' - 1) \sum_{i=s'+1}^{k'} \ln x_i - (\beta_3' - 1) \sum_{i=k'+1}^n \ln x_i - \\
& - \lambda'' \sum_{i=1}^{s''} x_i^{\beta_1''} + \lambda' \sum_{i=1}^{s'} x_i^{\beta_1'} - \lambda'' x_0''^{\beta_1''} \sum_{i=s'+1}^{k''} \left(\frac{x_i''}{x_0''} \right)^{\beta_2''} + \lambda' x_0'^{\beta_1'} \sum_{i=s'+1}^{k'} \left(\frac{x_i'}{x_0'} \right)^{\beta_2'} - \\
& - \lambda'' x_0''^{\beta_1''} \left(\frac{x_1''}{x_0''} \right)^{\beta_2''} \sum_{i=k''+1}^n \left(\frac{x_i''}{x_1''} \right)^{\beta_3''} + \lambda' x_0'^{\beta_1'} \left(\frac{x_1'}{x_0'} \right)^{\beta_2'} \sum_{i=k'+1}^n \left(\frac{x_i'}{x_1'} \right)^{\beta_3'} \\
B_n = & \ln \frac{\delta}{1-\gamma} - n \ln \frac{\lambda''}{\lambda'} - s'' \ln \beta_1'' - (k'' - s'') \ln \beta_2'' - (n - k'') \ln \beta_3'' + s' \ln \beta_1' + \\
& + (k' - s') \ln \beta_2' + (n - k') \ln \beta_3' - (n - s'') \ln x_0'' + (n - s') \ln x_0' - \\
& - (n - k'')(\beta_2'' - \beta_3'') \times \ln x_1'' + (n - k')(\beta_2' - \beta_3') \ln x_1' \\
A_n = & \ln \frac{1-\delta}{\gamma} - n \ln \frac{\lambda''}{\lambda'} - s'' \ln \beta_1'' - (k'' - s'') \ln \beta_2'' - (n - k'') \ln \beta_3'' + s' \ln \beta_1' + \\
& + (k' - s') \ln \beta_2' + (n - k') \ln \beta_3' - (n - s'') \ln x_0'' + (n - s') \ln x_0' - \\
& - (n - k'')(\beta_2'' - \beta_3'') \times \ln x_1'' + (n - k')(\beta_2' - \beta_3') \ln x_1'
\end{aligned} \quad (6)$$

Если $D_n \geq A_n$, то гипотеза H_0 отклоняется, если $D_n \leq B_n$, то гипотеза H_0 принимается.

При $n = n_0$ происходит усечение последовательной процедуры:

если $B_{n_0} + \ln \frac{1-\delta}{\gamma} \leq D_{n_0} < A_{n_0}$, то гипотеза H_0 принимается;

если $B_{n_0} < D_{n_0} < A_{n_0} + \ln \frac{\delta}{1-\gamma}$, то принимается гипотеза H_1 .

Проведено исследование для определения среднего числа наблюдений для проверки гипотез H_0 и H_1 при шести переменных параметрах. Математическое ожидание числа наблюдений для принятия окончательного решения вычисляется по формуле

$$E\{n\} = \frac{z(\bar{\theta}) \ln B - [1 - z(\bar{\theta})] \ln A}{E\{z\}} = \frac{(1-\gamma) \ln \frac{\delta}{1-\gamma} + \gamma \ln \frac{1-\delta}{\gamma}}{E\{\ln L(x)\}}, \quad (7)$$

где $A = \frac{1-\delta}{\gamma}$, $B = \frac{\delta}{1-\gamma}$, $z(\bar{\theta})$ – оперативная характеристика для истинных значений параметров $\bar{\theta}$, $E\{z\}$ – математическое ожидание величины z ,

$$\text{где } z = \ln \frac{f(x, \theta_2)}{f(x, \theta_1)} = \ln \frac{f(x, \lambda'', \beta_1'', \beta_2'', \beta_3'', x_0'', x_1'')}{f(x, \lambda', \beta_1', \beta_2', \beta_3', x_0', x_1')}.$$

Введем обозначения:

$$f_1(x, \bar{\theta}) = \lambda \beta_1 x^{\beta_1-1} \exp(-x^{\beta_1} \lambda);$$

$$f_2(x, \bar{\theta}) = \lambda \beta_2 x_0^{\beta_1-\beta_2} x^{\beta_2-1} \exp(-x_0^{\beta_1} \lambda (\frac{x}{x_0})^{\beta_2});$$

$$f_3(x, \bar{\theta}) = \lambda \beta_3 x_0^{\beta_1-\beta_2} x_1^{\beta_2-\beta_3} x^{\beta_3-1} \exp\left(-x_0^{\beta_1} \lambda \left(\frac{x_1}{x_0}\right)^{\beta_2} \left(\frac{x}{x_1}\right)^{\beta_3}\right). \quad (8)$$

Рассмотрим возможное расположение узлов x_0', x_0'', x_1', x_1'' относительно друг друга. При этом возможны варианты

$$\begin{aligned} x_0' < x_0'' < x_1' < x_1''; & \quad ; \quad x_0' < x_1' < x_0'' < x_1''; & \quad x_0'' < x_0' < x_1' < x_1''; \\ x_0'' < x_0' < x_1'' < x_1'; & \quad x_0'' < x_1'' < x_0' < x_1'; & \quad x_0' = x_0'', x_1' = x_1'', x_0' < x_1' \end{aligned} \quad (9)$$

При совпадении узлов, т.е. $x_0' = x_0''$, $x_1' = x_1''$, для $E\{z\}$ получим

$$\begin{aligned} E\{z\} &= \int_0^\infty z f(x, \bar{\theta}) dx = \\ &= \int_0^{x_0} \ln \frac{f_1(x, \bar{\theta}_2)}{f_1(x, \bar{\theta}_1)} f_1(x, \bar{\theta}) dx + \int_{x_0}^{x_1} \ln \frac{f_2(x, \bar{\theta}_2)}{f_2(x, \bar{\theta}_1)} f_2(x, \bar{\theta}) dx + \int_{x_1}^\infty \ln \frac{f_3(x, \bar{\theta}_2)}{f_3(x, \bar{\theta}_1)} f_3(x, \bar{\theta}) dx \end{aligned}$$

Когда узлы не совпадают, например, $x_0' < x_0'' < x_1' < x_1''$, имеем

$$E\{z\} = \int_0^{\infty} z f(x, \bar{\theta}) dx = \int_{x_0'}^{x_1'} \ln \frac{f_2(x, \bar{\theta}_2)}{f_2(x, \bar{\theta}_1)} f_2(x, \bar{\theta}) dx + \int_{x_1'}^{x_1''} \ln \frac{f_3(x, \bar{\theta}_2)}{f_2(x, \bar{\theta}_1)} f_2(x, \bar{\theta}) dx + \\ + \int_{x_0''}^{x_1'} \ln \frac{f_2(x, \bar{\theta}_2)}{f_2(x, \bar{\theta}_1)} f_2(x, \bar{\theta}) dx + \int_{x_1'}^{x_1''} \ln \frac{f_3(x, \bar{\theta}_2)}{f_2(x, \bar{\theta}_1)} f_2(x, \bar{\theta}) dx + \int_{x_1''}^{\infty} \ln \frac{f_3(x, \bar{\theta}_2)}{f_3(x, \bar{\theta}_1)} f_3(x, \bar{\theta}) dx. (10)$$

Вычислительные схемы принятия решения о параметрах сплайн-экспоненциального распределения были реализованы при оценке показателей надежности функционирования КА «Океан-О» на этапах проектирования и экспериментальной отработки, а также для принятия решения о параметрах сплайн-распределения Вейбулла по данным об отказах системы ЦГВ-10 самолета ИЛ-62. На основе оценок параметров сплайн-распределения Вейбулла с двумя узлами, полученных методом максимального правдоподобия и методом наименьших квадратов, принималось решение о том, какому методу оценки параметров отдать предпочтение в условиях ограниченного объема данных:

$$H_0: \bar{\theta} \{ \lambda', \beta_1', \beta_2', \beta_3', x_0', x_1' \} = \bar{\theta} \{ 0.0002, 0.778, 2.072, 4.936, 1009, 4122 \};$$

$$H_1: \bar{\theta} = \{ \lambda'', \beta_1'', \beta_2'', \beta_3'', x_0'', x_1'' \} = \bar{\theta} \{ 0.0002, 0.826, 2.159, 3.642, 1753, 3078 \}.$$

Применим метод последовательного анализа для обработки результатов восстановления сплайн-распределения. Зададимся ошибками первого и второго рода: $\alpha = 0.025$; $\beta = 0.025$. Для указанного вектора параметров распределения результаты анализа приведены на рис.1.

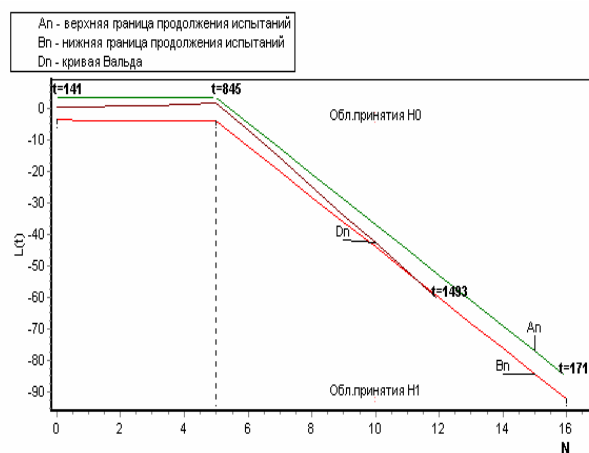


Рисунок 1 – Результаты последовательного анализа сравнения параметров сплайн-распределения Вейбулла для аппаратуры ЦГВ-10

Из анализа графического представления метода последовательного анализа следует, что на каждом шаге значения D_n принадлежат промежутку $[A_n, B_n]$. Это свидетельствует о том, что результаты восстановления сплайн-распределения Вейбулла при обработке данных об отказах бортовой системы самолета ИЛ-62 двумя методами являются адекватными. Однако, наблюдается тенденция к приближению значений D_n к значениям A_n . Исходя из вышесказанного, формулируется следующий вывод: при данном объеме наблюдений разница между результатами восстановления сплайн-распределения Вейбулла с двумя узлами по данным об отказах авиатехники методом максимального правдоподобия и методом наименьших квадратов не является существенной. При увеличении объема данных об отказах точность восстановления и точность принятия решения методом последовательного анализа будет расти.

Выводы и перспективы дальнейшего развития. Авторами предложена технология проведения сравнительного анализа показателей надежности изделий авиационно-космической техники с использованием метода последовательного анализа. В дальнейшем представляется целесообразным привлечение и других методов теории планирования испытаний, а также разработка их модификаций применительно к данной задаче.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вальд А. Последовательный анализ. – М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит. 1960. – 328 с.
2. Приставка А.Ф. Сплайн-распределения в статистическом анализе. – Днепропетровск: Изд-во Днепропетр. ун-та, 1995. – 152 с.

O.S. Volkovskyi, Y.R. Kovylin

**COMPUTER SYSTEM OF AUTOMATIC DETERMINATION OF
THE TEXT COHERENCE**

Abstract — Stipulated and implemented adaptive model of formation of the semantic text net. An approach to the rating of numerical characteristics of the semantic properties of the text is considered. There has been developed an algorithm for the normalization of obtained data for its usage during the studying of neural net in order to differentiate the coherent text from semantically «noisy» one. On the basis of described models and algorithms of text processing, the software application was implemented and tested.

Introduction. Field of automated text processing contains a lot of tasks – starting from the simplest tasks, such as similarity matching or automated abstracting and finishing with the extremely difficult, such as text production and translation process. Under the complexity, we mean profundity of semantic analysis that must be done for the proper system operation. It provokes certain algorithmical difficulties, as a native natural language is non-systemic and it lends itself for machine realization with difficulties. The popular way to solve this problem is a description of rules and exceptions systems that are biased to the certain knowledge database – the typical example is some translation systems that store both – dictionaries and rules of sentences formation during the translation process. Thus, such approach does not solve the issue concerning the decision – making about the text coherence, as nowadays there is no adaptive mechanism of automated description of the document semantic structure – the existing decisions are based on the pattern, designed before structures of documents, and consequently, systems of this kind are dealing with documents of one thematic scope.

Challenge problem. Under the text coherence, we will understand the level of semantic correspondence of the text elements towards each other; so, the topic presentation must be performed proportionally throughout the whole document, taking into consideration the fact that a document must be devoted to one topic. Within this framework, it is

necessary to perform the adaptive algorithm of receipt of document's semantic properties in the numerical form that will allow to estimate text automatically in the context of its coherence and that would not be biased to the certain subject and big knowledge database.

Analysis of the latest researches and publications. The existing models of text coherence based on the native language are produced from the statistical data analysis, for example, in the work of [1] that leads to the decrease of the model adaptiveness because of the fact that the obtained data was used only for the same subject area, from where it was taken. Another way to solve this problem is the usage of vocabulary reference pattern and corresponding rules of their usage. [2]. The complexity of such systems is a processing of pattern knowledge databases, because, in order to obtain such results, a developer must not only create and place linguistically a huge corpus of data, but also, he needs to develop the navigation mechanisms throughout the whole corpus and the adaptive enclosure of new data boxes. The greatest project that would solve the most part of issues is a semantic web [3], that mean that each web – page that is located in the Internet will contain the certain semantical annotation. Thus, even if we ignore the fact of complexity during the process of such annotation introduction on the part of user and the absence of mechanism that can look for mistakes in the created annotation, nowadays there are no conditions to implement such approach in the nearest future worldwide.

Objective of the research. To create the approach for the formation of the semantic net of the document. To develop methods in order to obtain numerical analogues of the semantic characteristics of the documents. To test and endorse the obtained results in the form of application systems for evaluation of text coherence.

Statement of basic materials. The first stage that must be passed by any developer of systems for automated processing of texts is a syntactic analysis. At this stage, there is a detachment of sentences and words of the analyzed text. In addition to it, there is a contraction of many words due to stemming and withdrawal of the auxiliary parts of speech. For this purpose, each pair of words is being cut of endings pursuant to the Porter's algorithm, and then the distance of Levenshtein is being subtracted for the obtained results. If the meaning is more or equal to the length of the most general part of the analyzed words, it is

considered to be that stem has been found and each word is being changed by the revealed general part.

Next step of the syntactic analysis is a definition of the language parts stem in order to withdraw words without any information (such as auxiliary parts of speech) from the process of semantic analysis. For this purpose, the system has a marked sample in size of fifteen thousand of words and correspondent parts of language that serves as a studying corpus for the Naive Bayes Classifier, where the classes are parts of speech and the corresponding meanings to the class are two or three last letters of the initial word and the ending obtained pursuant to the Porter's algorithm. Each word from the analyzed text is being classified on the model and if the forecast states that this word is not informative, it will be deleted.

A concluding stage of the syntactic analysis is a measurement of stems, so that each stem has a number of repetitions in the text and measurement of the sentences, where the weight function of the sentence means total weight of all stems in the sentence.

A test analyzed in this way, must pass the stage of frequency response analysis, so that the text data will have the equivalents in the numerical characteristics. In order to achieve such result, it is offered to compose the matrix, which lines correspond to the sentences, the columns correspond to the stems and the meanings are numbers of stems in the sentence. After we obtain such matrix, we need to perform on it a process of singular value decomposition. Singular value decomposition is steady, it is possible to take away those meanings of left and right matrix that corresponds to the low singular meanings and to leave only two biggest meanings, after that, it is possible to use them as the coordinates for reflection on the two-dimensional surface. The obtained results are reflected in the figure 1 and figure 2.

The next step is to cluster points for stems and sentences under the algorithm k-means. The number of clusters for stems and sentences cl is being indicated pursuant to the formula (1):

$$cl(W, W_U) = \frac{count(W)}{count(W_U)}, \quad (1)$$

where W means words, W_U means stems. Centroids of cluster – stems are positions of stems with the most frequency in the text, that is being revealed pursuant to the formula (2):

$$Cst(W_U) = \max(W_0...W_{cl}), \quad (2)$$

where $W_0...W_{cl}$ are weights of stems. Centroids of cluster – sentences are positions of sentences with the biggest total weight of stems that is being revealed pursuant to the formula (3):

$$Cs(W_S) = \max\left(\sum_{i=0}^{SN} W_i\right), \quad (3)$$

where W_S is a sentence, W_i is a stem weight in the sentence, SN – is a stem numbers in the sentence.

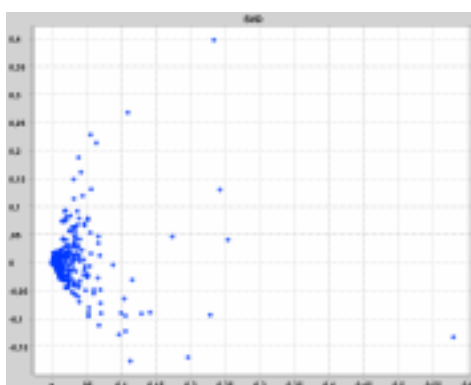


Figure 1 – Stem projection

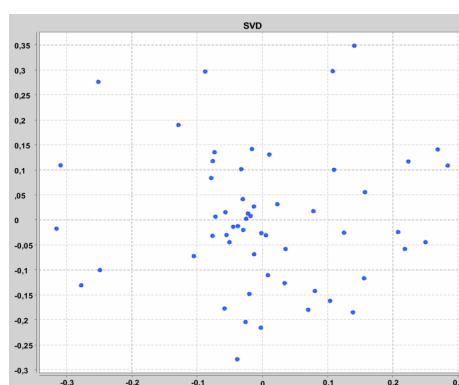


Figure 2 – Sentences projection

On the basis of the points positions of each cluster – stem in accordance with the Jarvis's Algorithm, the outline of convex figure is being created. The obtained results reflected in the figure 3 for stem and figure 4 for sentences.

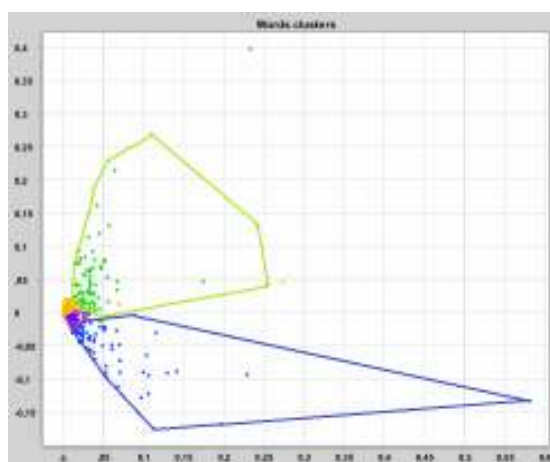


Figure 3 - Convex figures of the clusters – stems

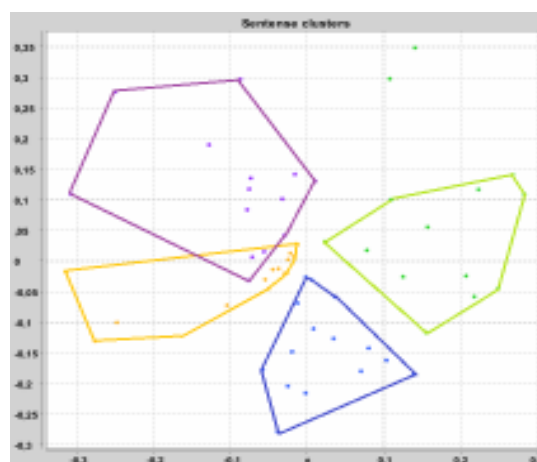


Figure 4 - Convex figures of the clusters – sentences

For each cluster – stem, the weight must be stipulated – number of stems in it, on this basis, there has been built a semantic graph of

clusters connection in the descending order of their weight. For each figure of clusters – stem obtained pursuant to the Jarvis's Algorithm, there must be checked the hit of points that form each cluster – sentence. If it is possible to find such points - a cluster of the sentence joins with the cluster – stem in the net, where the link weight is a number of points that exist in the outline of the cluster – stem. The result of system operation is reflected in the figure 5.

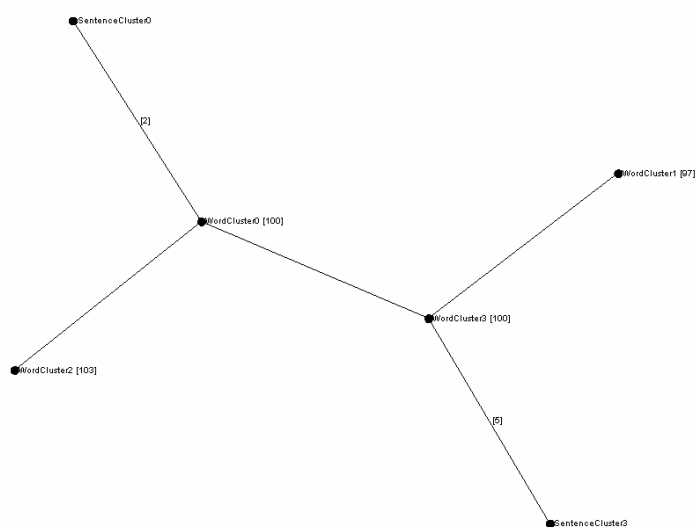


Figure 5 - Semantic net of the document

The obtained semantic net may be used to take the numerical data that characterize semantic properties of the document and may be used for the automatic determination of the text coherence. During the researches, it was stipulated that such characteristics include total amount of stems, quantity of all words, quantity of cluster – systems that have a connection with cluster – sentences and total amount of cluster – stems.

The obtained data is being transferred to the entry of asynchronous neural network that is on the basis of data of sample studying corpus takes a decision concerning the text coherence. It is necessary to take into consideration that the described semantic characteristics depend on the text size, so the taken data requires previous normalization. For this purpose, there was composed a corpus of eighty texts concerning informational technology, astronomy, and incoherent texts that were received due to the services of frequency-response auto generation, each of them is being characterized with two meanings – normalized text size W_N , obtained pursuant to the formula (4):

$$W_N = \frac{W_i - W_{\min}}{W_{\max} - W_{\min}}, \quad (4)$$

where W_i means the total amount of the words, $W_{\min}$ and $W_{\max}$ mean the smallest and the biggest amount of words in the studying corpus and normalized semantic meaning S_N , obtained pursuant to the formula (5):

$$S_N = \frac{W_U}{W} \cdot \frac{CW_C}{CW}, \quad (5)$$

where W_U means the total amount of the stems, W – is a total amount of words, CW_C – is a quantity of clusters – stems that have a correlation with clusters – sentences, CW – is a total amount of clusters – stems. The obtained result is a training sample for the neural net.

In order to test the system, there has been composed a sample of 20 texts, as incoherent (auto generated) and real scientific tests on the following topics: astronomy, informational technology and economics. Besides, a sample includes a text, which was formed from the different coherent parts of the text of the same topic, but in general, it is semantically incoherent. The results of the text processing are reflected in the schedule 1, where «n» corresponds to the auto generated text, «z» corresponds to the coherent text; «s» corresponds to the text composed of different parts, 1 means that a forecast indicates text coherence, 0 means that a forecast indicates the texts incoherence.

Table 1

Forecast of coherence

n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	z	z	z	z	z	z	z	z	z	s
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0

Conclusions and directions for future research. Pursuant to the results of the work, there has been developed an approach to create a semantic net of the text that may be used for taking quantity specifications of the semantic properties of the document. Contrary to the existing approaches to the automated creation of the semantic picture of document, a described methodology helps to obtain the semantic structure of the text without any additional linguistic knowledge that means its previous linguistic annotation, sample subject knowledge databases or special systems of linguistic rules. There has been conducted a research of the influence of quantity specifications of the semantic net on the meaning of text coherence pursuant to which results, there were de-

tected not only considerable semantic characteristics, but developed mechanisms for their normalization. On the basis of the obtained data, there has been created an application system of the automated detection of the text coherence, which testing results indicate a success of the developed model usage in the process of solving the target task.

REFERENCE

1. A.N. Shvetsov, S.I. Sorokin, Yu.O. Mamadkulov – Educational Test Synthesis System based on the formal grammar // RI "Centerprogrammsystem" - magazine "Software Products and Systems", No.2 (102), 2013, pp.181-185.
2. N.I. Gurin, Y.A. Zhuk - Semantic Network of the electronic textbook for a dialogue with a virtual teacher // Materials of the international scientific and technical online conference "Information technologies in education, science and production" // Belarusian State Technological University, Minsk, 2015.
3. Haarselv V., Moller R. – A core inference engine for the Semantic Web// Proc. of the 2nd International workshop on evaluation of ontology-based tools (EON-2003) – Florida, USA, 2003.
4. O.S. Volkovsky, Y.R. Kovylin. Analysis of the modern approaches to the task of automatic text generation in the natural language // System Technologies; Regional Interuniversity Collection of Scientific Papers. – Release 1 (100) 2016. – Dnepropetrovsk, 2016.

V.V. Hnatushenko, Y. I. Shedlovskaya

**VISUAL SEARCH ALGORITHM FOR HIGH RESOLUTION
SATELLITE IMAGERY**

Abstract. In this paper we propose an image visual search algorithm for high resolution satellite imagery. An image description method which is based on the distribution of image object classes is developed. Different categories of image features for the description of satellite imagery are considered. Appropriate geometrical, statistical, texture, spatial and spectral features are selected for an accurate interpretation of objects at images. A satellite imagery classification algorithm is developed.

Key words: classification, satellite imagery, image similarity, distance metrics, image features, image description.

Problem formulation

Nowadays digital image processing is a topical problem in information technologies, medicine, and remote sensing. In our work we deal with satellite images. Remote sensing data are very important in different fields of human activity such as crop prediction, military surveillance, monitoring of disasters, urban planning, and control of nature resources utilization [1]. Every day satellites deliver to the Earth a huge amount of data. For instance, the WorldView-3 satellite has an average revisit time of less than one day and is capable of collecting up to 680,000 square kilometers per day, and the WorldView-2 has an average revisit time of 1.1 days and is capable of collecting up to 1 million square kilometers of 8-band imagery per day. Existing geoinformation systems collect and store remote sensing data for subsequent analysis and extraction of useful information. Geoinformation systems provide a variety of applications for dealing with data. There is a big variety of computer vision methods which allow to recognize and to classify the objects at digital images. One of the tasks of satellite image processing is to find areas of the Earth surface that contain similar geographic objects and types of land cover. For this purpose, large-size satellite images from data storage are cut into small parts called tiles, then the

tiles could be compared one to another. In other words, this is the task of image similarity estimation. Image similarity is used in visual search algorithms [2]. The visual search is a useful procedure for work with a large amount of data, where automatic processing is necessary. The problem of visual search is closely related to image description. To make a conclusion about image similarity, the features that describe images must be calculated first.

Analysis of publications on the topic research

A large number of previous studies have focused on searching for the image features most suitable for image description and analysis. Features are the qualitative and quantitative characteristics of image. Features are selected according to the problem under consideration. One image could be described by a number of features, and certain features could describe a number of different features [3].

Earlier, visual search algorithms for real-world images were developed. These algorithms realize a search for images similar to the user's input images from some data set. G. Chechik et al. presented an Online Algorithm for Scalable Image Similarity (OASIS) that learns a bilinear similarity measure over sparse representations of images [4]. The experiments were performed on web data sets. Edge and color histograms were used as image features. The features were extracted by dividing each image into overlapping square blocks, and each block was then described with edge and color histograms.

Content based image retrieval (CBIR) systems that work by retrieving images related to the input image from huge databases were proposed in [5]. The real word scenes database was used. For image description, extensive robust features such as color signature, shape and color texture were determined. The similarity between the features of the input image and the features of the database images was evaluated using a meta-heuristic algorithm.

Work [6] was concerned with studying whether a negative selection algorithm for images comparing is valid for tackling the image visual search problem. Image distance measure was used for comparison of two images, typically an input image and an image from the database. In that work, color was used as the only feature to define distances between images.

Wang et al. proposed fine-grained image similarity with a deep ranking model, which characterizes the fine-grained image similarity relationship with a set of triplets. A triplet contains a query image, a positive image, and a negative image, where the positive image is more similar to the query image than the negative image. The similarity of two images from triplet was determined according to their squared Euclidean distance in the image space. The image similarity relationship is characterized by relative similarity ordering in the triplets [7].

Aim of the work

The selection of features for image description is a particularly important problem. The accuracy of image similarity estimation depends on the degree of correctness of image description. The britness and color of images of the same objects may often be different. So the image features must present contextual information about objects on the image, not only visual characteristics. The aim of this work is to find out what image features will be the most appropriate for description of high resolution satellite imagery. After calculation of the image features the most similar images can be found.

Main material

Satellite data used in the work

The images were received from the WorldView-2 and the WorldView-3 satellites. These images have 8 multispectral channels received in the 400 nm – 1040 nm spectral range and one panchromatic channel received in the 0,5 μm - 1,1 μm spectral range. The resolution of these data is up to 0,31 meter per pixel. This is the highest satellite image resolution available today.

The primary data resolution was enhanced by the pan-sharpening procedure. High-resolution panchromatic channel and lower resolution multispectral channels was merged to create high-resolution color channels. We used satellite an image resolution enhancement technology based on HSV-, HCT-conversion and wavelet transform, which allows one to improve the spatial resolution of the primary digital image and to avoid spectral distortions in local areas [8].

Visual search algorithm

To perform a procedure of visual search on high resolution satellite images, we have to perform a few consecutive tasks. First, large satellite images are cut into a small samples, thus we obtain an image

dataset. One of the samples of the dataset is shown at Figure 1 (a). The visual search procedure retrieves images that are similar to the input image. Usually, an image from the dataset is chosen as the input image. For each image in the dataset, some features for their description are computed. After inputting the image, its features are computed and then compared with the stored features of every sample image in the dataset. The image description is an important stage of the visual search procedure. The accuracy of image retrieve depends on the proper choice of an image description model. In contrast to terrestrial scenes, which can include a wide variety of objects according to their specificity, satellite images usually include determined types of objects and land covers. We propose a special approach to satellite image description based on the image classification and image class histogram construction. The image classification must be performed first. Our classification algorithm is based on an object-oriented approach.

Image segmentation

The key step of the object-oriented image classification is segmentation. In our work the mean-shift algorithm for image segmentation was applied [9]. The mean-shift algorithm relates to unsupervised clustering algorithms. The main idea of the algorithm is to estimate the kernel density of pixel distribution in the RGBXY feature space. The local maxima of the distribution correspond to the centers of clusters. From the local extremum condition the shift vector $m(p)$ of a point $p \in RGBXY$ of the feature space is determined. After applying the shift operation to the point p , a sequence of points that converges to the center of nearest cluster is obtained.

After the image segmentation, objects (segments) for analysis were obtained [Fig. 1(c)]. A procedure of segmentation result refinement was also applied in order to delete small segments. Small segments could appear due to noises, and they significantly complicate the interpretation of image objects. The segments which had a size smaller than a given minimum were merged with the adjacent segments with the nearest mean value. The result of segmentation refinement is shown at Figure 1(d).

Image features calculation

We distinguished several basic classes which are typical for satellite scenes: buildings, trees, grass, bare ground, roads, shadows, and water. The features of each image object must be computed. In our work

the following categories [3] of features were used: geometric, spatial, spectral, statistical, and texture ones.

As geometric features, the area of each image object (segment), the border length, and border length/area ratio were calculated. For the correct identification of buildings, the rectangular fit function was used. Rectangular fit shows how much the object form corresponds to rectangular.

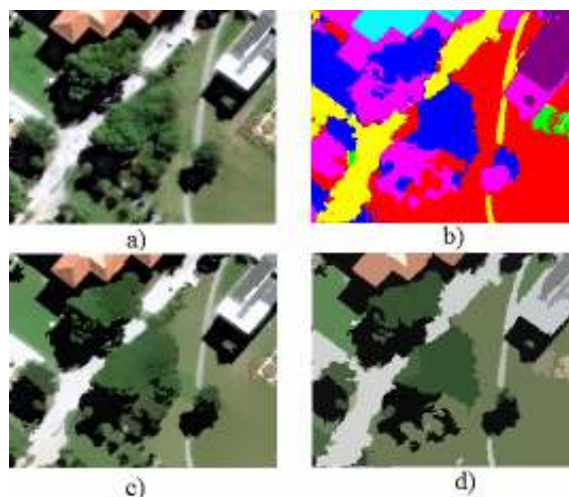


Figure 1 - a) – image sample obtained after cutting a large satellite image into tiles; b) - image objects after classification; c) – result of mean-shift clustering; d) – segmented image

The spatial features show the position of image objects relative to one another. The presence of a common border and its length were used as spatial features.

As spectral features, the spectral indices, brightness, saturation, and hue of objects were used. Such types of objects as trees and grass are easily identified due to the presence of near-infrared channels in satellite data. For the identification of trees and grass, the *NDVI* (Normalized Difference Vegetation Index) spectral index was used [10].

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

where *NIR* is the reflection in the near-infrared spectral region, and *RED* is the reflection in the red spectral region.

The *NDVI* index is based on the most stable regions of the green vegetation spectral signature. The maximum of radiation absorption by chlorophyll falls to the red spectral region while the maximum of radiation reflectance falls to the near-infrared region. So the ratio of reflectance's in these spectral regions allows one to distinguish vegetation

from other surface objects. The *NDVI* range is changed on the interval from -1 to 1. Generally the *NDVI* value of 0.7 corresponds to dense vegetation, the value of 0.5 – to sparse vegetation, the value of 0.025 – to bare ground, and the value of -0.25 – to water.

Another class that is easily distinguished by spectral feature is shadow. To identify shadows in an image, the shadow detection index *NSVDI* (normalized saturation-intensity difference index) was used.

$$NSVDI = \frac{S - V}{S + V} \quad (2)$$

where *S* is the saturation image component, and *V* is the value component. To obtain the *S* and *V* components, the object pixels are transformed from the *RGB* color model to *HSV* the color model. The decision on an object belonging to the shadow class is made after the *NSVDI* thresholding [11].

Sutich statistic features as the mean value and the standard deviation of pixels in an object were used.

The image edges were used as the texture feature. The edges on the image object border were analyzed. Image objects with high contrast have a higher gradient value on the borders. The image edges were extracted using the gradient Sobel filter.

Image classification

The rule set was used for assigning a class to objects. After assigning classes to all objects of the segmented sample image the map of objects classes was obtained [Fig. 1(b)]. We propose to describe each sample image by its histogram of class distribution. The pixels number of each class was calculated. Procedure of assigning classes and histogram building was repeated for all sample images from tested dataset.

Image similarity estimation

For finding of similar image samples at dataset we have to choose a method for images comparing. Our test dataset contains about 500 image samples. Each image is represented by its class distribution histogram. Histogram represents a contextual description of image. Classes represent the real world objects, which are semantically distinguished for user.

Since our image description model is represented by histogram we selected histogram distance metric for image comparing. We investigated a several methods of histogram similarity definition.

1. Histogram intersection. The distance between histograms is defined as

$$d(H_1, H_2) = \sum_i \min(H_1(i), H_2(i)) \quad (3)$$

the return value $d \in [0, 1]$. The similarity of histograms increases with d .

2. Chi-square metric. The distance between histograms is defined as

$$d(H_1, H_2) = \sum_i \frac{(H_1(i) - H_2(i))^2}{H_1(i)} \quad (4)$$

the return value $d \in [0, \infty)$. The similarity of histograms decreases with d .

3. Bhattachariya distance. The distance between histograms is defined as

$$d(H_1, H_2) = \sqrt{1 - \frac{\sum_i \sqrt{H_1(i) \cdot H_2(i)}}{\sqrt{\sum_j H_1(j) \cdot \sum_k H_2(k)}}} \quad (5)$$

the return value $d \in [0, 1]$. The similarity of histograms decreases with d .

To test our method a few random images from dataset were chosen as input images. The distance between each input image histogram and all sample images histograms was calculated. The input samples and the images from dataset which are the most similar to them are shown at Figure 2. Such similarity is computed on the basis of the above-mentioned distances.



Figure 2 - Result of image retrieval after histogram distance computation. Images at left column are input samples, the rest ones are the most similar samples from tested dataset

Conclusions and recommendations for further research

In this work we consider different categories of image features for the description of satellite imagery. The main advantage of our method is that we take into account such features of an image as geometrical, spectral, spatial, texture, and statistical features, which have not been taken into account before. A special classification approach was implemented to recognize each type of objects. As result the class distribution histogram for each image from tested dataset was built. Histogram represents a contextual description of image.

Proposed image description model was tested on dataset of 500 samples. Experimental result has shown a significant visual similarity of sample and retrieved images. The future research will be devoted to implementation of new features for more qualitative image description and enhancement of image comparison algorithm.

REFERENCES

1. Hnatushenko V.V. Satellite monitoring of consequences of illegal extraction of amber in Ukraine / V.V. Hnatushenko, D.K. Mozgovyi, V.V. Vasyliiev, O.O.Kavats // Scientific Bulletin of National Mining University, Issue 2, 2017, pp. 99-105.
2. Wolfe J.M. Visual search // "Attention" in book edited by H. Pashler, University College London Press, London, UK, 1998.
3. Makarov A.O. Algorithms of feature fast calculation on digital images / A.O. Makarov, V.V. Starovoitov // Preprint of the United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, 2005, 39 pages (in Russian)
4. Chechik G. Large Scale Online Learning of Image Similarity Through Ranking / V. Sharma, U. Shalit, S. Bengio // Journal of Machine Learning Research, 2010, Vol. 11, pp.1109-1135.
5. Alsmadi M.K. An efficient similarity measure for content based image retrieval using memetic algorithm / M.K. Alsmadi // Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences, 2017, Vol. 4, pp.112-122.
6. Keijzers S. Image Similarity Search using a Negative Selection Algorithm / S. Keijzers, P. Maandag, E. Marchiori, I. Sprinkhuizen-Kuyper // Proceedings of ECAL 2013, 2013, pp.838-845.
7. Wang J. Learning Fine-grained Image Similarity with Deep Ranking / J. Wang et al // Proceedings of 2014 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, June 23-28, Columbus, OH, USA, 2014, pp.1386-1393.
8. Hnatushenko V.V. Pansharpening technology of high-resolution multispectral and panchromatic satellite images / V.V. Hnatushenko, Vik.V. Hnatushenko, O.O. Kavats, V.Yu. Shevchenko // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 2015, No. 4, pp. 91-98.
9. Comaniciu D. Mean Shift: A robust approach toward feature space analysis / D. Comaniciu, P. Meer // IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 2002, Vol. 24, No. 5, pp.603-619.
10. Cao Z. A new three-band spectral index for mitigating the saturation in the estimation of leaf area index in wheat / Z. Cao et al // International Journal of Remote Sensing, 2017, Vol. 38, No. 13, pp.3865-3885.
11. Shedlovskaya Y.I. Shadow detection and removal using a shadow formation model / Y.I. Shedlovskaya, V.V. Hnatushenko // Proceedings of the 2016 IEEE 1st International Conference on Data Stream Mining and Processing, 2016, August, 23 - 27, Lviv, Ukraine, pp.187-190.

В.Є. Білозьоров, І.О. Болілий

ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ХВИЛЬ ЕЛІОТА ТА РЕКУРЕНТНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЦІНИ НАФТИ МАРКИ WTI НА СВІТОВИХ РИНКАХ

Анотація. В роботі досліджуються два підходи до прогнозування ціноутворення нафти марки WTI на світових ринках: хвилі Еліота та рекурентний аналіз. Продемонстровано розбіжність між прогнозами, що ґрунтуються на кожному з цих методів, які викликані зовнішніми факторами.

Ключові слова: хвилі Еліота, рекурентний аналіз, ціна, фрактал, часовий ряд.

Вступ. Задача прогнозування цін на основні товари, які виготовляються світовими виробниками, була важлива у будь-які часи. Одним з таких товарів є нафта. В умовах відкритого ринку та посилення глобалізаційних процесів стабільне функціонування нафтодобувної промисловості залежить від стабільної ціни на світових ринках (без різких перепадів та стрибків). Тому якісний та кількісний аналіз ціноутворення у нафтовій галузі є однією з важливих задач сучасної прикладної нелінійної динаміки, яка повинна розробляти такі моделі цінової поведінки, завдяки яким в нафтовій галузі були б можливі довгострокові прогнози. Одним з методів такого прогнозування є часовий ряд [1], який представляє собою послідовність числових даних проіндексованих в хронологічному порядку через рівні інтервали часу (часова відстань вимірювалась в днях): $x_1 = x(t_1), x_2 = x(t_2), \dots, x_n = x(t_n); t_{i+1} - t_i = t_{k+1} - t_k$.

Розглядається задача прогнозування цін на нафту марки WTI [2]. Часовий ряд $x_i, i = 1, \dots, n$, представляє собою ціну одного бареля нафти, яка фіксувалась кожний день, починаючи з 1-го січня 1990 року до 1 жовтня 2017 року. Всього було знято 7089 вимірювань.

На даний момент існує більше ста методів та моделей прогнозування часових рядів. Ми зупинимось тільки на двох із них: методи

хвиль Еліота та методі побудови так званих рекурентних діаграм [3,4].

Хвилі Еліота. Теорія хвиль Еліота – це комплекс знань і тверджень, які націлені на опис поведінки сукупності всіх гравців фінансового ринку [3]. Ця поведінка проявляється в утворенні ціни того або іншого товару через призму хвильового руху (термін «хвиля» розуміється у звичайному сенсі).

Ключова теза теорії Еліота полягає в наступному: рух ціни деякого товару можна представити у вигляді фрактальної восьми-ступінчастої хвилі, яка є графічним відображенням частки часового ряду, що описує поведінку ціни цього товару. Головна задача полягає в тому, щоб виявити ці хвилі на конкретному графіку. Виділяється два основні типи хвиль: хвилі імпульсу та хвилі корекції.

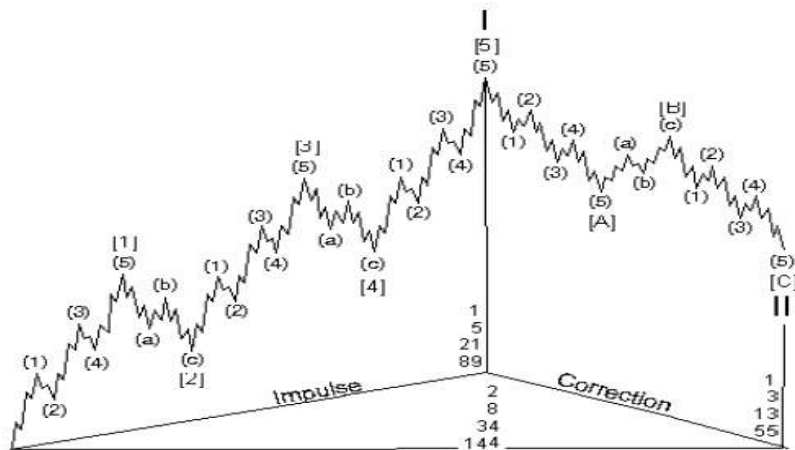


Рисунок 1 - Повний ринковий цикл

На рис.1 наведено повний ринковий цикл за Еліотом. Продемонстровано зовнішній вигляд і кількість хвиль на кожному з трьох рівнів. Класична восьми-ступінчата хвиля позначена як [1]-[2]-[3]-[4]-[5]-[A]-[B]-[C]. Наведемо деякі означення: хвилі імпульсу направлені в тому ж напрямку, що хвилі одним рівнем вище ([1]-[3]-[5]-[A]-[C]), а хвилі корекції направлені в протилежному напрямку, що хвилі одним рівнем вище ([2]-[4]-[B]). В основі теорії Еліота лежить принцип чисел Фібоначі. Як відомо, числа Фібоначі -- це послідовність, яка починається з простої одиниці і триває шляхом додавання попереднього числа наступним чином: $0 + 1 = 1$, $1 + 1 = 2$, $2 + 1 = 3$, $3 + 2 = 5$, $5 + 3 = 8$, $8 + 5 = 13$, $13 + 8 = 21$, $21 + 13 = 34$, $34 + 21 = 55$, $55 + 34 = 89$ і т.д. Така послідовність має деякі характерні особливості:

- починаючи з деякого значення, співвідношення даного числа до наступного числа серії Фібоначі дорівнює 0.618 (наприклад, маємо $34/55 \approx 0.618$);

- починаючи з деякого значення, співвідношення даного числа до попереднього числа серії Фібоначі дорівнює 1.618 (наприклад, маємо $55/34 \approx 1.618$);

- для достатньо великого натурального k числа Фібоначі f_k та f_{k+2} задовольняють умову: $f_{k+2} / f_k \approx 0.382$ (наприклад, $34/89 \approx 0.382$) .

Хвилі імпульсу прагнуть до співвідношення згідно математики Фібоначі - або бути рівними, або в пропорціях 1.618 і 2.618 (чиї інверсії рівні 0.618 і 0.382). Такі співвідношення імпульсних хвиль зазвичай виконуються в процентних величинах. Корекція -- це зміна в цінах, яка простежує етапи попередніх змін. Зазвичай ринок відстежується в одному з трьох рівнів Фібоначі - 38.2%, 50%, та 61.8% [3]. Корекція цін по Фібоначі визначається основними мінімальними і максимальними коливаннями, які встановлюють рівень підтримки (рівні можна вважати точками розвороту, коли ціна розвертається вона створює новий рівень підтримки) як тільки ринок відступає від максимуму.

Сам Еліот, визначав існування 9 різних рівнів хвиль. Таким чином, одна з перших проблем, що виникають при дослідженні часових рядів це точка відліку. З якого моменту шукати початок нової хвилі або іншої структури описаної Еліотом?

У прикладному дослідженні нафтових цін ця проблема стояла також. На першому етапі відбувались спроби описати падіння цін на нафту в липні 2014 року в рамки теорії Еліота. На даний момент (2017 рік), спроби застосувати методи описані Еліотом до цього різкого падіння, що склало близько 110 доларів США, тривають.

З огляду на подальший розвиток цін (після липня 2014 року) вдалось виявити структуру, що носить назву «трикутник». Трикутники містять в собі п'ять хвиль, що перекривають одна одну, які в, свою чергу, поділяються на моделі 3-3-3-3-3. На 5 липня 2017 року трикутник був незавершений і мав наступний вигляд:



Рисунок 2 - Графік цінової хвилі для нафти WTI
з липня 2014 по липень 2017

Подібні утворення свідчать про продовження падіння цін після закінчення трикутника. Глобальною метою подальшого прогнозування було виявити кінець трикутника і кінець хвилі (e), а також локально дати прогноз на невеликий обсяг часу. Було висунуто припущення про рух нової хвилі, що матиме структуру [A]-[B]-[C], а саме що кінець хвилі [A], яка зростає і є незавершеною на графіку наведеному вище, знаходитиметься на рівні 47\$. На момент прогнозу ціна складала 46\$. Після цього, у відповідності до обраної структури, мало відбутись падіння. Це падіння завершувало б хвилю [B] і мало б носити незначний, корекційний характер.

Як і прогнозувалось, 5 липня 2017 ціна досягла локального максимуму у 47.15\$, таким чином, завершивши зростання. Протягом наступних п'ять днів ціна впала до прогнозованого значення у 44 -- 44.5\$, що видно на наступному рисунку 3:

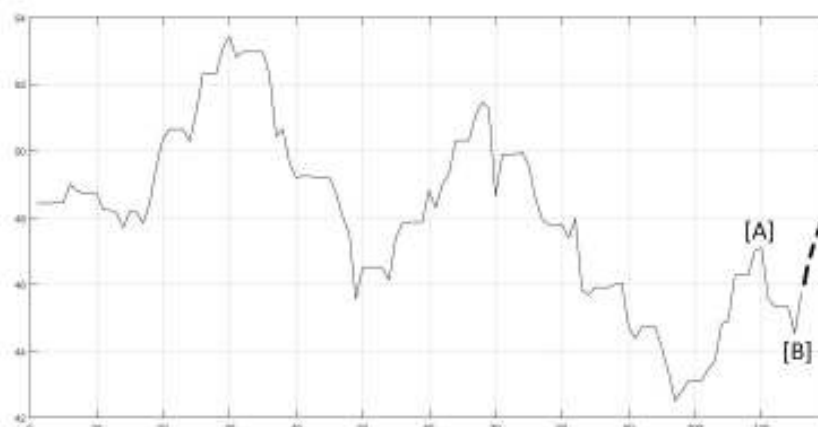


Рисунок 3 - Падіння ціни на нафту марки WTI
всередині липня 2017 року

Наступна гіпотеза випливає з міркувань того, що кінець хвилі [C] завжди має перекривати рівень на якому завершилось формування хвилі [A]. Попередній прогноз подавався на рівні 48.0 -- 48.5\$.

Формування заданого тренду продовжувалось до 25 липня 2017, після чого ціна суттєво перевищила заданий поріг : якщо попередні прогнози розходились з реальним значенням менше ніж на 50 центів США, то нова різниця перевищувала значення у один долар. Впродовж днів, що передували виникненню подібної ситуації, поведінка цін залишалась принципово не зрозумілою.

Досягши в кінці липня позначки у 50.17\$, ціна почала незначним чином коливатись біля позначки 49\$, що видно на наступному графіку (рис. 4). Така поведінка дозволила виділити точку максимуму як потенційну вершину [C]:

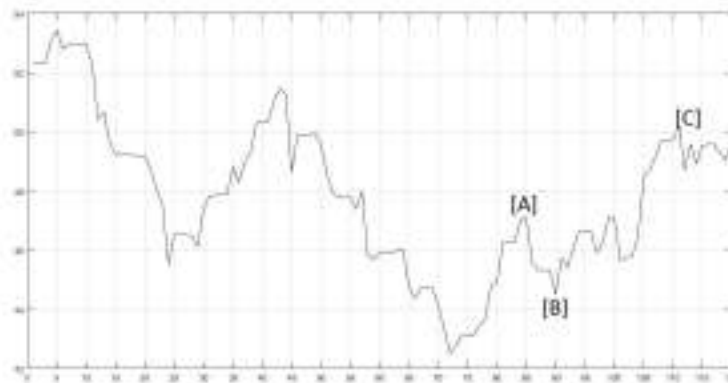


Рисунок 4 - Коливання ціни на нафту марки WTI наприкінці липня 2017 року

Таким чином, вдалось вирішити локальну задачу прогнозування цін на нафту на невеликий період. Прогнози давались періодично протягом місяця, що дозволило вдало виокремити тренди поведінки ціни.

Метод рекурентних діаграм. Теорія рекурентних діаграм ґрунтується на теоремах Такенса та Пуанкаре [4 -- 6], які дозволяють досліджувати динамічні процеси та встановлювати закономірності в їх поведінці.

Нехай точка $x(i)$ відповідає i -й точці фазової траєкторії, що описує динамічну систему у m -вимірному просторі; $i = 1, 2, \dots, n$. Тоді рекурентний графік є 2-вимірний масив точок, у якому елемент з координатами (i, j) означає, що точка $x(j)$ розташована достатньо близько до точки $x(i)$.

Рекурентність стану в момент i при різних значеннях часу j відтворюється в квадратній матриці з чорними та білими точками, де чорні точки вказують на наявність рекурентності (близькості траєкторій), а по обом координатним вісям відкладається час. Таке представлення називається рекурентною діаграмою. Математично це може бути визначено наступним чином:

$$R_{i,j} = \Theta(\varepsilon_i - \|x_i - x_j\|), \quad x_i \in R^m, \quad i, j = 1, 2, \dots, N$$

де N – кількість розглянутих станів x_i , ε_i – гранична відстань або відстань від центра вибраного околу (точка $x(i)$) до її границі, $\|\cdot\|$ – евклідова норма, $\Theta(\cdot)$ – функція Хевісайда.

За своєю суттю такі діаграми є графічним інструментом. На кожній з таких діаграм є структурні особливості, які дозволяють віднести цю діаграму до того чи іншого класу.

Одним з таких класів є текстури [1]. До основних видів текстур відносять точки та діагональні лінії та області їх скупчення. Діагональні лінії відповідають тій ситуації, коли деяка частина фазової траєкторії проходить паралельно іншій фазовій траєкторії. Довжина діагональних ліній показує еволюцію процесу, що проходить в даній області. Маючи набір діагональних ліній в даний момент часу можна прогнозувати, що буде з даною траєкторією в наступні моменти часу. Якщо лінії перпендикулярні головній діагоналі, то їх розвиток протилежний і часта поява перпендикулярних ліній характеризує хаотичний процес. Області скупчення відповідають інтервалам часу протягом якого стан системи не змінюються або змінюються незначно.

Головне призначення рекурентного аналізу виявляти біфуркаційні точки, а також моменти переходу із стану порядку в стан хаосу. Для того, щоб розрізняти біфуркаційні точки на рекурентних діаграмах використовують поняття щільності вершин і горизонтальних структур.

Міра рекурентності показує щільність рекурентних точок, що попадають в область повернення. Довжина діагональних ліній – число діагональних ліній, що паралельні головній діагоналі графіка. Чим більше значення такого числа – тим більшу повторюваність має процес. Тобто, при великій кількості діагональних ліній процес прогнозується легко. Довжина діагональних ліній показує моменти коли траєкторія фазового процесу проходить близько до іншої ділянки. Це дозволяє ви-

значити середній час за який дві ділянки проходять поблизу одна одної. (Відмітимо, що основна діагональ $R_{i,j} = 1$ ($i = 1, 2, \dots, N$) складається тільки з чорних точок і називається лінією тотожності. Слід зауважити, що окремі рекурентні точки (i, j) не несуть ніякої інформації про стани в моменти i та j . Однак, множина всіх таких точок дозволяє реконструювати властивості процесу.)

На практиці неможливо знайти моменти i та j такі, що $x_i \equiv x_j$. У зв'язку з цим стан x_i зветься рекурентним стану x_j , якщо ці стани є достатньо близькими один до одного.

Так як складні системи мають багато компонент і їх поведінка визначається великою кількістю взаємодій, то в нелінійному рекурентному аналізі вводиться вимірність простору вкладення (m) та запізнення в часі (τ) [1].

Рекурентний аналіз. Для побудови рекурентних діаграм та їх числового аналізу використовується програмне забезпечення в середовищі MatLab.

Оскільки в попередньому методі прогноз ґрунтувався не на всьому часовому ряді зміни цін нафти марки WTI, побудуємо рекурентну діаграму для того ж відрізка часу, а саме починаючи з 2015 року і закінчуючи вереснем 2017 року (усього 1176 значень, де кожне значення відповідає ціні на барель нафти в конкретний день). Для початку необхідно визначити розмірність простору вкладення в якому протікає процес. Розрахунок продемонстровано на наступному рис.5:

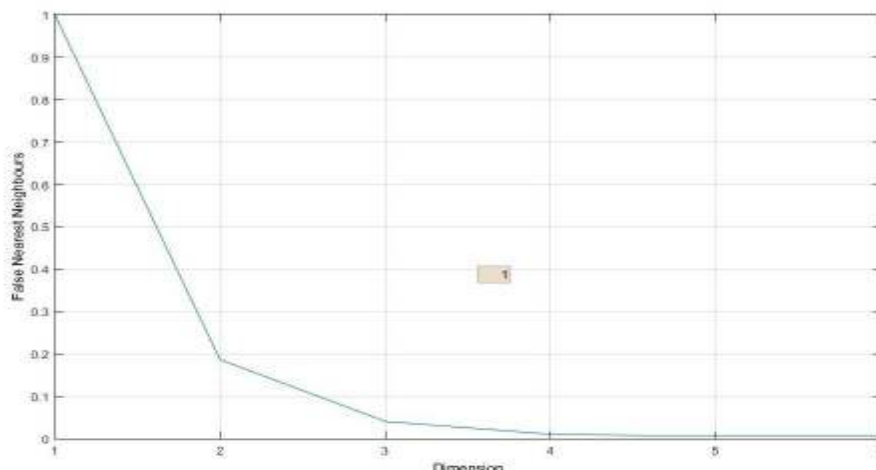


Рисунок 5 - Вимірність простору станів у якому проходить процес ціноутворення

Таким чином, найбільш ймовірно, що розмірність простору, в якому протікає процес, що описується отриманим часовим рядом, дорівнює трьом. Наступним кроком, що передує побудові рекурентних діаграм, є визначення часу запізнення. Він визначався наступним чином:

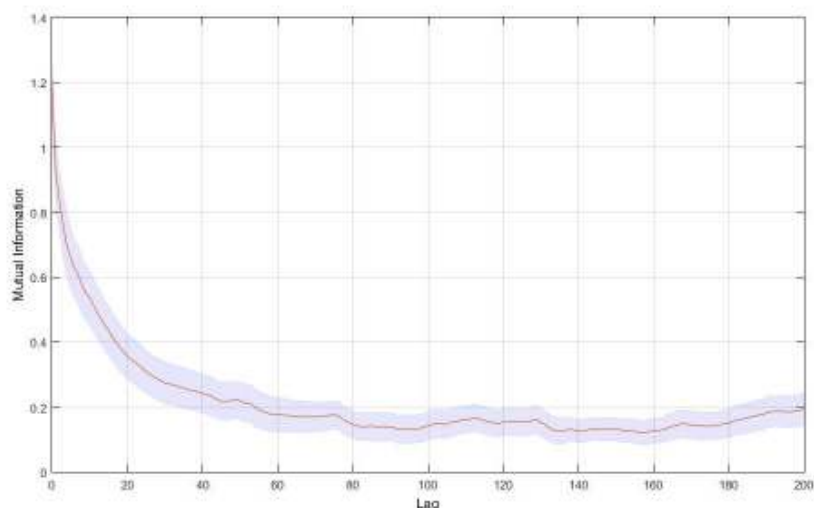


Рисунок 6 - Визначення оптимального часу запізнення

Як можна спостерігати на рисунку 6, показник запізнення складає, приблизно, 136 (це точка мінімуму). Виходячи з того, що сам часовий ряд складає 1176 елементів, прогнозування за таким часовим рядом не є ґрунтовним. Сама рекурентна діаграма, побудована з показником розмірності простору 3 та показником запізнення 136 має наступний вигляд:

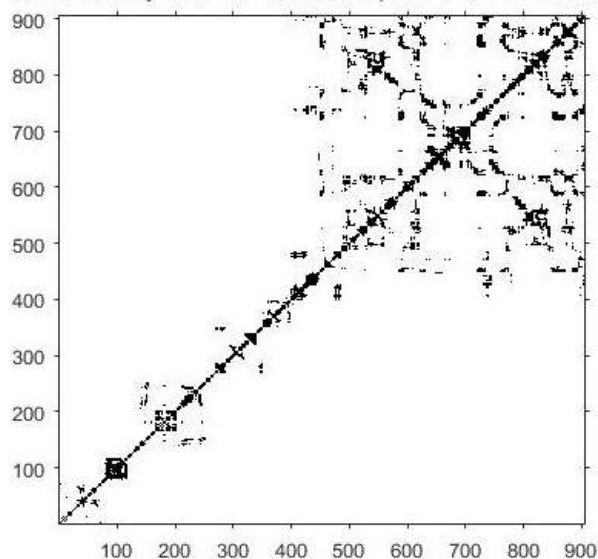


Рисунок 7 - Рекурентна діаграма, яка побудована для ряду з 1176 елементів

На самій діаграмі спостерігається мала кількість діагональних ліній, що як зазначалось вище, свідчить про слабку повторюваність процесу. Натомість, якщо розглядати відрізок часу, що передує попередньому випадку, а саме серпень 1990 – грудень 2013 років, то ситуація має інший характер. На першому кроці було визначено розмірність фазового простору, значення якої дорівнювало трьом (аналогічно рис. 5).

На наступному етапі було визначено час запізнення, за допомогою методу наведеним на рис.6. За допомогою графіка визначено, що час запізнення складає 35. Цей параметр і розмірність простору було використано для побудови рекурентної діаграми (рисунок 8):

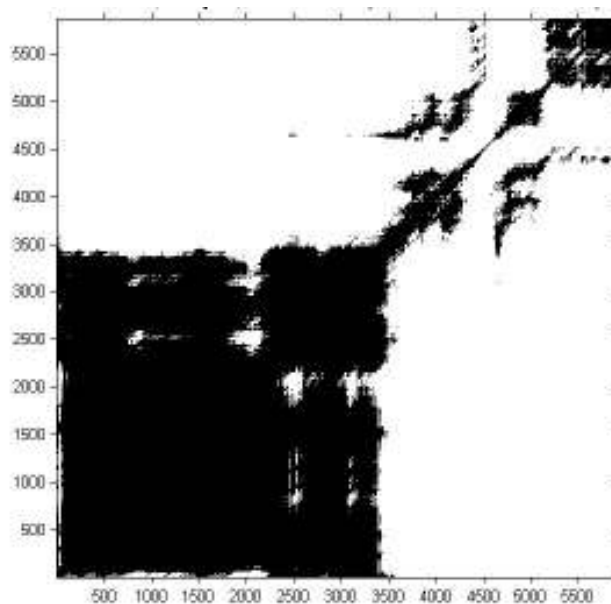


Рисунок 8 - Рекурентна діаграма,
яка побудована для ряду з 5946 елементів

Така діаграма демонструє значну кількість і довжину діагональних ліній, особливо в період з літа 2011 року до літа 2013 року.

Висновки

1. З огляду на поточну ситуацію на ринку енергоносіїв [7], а також спираючись на результати продемонстровані на рис. 7, можна зробити висновок, що станом на сьогодні подальше прогнозування є передчасним. За умови більш стабільної поведінки ринку, варто було очікувати за станом на листопад-початок грудня стрімке зменшення вартості барелю нафти до рівня менше ніж \$40.

2. Наведено методику прикладного застосування хвиль Еліота у прогнозуванні процесів утворення цін на нафту.

3. Продемонстровано зручність апарату рекурентних діаграм для прогнозування поведінки складних нелінійних процесів.

4. Виявлено суттєві розбіжності у питанні прогнозування цін в період між 2014 та 2017 роками. Інструментарію Еліота, що надавав таку можливість, протиставлено метод рекурентних діаграм. Результати, виявлені в процесі підготовки до побудов рекурентних діаграм унеможливають будь-який прогноз.

5. Наведено діаграму для часового ряду цін нафту до 2013 року, який вважаємо «чистим» часовим рядом, тобто, без впливу політичних моментів. Прогнозованість такого часового ряду можна визначити як посередню.

6. Необхідні подальші дослідження часового ряду з точки зору принципів Еліота.

ЛІТЕРАТУРА

1. Владимирский Э. И., Исмаилов Б. И. Синергетические методы управления хаотическими системами. Баку. -- Изд-во "ELM". -- 2011. -- 240с.
2. Динамика цены нефти WTI. Динамика изменения стоимости нефти WTI за 1983-2017 гг. История изменения стоимости барреля нефти WTI по дням. <https://www.calc.ru/dinamika-Wti.html>
3. Frost A.J., Prechter R. Comprehensive Course on the Wave Principle. USA. – ISBN: 978-1-61604-049-9. – 2005. – 257с.
4. Белозёров В. Е., Зайцев В. Г. Нелинейный рекурентный анализ в обработке временных рядов. Региональный межвузовский сборник «Системные технологии», -- Вып. 3 (92) 2014. -- С. 42-49.
5. Белозеров В. Е., Зайцев В. Г. Влияние порога рекурентности и параметра запаздывания временного ряда на информативность его рекурентной диаграммы (на примерах хаотических аттракторов). -- В книге: "Системные технологии моделирования сложных процессов". – Изд-во НметАУ. -- ИВК "Системные технологии". -- 2016. – С.67 – 90.
6. Marwan N., Romano M. C., Thiel M., Kurths J. Recurrence plots for the analysis of complex systems. Physics Reports, 438, 2007. – p. 237-339.
7. Ціни на нафту. <https://www.epravda.com.ua/news/2017/10/9/629899/>

V.V. Hnatushenko, K.Y. Sierikova, I.Y. Sierikov
**GENERATION OF A LANDSAT 8 MOSAIC
FOR ONLINE VISUALIZATION**

ABSTRACT: The method of automatic generation of a mosaic from multitemporal Landsat 8 satellite imagery for online visualization on the web is being proposed. The method is implemented as an API for generating raster tiles of a mosaic. The input raster data are requested from the user-defined WMS server. Keywords: satellite imagery mosaic, remote sensing, Earth observation, Landsat 8, visualization, geoinformation systems.

Introduction. Today remote sensing technologies are widely used to solve applied problems related to environmental monitoring and agriculture. Landsat 8 imagery fills an important scientific niche in this area, as it provides seasonal coverage of the global landmass at a spatial resolution detailed enough to characterize human-scale processes such as urban growth, agricultural irrigation, and deforestation. The data acquired with Landsat 8 is often used to classify vegetation cover, determine the state of crops, perform geological mapping and so on [1]. Most of the aforementioned tasks require continuous coverage of large areas, so several images captured from different orbits must be merged into a mosaic. However, preprocessing satellite images and color balancing, which are required to generate a mosaic, are compute-intensive tasks. Hence, the need arises for preliminary visualization of a Landsat 8 mosaic to simplify the process of scenes selection for further processing.

Survey of previous work. Recently with the growth of the amount of geospatial data stored on the cloud, the popularity of web-based geoinformation systems (Web-GIS) is constantly increasing. This is due to the opportunity of processing geospatial data directly in the cloud, more quickly, with no need to download the data or maintain computational infrastructure. Web-GIS allow users to visualize, process and analyze spatial data in ordinary web browsers. The interoperability of Web-GIS is provided by means of Open Geospatial Consortium (OGC) standards. For example, the OGC WMS (Web Map Server) standard

specifies the interface and parameters to dynamically request maps from a server.

Online services for visualization of satellite imagery, available on Amazon S3, had been developed [3-5]. These services allow one to visualize both historical and up-to-date satellite imagery from operating remote sensing satellites in a web browser: Terra and Aqua (MODIS product), Landsat 7, Landsat 8, Sentinel-2. Sinergise had developed a web service for generation of satellite imagery mosaics [6], including Landsat 8, but the flexibility of the system is limited by the finite number of options, and the algorithm of scene selection cannot be personalized.

Formulation the problem. The purpose of the paper was to develop a method of a Landsat 8 mosaic generation for visualization on the web interface. The input raster data were received using the WMS protocol, requesting layers of Landsat 8 scenes. The method was implemented as an API that returned raster tiles using OpenStreetMap (OSM) Slippy Map notation [7]. The following tasks were accomplished:

1. Imagery search according to the specified criteria.
2. Selection of the scenes to display.
3. Generation of a mosaic raster tile from raw data received from the WMS service.

The basic material. Landsat 8 has 233 orbit cycle and covers the entire globe every 16 days (except for the highest polar latitudes). Equatorial crossing time is 10:00 a.m. +/- 15 minutes [8]. The visualization of the orbit daytime swaths is shown in Fig. 1. The area of the overlap between images captured from different orbital tracks increases towards the poles and is minimal at the equator, which is due to the fact that the satellite follows a circumpolar orbit. In Fig. 2 the coverage of the territory of Ukraine with Landsat 8 imagery is shown. Landsat 8 covers the entire territory of Ukraine every 16 days.

The following search criteria were chosen: 1) time range (dates of acquisition); 2) cloudiness (percentage of cloudy pixels in a scene); 3) the Sun elevation angle (an angular height of the Sun); 4) acquisition hours (day or night).

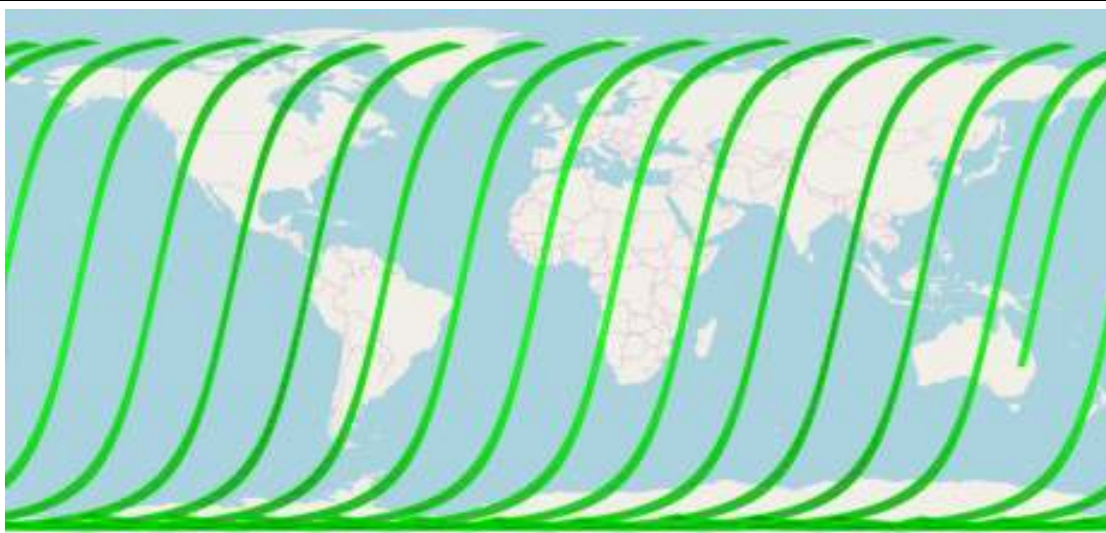


Figure 1 - Example committee on Earth Observation Satellite Visualization Environment tool modeled orbit daytime swaths for 20 October 2017 shown in the geographical projection [9]

In the paper the search of the imagery was carried out by means of the search service [10]. The search of the imagery interacting with some geometry is a computationally expensive task. Hence, it would have been inefficient to perform the search by the geometry of the OSM tile on each tile request. Thus, we performed the search only for tiles at the “base” zoom level and cached the search results for further usage. The base zoom level is such a zoom level at which the optimal ratio of number of requests and the response time of the search API was reached. For Landsat 8 a zoom level 8 was chosen as the base zoom level. To get an idea on how many tiles interact with a Landsat 8 scene at different zoom levels see Fig. 3.



Figure 2 - Visualization of the coverage of the territory of Ukraine with Landsat 8 imagery following WRS-2

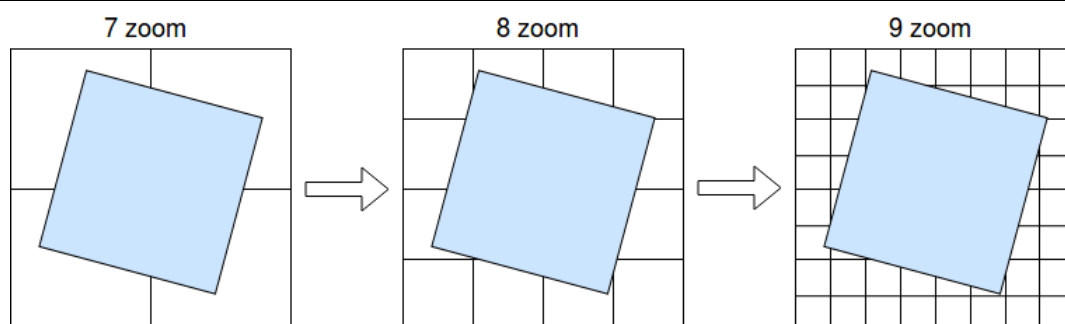


Figure 3 - Interaction of a Landsat 8 scene with OSM tiles at different zoom levels, in projection EPSG:3857 at the middle latitudes

Thus, if a zoom level of a requested tile is greater than the base zoom level, it is sufficient to determine an index of a tile at the base zoom level, which covers the area of the requested tile, and perform the search only for this tile. After that, filtering of the search results by the geometry of the requested tile should be performed. If a zoom level of a requested tile is less than the base zoom level, it is necessary to perform the search for $4(z-bz)$ tiles of the base zoom level, where z is a zoom level of the requested tile, bz is the base zoom level. Then union of the search results is equivalent to the search by the original geometry for the requested tile.

After the search results are obtained, the selection of scenes to display on a resulting mosaic raster can be done. In this study, a sample algorithm of scenes selection was implemented, which sorts the scenes by an acquisition date, so that the newest scenes are placed on the top layer of the mosaic. The minimal amount of scenes covering an entire tile's area is calculated to minimize the number of the WMS requests.

For each of the scenes raw raster data can be retrieved via GetMap request to the WMS server, which serves Landsat 8 scenes as layers. In the request an image format, a bounding box, representing tile's extent, and the name of a layer must be specified. The available WMS options (layer names, styles, image formats etc.) depend on the WMS vendor and can be obtained via GetCapabilities request [11]. The final step of a mosaic tile generation algorithm is merging the images. In this paper, the resulting raster tile of the mosaic is obtained by simply overlaying the images received from the WMS server. Optional edge blending can be applied.

Conclusion. The method of automatic generation of a mosaic from multitemporal Landsat 8 satellite imagery for online visualization on the web was proposed. The method allows one to quickly visualize a Landsat 8 mosaic to simplify the process of scenes selection for further processing. The advantage of the proposed method lies in the flexibility of the system and full control over the algorithms used.

The method is implemented as an API for generating raster tiles of a Landsat 8 mosaic. The software implementation is written in Python using the GDAL/OGR libraries for working with geospatial data and Pillow for working with raster images. The WMS provider is user-defined. The software implementation is divided into modules, which makes it easy to introduce different algorithms for scenes search, selection and generation of the resulting raster. For example, mathematical per-pixel operations between the layers of the mosaic (i.e. selection of the darkest pixel among overlaid raster images etc.) can be performed.

REFERENCES

1. Применение спутниковых данных Landsat в задачах дистанционного зондирования Земли [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docplayer.ru/27789373-Primenenie-sputnikovyh-dannyh-landsat-v-zadachah-distancionnogo-zondirovaniya-zemli.html>.
2. Sayar A, Pierce M, Fox G. Developing GIS visualization web services for geophysical applications. In: ISPRS Spatial Data Mining Workshop, Commission II WD/2; 24-25 November 2005; Middle East Technical University. Ankara, Turkey: ISPRS. pp. 21-28.
3. Land Viewer - Search and view Landsat 8 and Sentinel-2 satellite images [Элек. ресурс]. Режим доступа: <https://lv.eosda.com/>.
4. EO Browser - Sentinel Hub. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>.
5. RemotePixel | Landsat/Sentinel Viewer [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://viewer.remotepixel.ca/>.
6. Sentinel Mosaic Generator [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://apps.sentinel-hub.com/wms-mosaic/>.
7. OpenStreetMap [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.openstreetmap.org/>.
8. Landsat 9 - Wikipedia [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Landsat_8.
9. CEOS Visualization Environment (COVE) Portal [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ceos-cove.org/>.
10. One API to search public Satellites metadata [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://github.com/sat-utils/sat-api>.
11. WMS Reference - GeoServer 2.12.x User Manual [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.geoserver.org/stable/en/user/services/wms/reference.html>

ДОСЛІДЖЕННЯ ШВИДКОДІЇ БРАУЗЕРІВ ІНТЕРНЕТ

Анотація. Проведено порівняльний аналіз швидкодії та продуктивності роботи найбільш поширених та популярних браузерів мережі Інтернет.

Ключові слова. Браузер, швидкодія, мережа Інтернет, завантаження, сайт, інтерпретатор HTML, CSS, JavaScript.

Вступ. На сьогоднішній день мається певна кількість браузерів для навігації в мережі Інтернет з метою отримання інформації. При своїй схожості, усі вони мають і деякі відмінності:

1. Різна швидкість завантаження даних, різні частки пам'яті та процесорного навантаження під час роботи, різні “двигунці”, різна швидкість обробки скриптів [1];

2. Браузери з різною продуктивністю функціонують на різних оперативних системах та апаратурі, мають різний час запуску [2];

3. Мають різний ступень популярності серед користувачів: Google Chrome – 52%, Internet Explorer – 16,5%, I, Mozilla Firefox – 15,6%, Opera – 1,8% [3].

Постановка задачі. Нами було проведено аналіз деяких аналогічних досліджень з питань нашої роботи, наприклад [2,3]. В них використовувались спеціальні програмні комплекси тестів, зміст яких майже не описується.

Ми вирішили дослідити два питання: оцінити швидкодію інтерпретаторів браузерів та швидкість завантаження графіки, а також всього вмісту сайтів. По першому пункту ми будемо підраховувати кількість “щасливих квитків”, тобто таких квитків, в номерах котрих сума першої половини цифр дорівнює сумі другої половини та вимірювати час розрахунку факторіалу числа методом рекурсії.

Основна частина. Нами були проведені дослідження поставлених задач на десяти різних апаратних та програмних платформах для наступних шести найбільш поширених браузерів мережі Інтернет:

Internet Explorer, Mozilla Firefox, Google Chrome, Microsoft Edge, Yandex Browser та Opera.

Для проведення досліджень був розроблений відповідний Web-додаток у рамках технології Web 2.0 засобами HTML, CSS та JavaScript.

У кожному з тестів проводилось по п'ять вимірів часу підрахунків або завантажень із знаходженням середнього значення.

Спочатку наведемо дослідження поставленої задачі для однієї із комп'ютерних платформ. Персональний комп'ютер (ноутбук) мав наступні характеристики: процесор Intel® Core™ i3 CPU M 380 @ 2.53GHz (два ядра) та ОЗУ обсягом 4.00 Гб, на якому встановлено операційну систему Windows 7 (максимальна). У даному випадку досліджувалась швидкодія браузерів Mozilla Firefox версії 52.0 (64-біт), Google Chrome версії 57.0.2987.98 (64-біт), Internet Explorer версії 11.0.2 та Opera версії 43.0.2442.1144 (PGO).

1. Підрахунок кількості “щасливих квитків”.

Таблиця 1

Час підрахунку для 6 циклів

Браузер	Час, мс
Mozilla Firefox	536
Google Chrome	366
Internet Explorer	579
Opera	527

При розрахунку часу знаходження числа “щасливих квитків” для 6 циклів найкращий результат показав браузер Google Chrome. Він виявився в 1,4 рази швидшим ніж Opera, у 1,5 рази – ніж Mozilla Firefox, та в 1,6 раз – ніж Internet Explorer.

Таблиця 2

Час підрахунку для 8 циклів

Браузер	Час, мс
Mozilla Firefox	562
Google Chrome	606
Internet Explorer	1171
Opera	715

У даному випадку найкращий результат показав браузер Mozilla Firefox. Він виявився в 1,1 рази швидшим ніж Google Chrome, в 1,3 рази – ніж Opera, та в 2,1 раз – ніж Internet Explorer.

Таблиця 3

Час підрахунку для 10 циклів

Браузер	Час, мс
Mozilla Firefox	26495
Google Chrome	337167
Internet Explorer	76191
Opera	34173

Цього разу найкращий результат також показав браузер Mozilla Firefox. Він виявився в 1,3 рази швидшим ніж Opera, в 1,4 рази – ніж Google Chrome, та в 2,9 раз – ніж Internet Explorer.

Оскільки під час підрахунку числа “щасливих квитків” для 8 та 10 циклів найкращий результат показав браузер Mozilla Firefox і лише для 6 циклів кращий результат отримав Google Chrome, то можна стверджувати, що у даному випадку найкращим виявився навігатор Mozilla Firefox.

Зазначимо також, що при дослідженнях з 12 циклами найшвидшими виявились браузери Mozilla Firefox та Google Chrome з майже рівними показниками. Всі інші браузери із завданнями не впорались.

2. Час розрахунку факторіалу.

Усі браузери виявились спроможними обчислити факторіали чисел у діапазоні (0-170). Нами проводились дослідження часу знаходження факторіалу числа 155 методом рекурсії, як було зазначено вище. Одержані при цьому результати наведено у таб. 4.

Таблиця 4

Час розрахунку факторіалу

Браузер	Час, мс
Mozilla Firefox	357
Google Chrome	434
Internet Explorer	494
Opera	494

При розрахунку часу факторіалу для числа 155 найкращий результат показав браузер Mozilla Firefox. Він відпрацював у 1,2 рази швидше ніж Google Chrome та в 1,4 рази – ніж Internet Explorer та Opera.

3. Час завантаження графічного зображення.

У цьому тесті фіксувався час завантаження зображення розміром 2650 x 1600 пікселів із файлу формату jpg розміром 590 Кб.

Таблиця 5

Час завантаження зображення

Браузер	Час, мс
Mozilla Firefox	553
Google Chrome	446
Internet Explorer	552
Opera	830

При розрахунку часу завантаження зображення найкращий результат показав браузер Google Chrome. Він виявився у 1,2 рази швидшим ніж Mozilla Firefox та Internet Explorer і в 1,9 раз швидшим ніж навігатор Opera.

4. Час завантаження вмісту сайту.

У цьому пункті наших досліджень для завантаження було обрано web-сайт з URL-адресою <http://www.sciencedaily.com>, на web-сторінках якого міститься великий обсяг текстової і графічної інформації та значна кількість скриптів.

Таблиця 6

Час завантаження сайту

Браузер	Час, мс
Mozilla Firefox	958
Google Chrome	610
Internet Explorer	753
Opera	802

При розрахунку часу завантаження вмісту сайту найкращим виявився браузер Google Chrome. Він показав час завантаження в 1,2 рази менший ніж Internet Explorer, в 1,3 рази – ніж Opera та в 1,6 раз – ніж Mozilla Firefox.

Проведемо тепер аналіз досліджень поставлених у роботі задач на десяти різних апаратних та програмних платформах для зазначених вище шести найбільш поширених браузерів мережі Інтернет. Обрати більш-менш адекватний доцільний інтегральний критерій оцінки швидкодії та продуктивності роботи браузерів у цілому досить складно [2]. Можливо, це є напрямом подальших досліджень. Ми ж вирішили знаходити для кожного із тестів середнє місце того чи іншого браузера, а потім обчислити загальну суму цих місць. Отримані при цьому результати наведено у таблиці 7.

Таблиця 7

Загальна ефективність браузерів

Браузер	“Щасливі квитки”	Факторіал	Рисунок	Сайт	Сума
Mozilla Firefox	1,45	2,83	2,3	2,7	9,28
Google Chrome	3,03	2,15	3,2	2,3	10,68
Internet Explorer	4,41	4,14	3	4,7	16,25
Opera	3,76	3,67	4,1	2	13,53
Microsoft Edge	3,03	3,5	3,75	3,2	13,48
Yandex Browser	3	2,75	3,5	3	12,25

Висновок. Таким чином, узагальнений аналіз свідчить, що серед найбільш поширених браузерів найкраще збалансованим на нинішній час постає Mozilla Firefox. Результати наших досліджень майже повністю співпадають з результатами роботи [3].

ЛІТЕРАТУРА

1. Сравнение браузеров. Какой лучше всех: Google Chrome, Mozilla Firefox, Opera, Yandex. – Метод доступа: <http://live-lenta.com/sravnenie-brauzerov-kakoj-luchshe-vsex-google-chrome-mozil-la-firefox-opera-yandex.html>.
2. Масштабный тест браузеров для системы Windows. – Метод доступа: http://www.compbegin.ru/articles/view/_110.
3. Какой браузер лучше 2016: сравнение Google Chrome, Mozilla FireFox, Opera, Internet Explorer и Microsoft Edge. – Метод доступа: <http://blog.aport.ru/kakoj-brauzer-luchshe-sravnenie-google-chrome-mozilla-firefox-opera-i-internet-explorer/>

А.Л. Сіманенков

СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕПЛОВИХ РЕЖИМІВ СУДНОВОГО ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Анотація. Аналіз роботи систем охолодження суднового двигуна внутрішнього згоряння (СДВЗ), за допомогою показника Херста, дозволив встановити зв'язок між підсистемами керування температурою та тиском. За матрицями параметрів температури та тиску у системах охолодження та підготовки палива. У подальшій перспективі це дозволяє використати отримані результати у визначенні необхідного завдання управління агрегатним енергетичним комплексом.

Ключові слова: судновий ДВЗ, температурний режим, кореляційний аналіз, показник Херста, фрактальний аналіз.

Аналіз проблеми. Одним з основних напрямків підвищення ефективності роботи судна є експлуатація його енергетичної установки (СЕУ) на оптимальних режимах роботи. Мета оптимізації – досягнення екстремального (максимального або мінімального) значення однієї або декількох величин, які називаються критеріями оптимальності.

Під час вибору критеріїв оптимального керування на рівні СЕУ доволі ефективним є застосування принципу послідовної декомпозиції нижнього рівня дворівневої лінійної ієрархічної структури. Сутність методу полягає в тому, що будь-яка складна система може бути виражена у вигляді типових ланок. Кожна ланка у якості вхідного параметру має критерій, а у якості вихідного – мету. При цьому за мету мають – максимальний добуток у економічному, технічному, соціальному або інших аспектах розуміння, а під критерієм розуміють – мінімальне відхилення від мети ланки вищого рівня. Найважливішими параметрами процесу згоряння палива у суднових двигунах внутрішнього згоряння (СДВЗ) є: коефіцієнт надлишку повітря α , коефіцієнт наповнення η_n , середній індикаторний тиск p_i . Ці параметри залежать від температури повітря наддуву, тиску повітря, віднос-

ної вологості, температури охолоджуючої рідини двигуна та в'язкості палива.

Аналіз останніх публікацій. Ункціонування систем охолодження суднових дизелів доцільно характеризувати двома групами показників: режимними, такими як температура охолоджуючої рідини, її витрата, перепад температур в контурах охолодження, тиск в системі охолодження, і водно-хімічними, що характеризують фізичні і хімічні властивості охолоджуючої рідини. Вплив фізико-хімічних і теплофізичних властивостей охолоджуючих рідин на ресурсні, економічні та екологічні показники роботи дизелів є вкрай важливим фактором. У зв'язку з цим сучасна концепція регулювання охолодження повинна передбачати як автоматичне регулювання режимних показників, так і регулювання водно-хімічних параметрів охолодження рис. 1 [1, 2].

Переваги, які можуть бути отримані від впровадження систем автоматичного регулювання охолодження в суднових дизельних установках, зводяться до наступного:

- обслуговуючий персонал звільняється від безпосереднього спостереження за режимними і водно-хімічними параметрами в системах дизеля і від праці, пов'язаної з ручним управлінням;
- автоматизоване управління здатне забезпечити роботу суднового дизеля при оптимальних параметрах охолодження.

Таким чином, проблемами автоматичного регулювання температурного стану СДВЗ є завданням підвищення точності і якості процесу регулювання. При цьому слід відзначити, що при синтезі систем потрібно домогтися не просто заданих показників якості, таких як точність, запас стійкості, швидкодія, прийнятний характер перехідних процесів та ін., але й відповідності параметрів системи автоматичного регулювання (САР) охолодженням режиму роботи двигуна [3, 4].

Питання про кількісну оцінку близькості оптимальної системи відповідаючій їй «ідеальній» є нелегким, недостатньо розробленим теоретично. Практично така оцінка може бути проведена шляхом порівняння показників виконаної реальної системи з показниками, отриманими при розрахунку математичної моделі. Однак при цьому неминуче доводиться стикатися з питанням про те, яка кількісна оцінка близькості математичної моделі і реальної системи [5, 6].

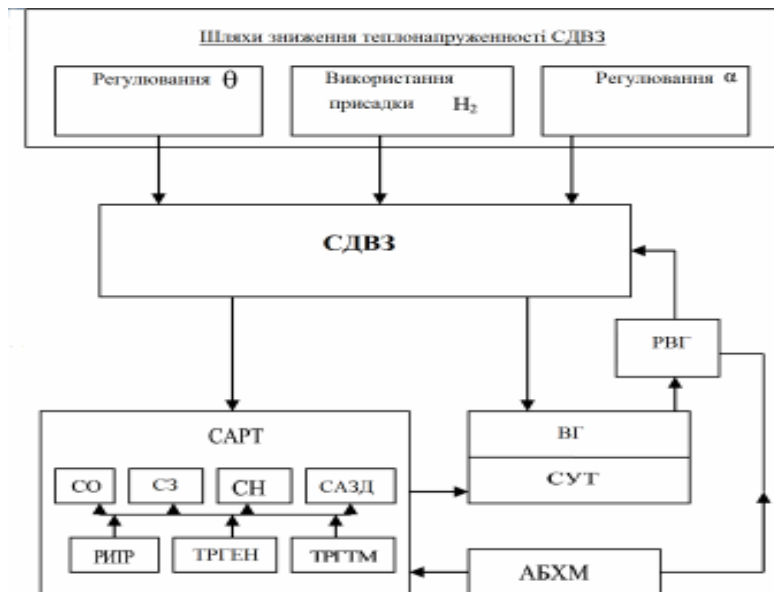


Рисунок 1 - Фактори, що визначають температурний і теплонапружений стан дизеля

Умовні позначення:

θ - кут випередження впорскування палива;

H_2 - водень у вигляді присадки;

α - коефіцієнт надлишку повітря;

РВГ - рециркуляція ВГ;

ВГ - відпрацьовані гази;

СУТ - система утилізації теплоти;

АБХМ - абсорбційна холодильна машина;

САРТ - система автоматичного регулювання теплового стану СДВЗ;

СО - система охолодження;

СЗ - система змазки;

СН - система наддуву;

САЗД - система аварійної зупинки дизеля;

РІТР - релейно-імпульсний терморегулятор;

ТРГЕН - терморегулятор з електронагрівачем;

ТРГТМ - терморегулятор з термоелектричним модулем.

У загальному випадку система регулювання охолодження дизеля складається з програматора-задатчика (П) 1, який виробляє задаючий вплив (програму, програмний рух); регулятора (Р) 2 та об'єкта у правління (ОУ) 3 – рис. 2.

В таких системах, зазвичай, у якості задатчика використовують конвенційний ПІД контролер, регулятором виступає механічний кла-

пан перерозподілу потоків охолоджуючої рідини з електричним приводом, а ОУ – головний судновий двигун внутрішнього згоряння [6, 8].

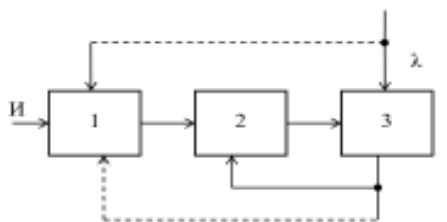


Рисунок 2 - Функціональна схема системи регулювання:

1 - програматор; 2 - терморегулятор; 3 - об'єкт управління

На схемі символ *И* позначає сукупність зовнішньої інформації, яка надходить на програматор. Завдання синтезу оптимальної системи полягає в тому, щоб для заданого об'єкта синтезувати регулятор і програматор, які, в певному сенсі, найкращим чином вирішують поставлене завдання регулювання. Математично ці завдання можуть бути сформульовані одноманітно і вирішуватися одними і тими ж методами, але в той же час вони мають специфічні особливості, які роблять доцільним на певному етапі їх роздільний розгляд. Ці особливості обумовлюються тим, що рішення першого завдання пов'язано, як правило, з визначенням програмного регулювання, а рішення другого - з визначенням регулювання зі зворотним зв'язком. Таким чином, програмне регулювання - це управління у вигляді функції від часу, а регулювання зі зворотним зв'язком - регулювання у вигляді функції від фазових координат.

Систему автоматичного регулювання температурного стану дизеля можна структурно розглядати як одно контурну, у вигляді умовних зображень ланок і зв'язків між ними. У загальному вигляді система складається з двох укрупнених структурних ланок: об'єкта і регулятора рис. 3.

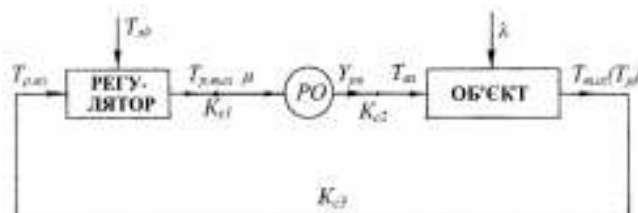


Рисунок 3 - Структурна схема системи автоматичного регулювання температурного стану СДВЗ

Об'єкт з регулятором визначає головний зворотний зв'язок. Видно, що система автоматичного регулювання температури являється замкнутою системою ланок спрямованої дії [9].

Об'єкт характеризується координатами: температурою входу $T_{вх}$, температурою виходу $T_{вих}$ (T_p) і координатою навантаження λ , яка служить другою входною координатою в дизелі. Регулятор характеризується температурою входу $T_{р.вх}$, температурою виходу $T_{р.вих}$ і температурою завдання $T_{зд}$. На лініях зв'язку вказують передавальні коефіцієнти зв'язків K_{c1} , K_{c2} , K_{c3} .

За допомогою спеціальних настроювальних органів завдання, якими обладнуються терморегулятори (ТРГ), можна встановити те чи інше значення температури завдання $T_{зд}$. Відповідно до цього параметру визначаються і значення регульованого параметра, яке буде підтримуватися ТРГ. За допомогою збурюючого впливу λ об'єкт змінює заданий режим. Збурюючими впливами прийнято називати впливи, що прагнуть порушити необхідний функціональний зв'язок між заданою дією і регульованою температурою. При цьому під задаючим впливом розуміється вплив на систему, що визначає необхідний закон зміни регульованої температури. Дію ТРГ на об'єкт, внаслідок якого останній повертається в рівноважний режим при забезпеченні необхідного значення параметра, назовемо регулюючим впливом μ . ТРГ здійснює вплив на дизель через регулюючий орган (РО), який перетворює зміну одержуваної на виході з ТРГ температури води, що надходить на вхід в дизель.

Вимоги до точності підтримки регульованої температури в статичній і динамічній допускають тут застосування найпростіших конструкцій статичних ТРГ і регулювання тільки по відхиленню регульованої температури. ТРГ, а також дизель з його системою охолодження являються складовими частинами системи регулювання температури охолоджуючої рідини. Відхилення регульованої температури охолоджуючої рідини від заданого значення залежить, з одного боку, від властивостей ТРГ, а з іншого - від властивостей самого дизеля з його системою охолодження. Таким чином, операція регулювання температури дизеля включає п'ять основних етапів:

- вимірювання регульованої температури;
- порівняння вимірюваної величини зі значенням, заданим уставкою;

- обробку цієї різниці (помилки) в ТРГ;
- переробку керуючого сигналу в регулюючий вплив;
- повернення регульованої температури до заданого значення регулюючим впливом.

В існуючих системах автоматичного регулювання температурного стану СДВЗ на всіх режимах роботи дизеля алгоритм функціонування містить припис про підтримання постійного значення регульованої температури охолоджуючої рідини, який є системою стабілізації. Використовуючи крім системи стабілізації, електричні елементи у виконавчому регулюючому пристрої ТРГ, передбачається створити систему програмного регулювання, яка містить алгоритм функціонування системи автоматичного регулювання температури (САРТ), тобто припис про зміну регульованої температури відповідно до заздалегідь заданої функції. Необхідна зміна регульованої температури по навантаженню дизеля забезпечується в цій системі за строго певною програмою. На вхід об'єкта надходить регулюючий вплив μ від ТРГ. Якщо таких впливів декілька: $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$, то їх можна об'єднати в вектор $\bar{\mu}$ з координатами μ_j ($j = 1, \dots, n$); $\mu = (\mu_1, \dots, \mu_n)$.

На вхід ТРГ подається задаючий вплив $t_{зд}$, що представляє собою інструкцію про те, якою має бути вихідна температура (регульована температура) $T_{вих}$ (T_p) охолоджуючої рідини. Ця інструкція повинна конкретизувати мету регулювання. Інструкція може являти собою деяку кількість n величин $T \cdot 1, \dots, T \cdot n$, які вважатимемо координатами вектора $T \cdot$: T_i ($T \cdot 1, \dots, T \cdot n$). Наприклад, можна прийняти, щоб в ідеальному випадку задовольнялися умови $T_i = T \cdot i$ ($i = 1, \dots, n$), де $T \cdot i$ - задані функції часу.

Відхилення величини вихідної (регульованої) температури $T_{вих}$ (T_p) від встановлених значень може статися з наступних причин:

- неправильне, неточне або запізніле використання ТРГ інформації про характеристики об'єкта і про цілі регулювання, цей недолік, в принципі, може бути виправлений удосконаленням закону дії (алгоритму) ТРГ.
- обмеження ресурсів регулювання, тобто неможливість за тих чи інших причин подавати на об'єкт такі регулюючі дії $\bar{\mu}$, які можуть забезпечити необхідну поведінку $\bar{\mu}$ об'єкта. (В умовах експлуатації дизелів ресурси управління завжди обмежені, і цю обставину необхідно враховувати). деякий заздалегідь непередбачений і не контро-

льований збурюючий вплив λ , що впливає на його вихідну величину, наприклад, різка зміна температури охолоджуючої заборотної води, що надходить на об'єкт.

Мета роботи. Метою дослідження є виявлення прихованих закономірностей між основними параметрами роботи СДВЗ.

За основні параметри роботи СДВЗ прийнято: тиск і температуру охолоджуючої рідини СДВЗ та тиск і температуру палива у паливній магістралі високого тиску СДВЗ.

Для аналізу використовувалися дані зібрані на протязі 24 годин сталого режиму роботи СДВЗ, типу Wdrtsild – Sulcer 6 RT-flex 50b [10], (морський перехід) з інтервалом у 9 хвилин.

Основна частина. При підвищенні температури охолоджуючої рідини ефективна потужність СДВЗ підвищується, у той час як питома витрата палива $g_e = G_e / N_e$ зменшується. Значне зменшення питомої витрати палива має місце при рості температури охолоджуючої рідини до 85-95 оС (для середньо-оборотних двигунів). У абсолютних значеннях зменшення витрати палива на кожні 10 оС підвищення температури охолоджуючої рідини виражається величиною від 2 до 7 г/кВт/год (у інтервалах температур від 40 до 80 оС). Слід відзначити, що в цей час не здійснюють впливу не конструктивні особливості дизеля, не якість палива.

На рис. 4 представлені криві зміни значення температури охолоджуючої рідини СДВЗ по окремих циліндрах, а також дані про зміну значення температури та тиску палива. Дані дають змогу побачити неефективність роботи конвенційного ПІД регулятора, за рахунок незатухаючих коливань.

Зняття параметрів виконувалося за допомогою системи контролю та моніторингу основних параметрів роботи СДВЗ типу KONGSBERG ACC20. Дані з вказаної моніторингової системи були отримані за допомогою вбудованої функції «Shorttrend», яка дає змогу обслуговуючому персоналу отримувати інформацію про стан основних параметрів роботи СДВЗ у вигляді трендів. Вимірювання проводилися під час сталого режиму роботи (морський перехід) на протязі 24 годин з інтервалом у 9 хвилин.



а)



б)

Рисунок 4 - Криві зміни значення:

а - температури охолоджуючої рідини СДВЗ по окремих циліндрах;

б - тиску і температури палива СДВЗ

Визначення закону розподілення та прихованих періодичностей у статистичних даних. При визначенні закону розподілення виникає задача згладжування статистичних даних за допомогою простих аналітичних залежностей для їх наведення в більш компактному вигляді. Для цього застосовується відновлений статистичний ряд, за даними якого можна провести аналіз розподілу випадкової величини кількості відхилень параметру. Використовуючи дані статистичного ряду побудовано гістограми щільності розподілу даних для вказаних вище параметрів та визначено типи розподілу за критерієм узгодження Пірсона [11].

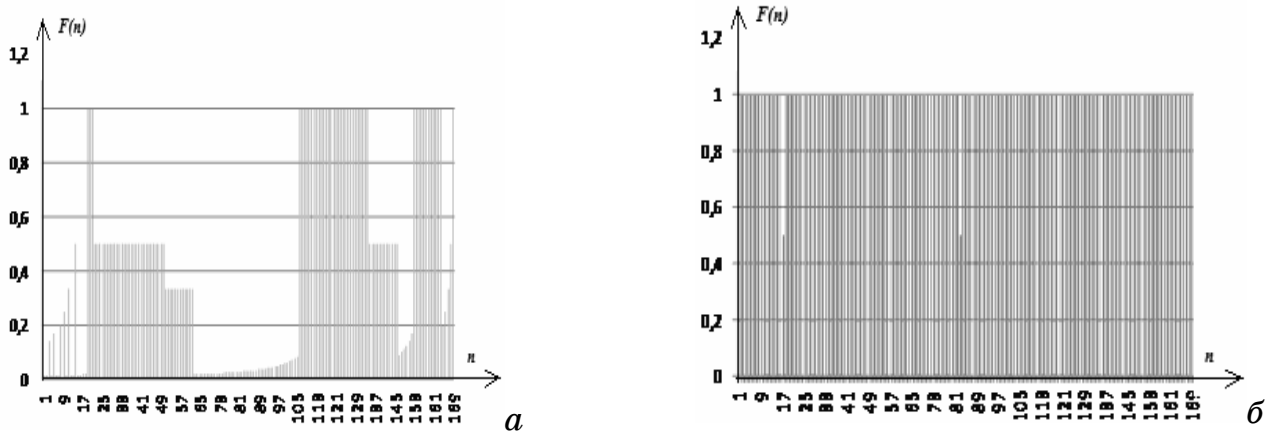


Рисунок 5 - Гістограма зміни:

а - тиску охолоджуючої рідини; б - температури охолоджуючої рідини

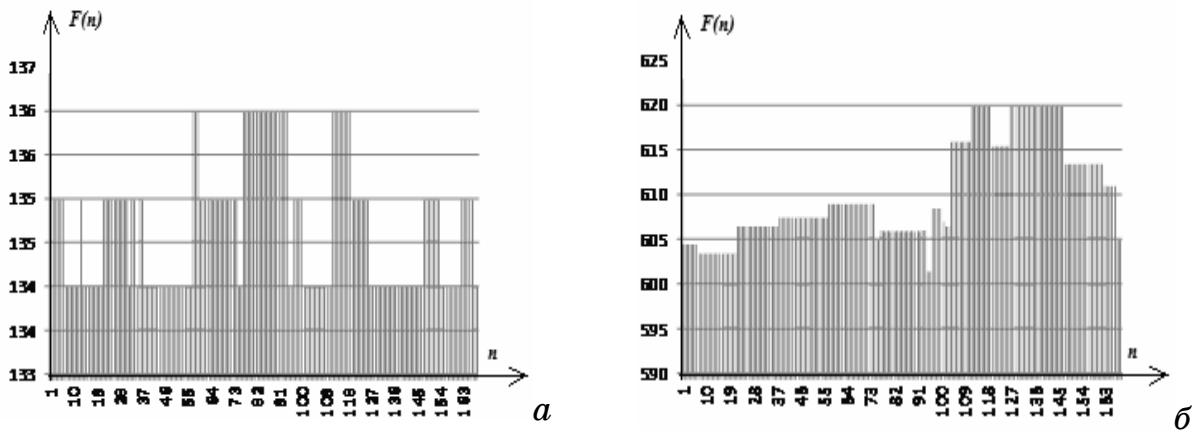


Рисунок 6 - Гістограма зміни:

а - температури палива; б - тиску палива

Відповідність певному закону розподілення статистичних даних про відхилення дозволяє використовувати їх для подальшого аналізу. Для виявлення прихованих періодичностей у статистичних даних відхилення параметрів використаємо кореляційний аналіз.

Дослідження кореляційно функції об'єкта. Для доведення зв'язку між даними за відхиленнями різних параметрів дослідимо кореляційну функцію, що відноситься до різних часових моментів t і знаходиться за формулою:

$$K_{xy}(t, t') = M \left[\dot{x}(t) \dot{y}(t') \right], \quad (1)$$

де $\dot{x}(t)$, $\dot{y}(t')$ – центровані випадкові величини окремих часових процесів.

Для розрахунку кореляційних функцій вважаємо, що процеси стаціонарні та коливання відбуваються відносно деякого середнього

значення [12]. Статистичні характеристики випадкових функцій наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Статистичні характеристики випадкових функцій

Вид розрахунку	Температура охолоджуючої рідини	Тиск охолоджуючої рідини	Температура палива	Тиск палива
Математичне очікування	93,56	3,4	134,7	613,9
Дисперсія	0,16	15814	0,561	40,36
Середньоквадратичне відхилення	62,23	1,371	68,22	292,43

На основі отриманих результатів розрахунку коефіцієнтів кореляції між часовими рядами даних за табл. 2 можна зробити висновок, що найбільш взаємозалежними є температура та тиск палива: коефіцієнт кореляції $R_{43}(t) = 0,39$, а також температура палива та тиск охолоджуючої рідини: коефіцієнт кореляції $R_{43}(t) = 0,37$. Результати розрахунків кореляційних функцій представлено на рис. 7.

Таблиця 2

Матриця коефіцієнтів кореляції

Параметр	Температура охолоджуючої рідини	Тиск охолоджуючої рідини	Температура палива	Тиск палива
Температура охолоджуючої рідини	1,00	0,103	0,11	0,3
Тиск охолоджуючої рідини	0,103	1,00	0,22	0,37
Температура палива	0,11	0,22	1,00	0,39
Тиск палива	0,3	0,37	0,39	1,00

Зображення коефіцієнтів нормованої кореляції для досліджуваного статистичного ряду спостережень свідчить про розподілення кореляційних властивостей за місяцями. Аналіз графіків дозволяє виявити періодичність коливань даних.

Апроксимуємо данні за допомогою ряду Фур'є наступного виду:

$$\begin{aligned} \phi(t) = & A_0 + A_1 \cos(\omega t + \alpha_1) + A_2 \cos(2\omega t + \alpha_2) + A_3 \cos(3\omega t + \alpha_3) + \\ & + \dots = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\omega t + \alpha_n), \end{aligned} \quad (2)$$

де $\omega = 2\pi / T$ – основна частота.

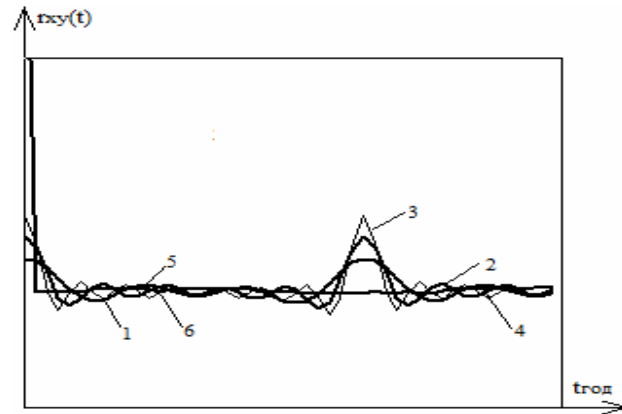


Рисунок 7 - Коефіцієнти нормованої кореляції для значень параметрів: температура охолоджуючої рідини (1), тиск охолоджуючої рідини (2), температура палива (3) та тиск палива (4) 1 – для 1 і 2 параметрів; 2 – для 1 і 3 параметрів; 3 – для 1 і 4 параметрів; 4 – для 2 і 3 параметрів; 5 – для 2 і 4 параметрів; 6 – для 3 і 4 параметрів

В результаті розкладання ряду на окремі коливання отримуємо графік рис. 8 для значення параметрів температури та тиску палива.

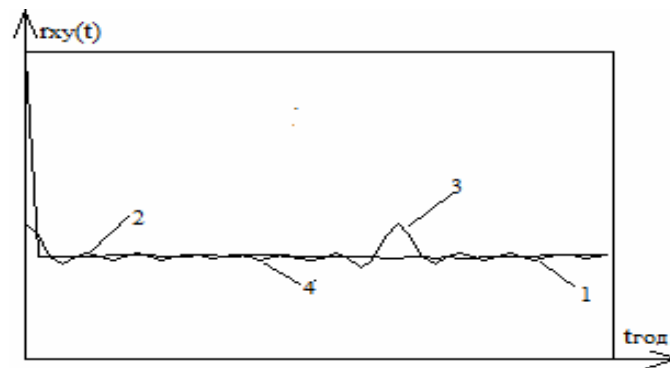


Рисунок 8 - Апроксимація графіку нормованої кореляції для значення параметрів температури та тиску палива: 1 – вихідні дані кореляції; 2 – за 3-ма гармоніками; 3 – за 5-ма гармоніками; 4 – за 7-ма гармоніками

В результаті розрахунків апроксимуюча функція приймає вигляд:

$$P_r(t) = 0,035 - 0,018 \cos(\omega_1 t + 2,963) - 0,022 \cos(\omega_2 t + 3,073) - 0,022 \cos(\omega_3 t + 3,056) - \\ - 0,024 \cos(\omega_4 t + 3,097) - 0,022 \cos(\omega_5 t + 3,072) - 0,024 \cos(\omega_6 t + 3,167) - 0,022 \cos(\omega_7 t + 3,113) , \quad (3)$$

де $\omega_i = 2\pi i / T = i\omega_1$, $T = 24 \text{доб}$, $i = 1 \dots n - 1$

В результаті перевірки значимості коефіцієнтів за критерієм Ст'юдента вираз (3) приймає наступний вигляд:

$$P_r(t) = 0,035 - 0,022 \cos(\omega_2 t + 3,073) - 0,022 \cos(\omega_3 t + 3,056) - 0,024 \cos(\omega_4 t + 3,097) - \\ - 0,022 \cos(\omega_5 t + 3,072) - 0,024 \cos(\omega_6 t + 3,167) - 0,022 \cos(\omega_7 t + 3,113) . \quad (4)$$

Перевірка адекватності моделі (4) за критерієм Фішера підтверджує її відповідність об'єкту.

На відміну від традиційних методів статистичного аналізу випадкових величин, нові методи засновані на дослідженні фрактальної природи процесів та вейвлет-перетворенні поряд з глобальними характеристиками стохастичних процесів дозволяють розкрити особливості їх локальної структури. Відомо [6], що для застосування фрактального аналізу необхідно довести, що задані часові ряди даних про відхилення володіють основними фрактальними властивостями: само-подібністю та дробовою розмірністю.

Загальне визначення само-подібності стохастичного процесу базується на прямому масштабуванні безперервної змінної часу. Само-подібність процесів виникнення відхилень параметрів роботи СДВЗ може бути визначена за допомогою параметру Херста[13].

Для випадку стохастичного процесу, визначеного в дискретні моменти часу, стохастичний процес $X(t)$ визначається як $\{x_t, t = 0, 1, 2, \dots\}$. Для стаціонарних часових серій x знайдемо m -агреговані часові серії $x^{(m)} = \{x_k^{(m)}, k = 0, 1, 2, \dots\}$, складаючи початкові часові серії по сусідніх блоках розміром m , що не перекриваються, за виразом:

$$x_k^{(m)} = \frac{1}{m} \sum_{i=km-(m-1)}^{km} x_i. \quad (5)$$

Агреговані часові серії являють собою метод стиснення шкали часу. Якщо статистичні характеристики процесу (середнє значення, дисперсія) зберігаються при стисненні, тоді можна стверджувати про самоподібність процесу. Таким чином процес x являється в точності самоподібним з параметром β ($0 < \beta < 1$), який пов'язаний з параметром Херста як $H = 1 - (\beta / 2)$, якщо для всіх $m = 1, 2, \dots$ існує дисперсія:

$$D(x^{(m)}) = \frac{D(x)}{m^\beta}. \quad (6)$$

Якщо прологарифмувати цей вираз, то отримаємо: $\log[D(x^{(m)})] = \log[D(x)] - \beta \log(m)$. Звідки:

$$\beta = \frac{\log[D(x) / D(x^{(m)})]}{\log(m)}. \quad (7)$$

При аналізі само-подібності часових рядів відхилення кожного параметру з кількістю статистичних точок n для агрегованих за часом серій $x^{(m)}$ знайдено параметр Херста H , параметр β , дисперсію не агреговано-

го процесу $D(x)$ та дисперсію для процесів різної агрегації $D(x^{(m)})$. Майже в усіх випадках параметр Херста H знаходиться в межах від 0,5 до 1, що свідчить про наявність довгострокової залежності та фрактальних властивостей. На рис. 9 зображено графік залежності параметра Херста H від ступеня агрегації m .

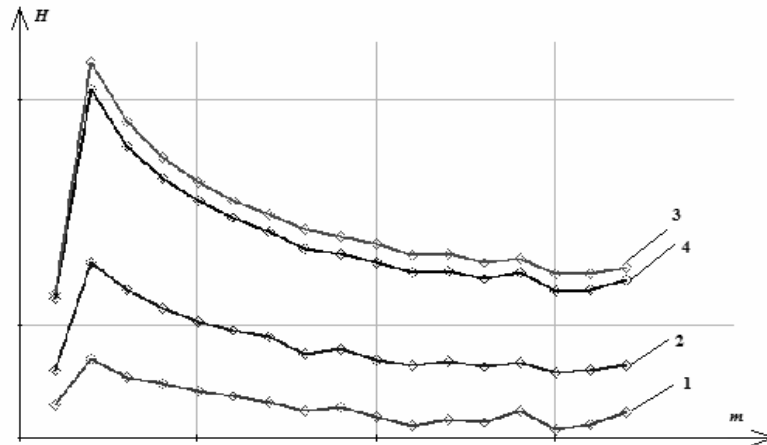


Рисунок 9 - Графік залежності параметра Херста H від ступеню агрегації m для параметрів: 1 – температура охолоджуючої рідини; 2 – тиск охолоджуючої рідини; 3 – температура палива; 4 – тиск палива

Таким чином, подальший аналіз на основі фрактальних властивостей можливий лише з використанням моделей з більшим ступенем агрегації.

Результати дослідження та обговорення впливу обраних характеристикних параметрів на ефективність роботи агрегатного комплексу. З метою виявлення зв'язку між агрегованими даними за допомогою кореляційного аналізу дослідимо отримані функції, де розрахунок виконують аналогічно наведеному вище для статистичних даних. Коефіцієнти кореляції представлено в табл. 3.

При дослідженні вибірок статистичних даних роботи підсистем регулювання температури та тиску охолоджуючої рідини, а також температури та тиску палива у системі підготовки палива СДВЗ, найбільш зручним методом визначено застосування відновленого статистичного ряду.

Використання критерію узгодженості Пірсона дозволило провести розподіл статистичних вибірок про відхилення параметрів, що досліджуються, за обраним законом. Подальший кореляційний аналіз показав взаємозалежність між тиском і температурою охолоджуючої рідини та тиском і температурою палива. Що є цілком суб'єктивним

твердженням, адже як показано авторами у [2], підсистеми автоматичного регулювання охолодження СДВЗ діють шляхом перерозподілу потоків охолоджуючої рідини або через теплообмінник або в обхід останнього, і таким чином паралельно до температури змінюють тиск рідини у магістралі. Говорячи про підсистеми підготовки палива, однозначно встановлено [2] співвідношення між температурою та тиском у замкнутому контурі циркуляції палива.

Таблиця 3

Матриця коефіцієнтів кореляції агрегованих даних 5-го ступеню

Параметр	Температура охолоджуючої рідини	Тиск охолоджуючої рідини	Температура палива	Тиск палива
Температура охолоджуючої рідини	1,00	0,2	0,21	0,49
Тиск охолоджуючої рідини	0,2	1,00	0,38	0,52
Температура палива	0,21	0,38	1,00	0,73
Тиск палива	0,49	0,52	0,73	1,00

Під час оцінювання коефіцієнтів нормованої кореляції, засвідчено розподіл кореляційних властивостей за місцями, що дозволило виявити періодичність коливань параметрів у контурах досліджуваних підсистем автоматичного регулювання. Розклад ряду на окремі коливання та перевірка моделі за критерієм Фішера підтверджує її відповідність реальному об'єкту. З чого можна визначити твердження про ідентичність розробленої моделі та її прихованих зв'язків між параметрами, до дійсного об'єкту.

Використовуючи нові методи статистичного аналізу при дослідженні фрактальної природи процесів, що вивчаються, було розкрито особливості фрактальної структури вибірок статистичних даних об'єкту дослідження. З метою виявлення зв'язку між агрегованими даними за допомогою кореляційного аналізу було встановлено, що основні параметри роботи СДВЗ мають значне відхилення своїх значень від встановлених, що в свою чергу вказує на недоліки підсистем автоматичного регулювання температури та тиску охолоджуючої рідини та палива, а саме:

- недостатня швидкодія систем автоматичного регулювання;
- недоліки прийнятих математичних моделей вказаних систем;
- незлагодженість між підсистемами регулювання та системою дистанційного автоматичного управління ДАУ СДВЗ.

Висновки. Під час аналізу факторів, що впливають на тепловий режим СДВЗ, виявлено групу головних факторів, які визначають температурний та тепло-напружений стан СДВЗ.

Показчик Херста підтверджує само-подібність процесів теплообміну та вказує на наявність фрактальних властивостей. Більш високий ступінь агрегації систем дозволяє провести послідовний аналіз фрактальних властивостей.

Для вирішення задачі керування у автоматичних системах управління охолодженням (АСУ) повинна бути сформована більш доцільна модель керування, що дозволить забезпечити найоптимальніший закон керування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Carlton J. S. Marine propellers and propulsion. [Текст] / J. S. Carlton. First edition. – Elsevier Ltd Waltham, USA, 1994. – 518 p.
2. Фомин А. Я. Судовые двигатели внутреннего сгорания. [Текст] / А. Я. Фомин, А. И. Горбань, В. В. Добровольский. Учебник – Л.: Судостроение, 1989. – 344 с.
3. Гацуц А. Г. Повышение эффективности работы судовых энергетических установок путем обеспечения оптимального температурного режима. [Текст]/А. Г. Гацуц, А. Р. Мыська, А. О. Дранкова//Електромеханічні та енергозберігаючі системи.–2015. -№ 3/201. – С. 71-74.
4. Тимофеев В. Н. Температурный режим двигателей внутреннего сгорания и его регулирование. [Текст] /В. Н. Тимофеев. — Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2008. — 358 с.
5. Безюков О. К., Жуков В. А., Тарасов М. А. Совершенствование конструкции систем охлаждения судовых двигателей. [Текст] / О. К. Безюков, В. А. Жуков, М. А. Тарасов // Развитие транспорта в регионах России: проблемы и перспективы; материалы Всерос. науч.-практ. конф. — Киров, 2007. — С. 67–70.
6. Roberts, G. N. Advances in unmanned marine vehicles. [Text] / G. N. Roberts, R. Sutton. – MGP Books Ltd, Bodmin Cornwall, 2006. – 461 p.
7. Patel R. Mukund. Shipboard propulsion, power electronics and ocean energy. [Text] / Mukund S. Patel. – FL: CRC Press/Taylor & Francis, Boca Raton, 2012. – 352p.
8. Morris, A. S. Measurement and instrumentation principles. [Text] / Allan S. Morris. – Butterworth-Heinemann, Woburn, 2001. – 491 p.
9. Michalsky L. Temperature measurement. [Text] / L. Michalsky, K. Eckersdorf, J. Kucharski, J. McGhee. Includes bibliographic references and index. – John Wiley&Sons Ltd., Chichester, 1991. – 496 p.
10. RT-flex. Operation & Practical Training Course [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <http://dieselturbo.man.eu>.
11. Мойсюк Б. Н. Учебное пособие по курсу "Экспериментально-статистические методы оптимизации и исследований". Идентификация и оптимизация сложных объектов методами активного эксперимента. [Текст] / Б. Н. Мойсюк.- Моск. энерг. ин-т, 1988. – 333 с.
12. Потапов А. А. Методы классической и современной теории автоматического управления. В 5 томах. Том 5. Новейшие методы обработки изображений. [Текст] / А. А. Потапов, Ю. В. Гуляев, С. А. Никитов. – М.: Физматлит, 2008. –496 с.
13. Рожков С. О. Ідентифікація параметрів текстильних виробництв методами аналізу часових рядів. [Текст] / С. О. Рожков, Г. В. Рудакова // Вісн. Нац. ун-ту "Львів. політехніка". - 2011. - № 719. - С. 126-132. - Бібліогр.: 6 назв. - укр.

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ ЗАСОБІВ РОЗПІЗНАВАННЯ КІБЕРАТАК НА МЕРЕЖЕВІ РЕСУРСИ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Анотація. Розглянуто сучасні методи побудови систем розпізнавання кібератак, що базуються на штучних нейронних мережах. Проаналізовані параметри, що характеризують ефективність роботи та навчання даних систем, визначені типові проблеми, що виникають при застосуванні нейромережових засобів розпізнавання сигнатур кібератак на мережеві ресурси комп'ютерних систем. Визначено переваги та недоліки використання при вирішенні даного класу задач концепції глибинного навчання: глибинних мереж переконань та та згорткових нейромереж.

Ключові слова: Системи розпізнавання кібератак, штучна нейронна мережа, нейромережові методи розпізнавання, глибинна мережа переконань, згорткова нейромережа.

Вступ. Ефективність застосування нейромережових методів розпізнавання (НММР) кібератак на мережеві ресурси інформаційних систем (МРІС) підтверджується як статистикою застосування нейромережових моделей (НММ), так і теоретичними дослідженнями у даній області. Тим не менш, систематичний аналіз вказує на типові проблеми, властиві для систем розпізнавання кібератак (СРК), що значно знижують їх потенціал:

- неспрацьовування та невірні спрацьовування;
- значний час розробки та нестабільність навчання;
- значний час та складність формування навчальної вибірки;
- слабка адаптація до особливостей інформаційних систем (ІС),

Потреба у вирішенні вказаних проблем зумовлює необхідність побудови цілісної методологічної бази застосування НММР при захисті МРІС від кіберзагроз, що є *метою* даного дослідження.

Кібератакою називають сукупність протиправних дій, спрямованих на порушення доступності, цілісності або конфіденційності ІС, що може включати в себе етап усунення

інформації про атаку [1-6]. Кібератаки поділяють на локальні і віддалені (за місцем виникнення) та на активні і пасивні, в залежності від того, який вплив здійснюється на функціонування ІС. Зазвичай, у публікаціях розглядаються кібератаки, що базуються на вразливості саме МРІС, та призводять до порушення функціоналу атакованого ресурсу, наприклад DOS- та DDOS-атаки [4].

Аналіз публікацій за даною темою, дає статистичну вибірку використання НММ при побудові алгоритмів СРК. У роботах [1-3, 9] показані та узагальнені методи адаптації архітектури НММ до окремих ІС, а також розглянуто перспективи оптимізації даних методів в залежності від параметрів завдання. Роботи [4, 11] присвячені особливостям застосування НММ для розпізнавання спроб підбору комбінації логін-пароль і розпізнавання DOS- та DDOS-атак. Значна кількість публікацій присвячена застосуванню у СРК нових видів НСМ [7-16]: засобам розпізнавання на базі багаточарового перцептрона [7] та використанню карти Кохонена [8]. У роботах [9-16] розглядаються переваги та недоліки використання концепції глибинного навчання та переходу до СРК на основі нейромереж третього покоління. Показано, що для розпізнавання сигнатур кібератак найбільшу ефективність показують методи на основі загорткових нейромереж [10-12] та глибинних мереж переконань [15, 16].

1. Організація СРК на основі ШНМ для захисту МРІС. Для побудови узагальненої моделі СРК на базі НММ необхідно провести аналіз контрольних параметрів функціонування МРІС. При цьому важливо визначити характеристики нейромережових моделей і методів, що можуть бути адаптовані до впровадження в СРК, зокрема доступу до бази даних сигнатур кібератак (СК), контроль функціональних параметрів МРІС та обчислювальні ресурси СРК. Розробка концептуальної моделі зумовлює використання таких параметрів, як ефективність, оперативність та ресурсоємність системи [1-3]. Ефективність вказує сукупність характеристик, які відповідають за взаємозв'язок функцій і процедур програмного комплексу, використання апаратних ресурсів та послуг, оперативність відповідає часу відгуку, обробки і виконання функцій системою, а ресурсоємність визначає кількість використаних ресурсів і тривалість їх використання.

Діаграма процесу нейромережового розпізнавання кібератак на МРІС показана на рис. 1.

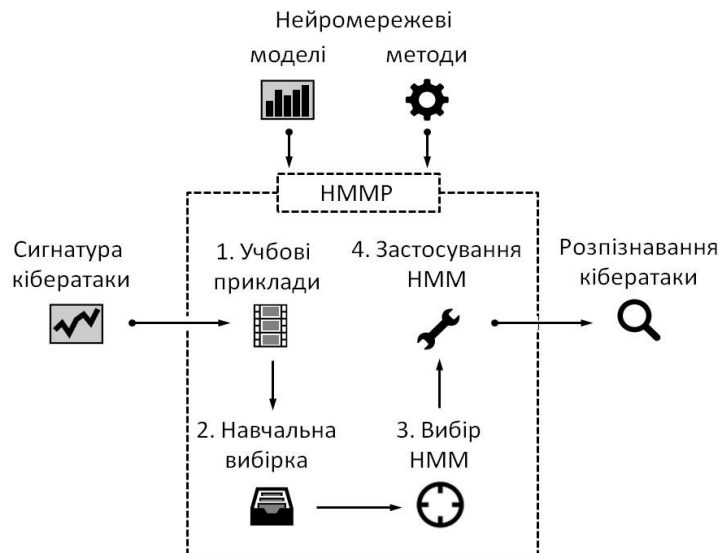


Рисунок 1 - Діаграма процесу нейромережевого розпізнавання кібератак на мережеві ресурси

Призначення компонентів блоку НММР даної діаграми полягає у (1) визначенні для кожного типу кібератак множини вихідних і вхідних параметрів, а також способу їх кодування до виду, що відповідає НММ, (2) побудові множини навчальних прикладів, що є достатньою для навчання НММ, (3) отриманні оптимальних параметрів для ефективного функціонування НММ як елементу СРК у відповідності до МРІС. Слід зауважити, що застосування у МРІС комплексу СРК на базі НСМ є ресурсоємною задачею, що подекуди може використовувати основну частину програмно-апаратних ресурсів системи. В процесі розробки СРК необхідно також враховувати недосконалість методів та значний час формування параметрів навчальних прикладів для НММ, тому в таких схемах передбачена можливість формування навчальної вибірки за допомогою експертних даних (рис. 2).



Рисунок 2 - Діаграма взаємодії елементів СРК на базі НММ за умови наявності експертної оцінки

2. Аналіз ефективності роботи НММР у складі СРК

Ефективність роботи НММР у складі СРК, таким чином, оцінюється як ефективність процесу навчання НММ, тобто за показниками тривалості та точності роботи, а також ресурсоемності даної системи (рис. 3).

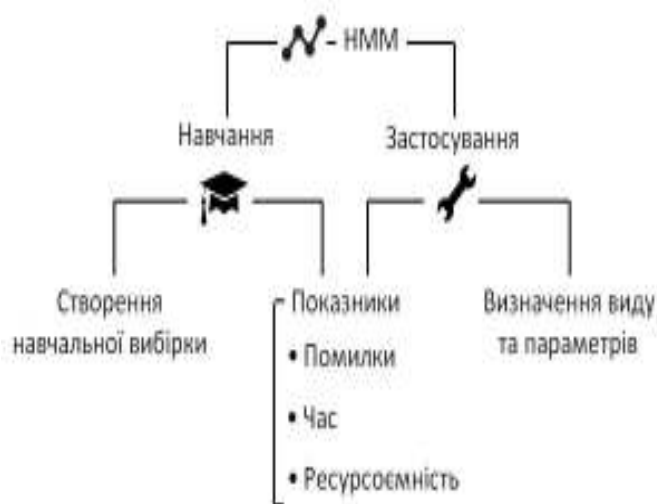


Рисунок 3 - Основні фактори, що визначають ефективність СРК на основі нейромережових систем

Модель визначення ефективності [1-3] базується на цільовій функції інтегральної ефективності процесу $E_{\Sigma}(E_{НММР}(e_B, e_P, e_R), E_{НВ}(e_{НП}, e_{НВ}))$, де $E_{НММР}(e_B, e_P, e_R)$ – ефективність роботи НММР, що залежить від параметрів e_B відповідає за визначення оптимального НММ, e_P – за пошук параметрів НММ, e_R – за ресурсоемність використання НМР, а $E_{НВ}(e_{НП}, e_{НВ})$ – ефективність створення навчальної вибірки, де $e_{НП}$ – відповідає за пошук параметрів навчальних прикладів, $e_{НВ}$ – за формування навчальної вибірки. Отже для побудови узагальненої моделі ефективності роботи СРК необхідно побудувати алгоритми визначення множини ефективних видів НММ та оцінювання ефективності виду НММ, очікування вихідного сигналу СК, а також включити параметри обчислювальних ресурсів сервера СРК і системи експертних знань, що використовується при побудові навчальної вибірки. В даному випадку ключовим фактором є ефективність навчання НММ, що залежить від часу побудови навчальної вибірки та часу, що витрачається на процес навчання $t_{\Sigma}(t_{НВ}, t_{НП})$. При цьому:

$$\begin{cases} t_x \leq t_n(n_i) \\ n_i \in N_n \end{cases}, \quad (1)$$

де $t_n(n_i)$ – максимальний допустимий час побудови навчальної вибірки та навчання НММ, n_i – вид НММ, а N_n – множина допустимих видів НММ. При цьому в загальному випадку вважають, що алгоритм пошуку видів НММ має здійснювати вибірку множини ефективних видів НММ N_e за множини всіх видів НММ N_o : $N_o \rightarrow N_n \rightarrow N_e$. Розрахунок функції ефективності кожного окремого НСМ відбувається за наступним критерієм:

$$\begin{cases} E_i = \sum_{k=1}^K \alpha_k R_k(n_i) \\ n_i \in N_n \\ i = 1..I \\ \alpha_k = 0..1 \end{cases}, \quad (2)$$

де R_k – критерій ефективності, α_k – ваговий коефіцієнт критерія ефективності, K – кількість критеріїв ефективності, I – кількість видів НММ. Слід зазначити, що функції ефективності відображають пристосованість НММ до конкретного класу задач, що дозволяє звести алгоритм обчислення оптимальних параметрів СРК до задачі пошуку максимумів цільових функцій.

3. Розробка сучасних НММР на основі концепції глибинного навчання. Концепція глибинного навчання, що базується на навчанні ознак, тобто роботі з представленням вхідних даних в межах самої НММ показала свою високу ефективність [9-16] надало змогу перейти до третього покоління штучних нейронних мереж (ШНМ). Навчання глибинних ШНМ відбувається у два етапи. Перший етап включає в себе навчання кожного шару автоасоціативної мережі за принципом «навчання без вчителя», після чого відбувається ініціалізація нейронів прихованих шарів нейронної мережі прямого поширення (НМПП), у ході якої вагові коефіцієнти нейронів кожного шару стають вхідними даними для нейронів наступного шару, що призводить для узагальнення інформації про образ (візуальне зображення чи сигнатуру кібератаки). На другому етапі відбувається процес навчання НМПП зі вчителем, що займає менший час ніж у випадку класичних ШНМ другого покоління, завдяки попередньо проведеному етапу ініціалізації.

У той час, як концепції глибинного навчання активно застосовується при розпізнаванні образів, визначення ефективності

застосування СРК на основі глибинних ШНМ, все ж таки, є нетривіальною задачею. ШНМ третього покоління показують кращі результати за точністю та здатні працювати з принципово новими класами задач, але при цьому характеризуються високою ресурсоемністю по відношенню до завантаження програмно-апаратного комплексу та строків підготовки до навчання. Розробники пов'язують це з тривалістю обчислення даного типу алгоритмів та їх схильністю до перенавчання. У СРК, зазвичай, використовують НММ, що базуються на глибинній мережі переконань (ГМП), згорткових ШНМ та ШНМ на основі асоціативної пам'яті.

ГМП мережа складається з прихованих вузлів (шарів латентних змінних), причому з'єднання наявні лише між шарами, а всередині шарів — відсутні (рис. 4). При тренуванні на навчальному наборі сигнатур кібератак ГМП навчається відбудовувати свої входи, причому шари виступають в ролі детекторів ознак на входах. При систематичному аналізі ГМП розглядають як набір обмежених машин Больцмана (ОМБ) для яких прихований шар однієї підмережі слугує видимим шаром для наступної [14-16]. Алгоритм навчання ГМП складається з наступних етапів: (1) тренування ОМБ на вхідній матриці X з метою отримання матрицю вагових коефіцієнтів, (2) перетворення матриці X за допомогою ОМБ для отримання нових даних, (3) повторення попередню процедуру для всіх шарів мережі, (4) тонке налаштування параметрів глибинної архітектури по відношенню до критерію керованого тренування (рис. 4). Спільний розподіл даної НММ для n прихованих шарів h^n може бути записаний наступним чином:

$$P(x, h^1, h^2, \dots, h^n) = \left(\prod_{k=0}^{n-2} P(h^k \vee h^{k+1}) \right) P(h^{n-1}, h^n), \quad (3)$$

де $P(h^k \vee h^{k+1})$ — це умовний розподіл на рівні k , а $P(h^{n-1}, h^n)$ — спільний розподіл ОМБ верхнього рівня (рис. 4).

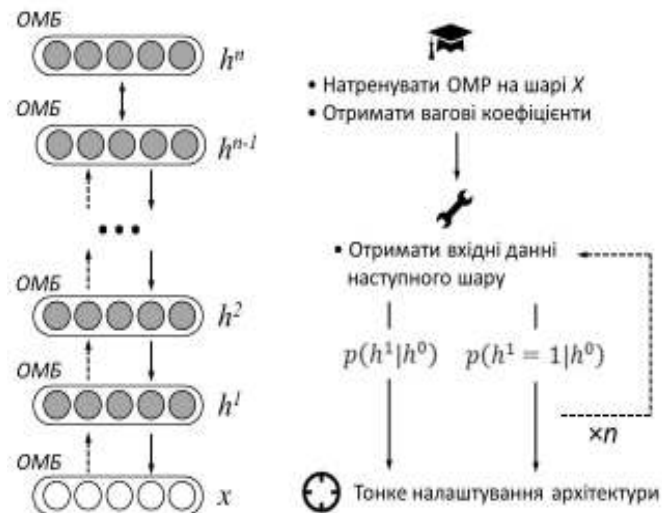


Рисунок 4 - Структура та алгоритм тренування ГМП

Перетворення матриці X відбувається шляхом вибірки $p(h^1 \vee h^0)$ або обчислення середньої активації прихованих вузлів $p(h^1 = 1 \vee h^0)$.

Згорткові ШНМ складаються з декількох шарів, за допомогою яких обробляють рецептивні поля вхідного образу (сигнатури кібератаки). Вихідні дані збірок кожного шару накладаються таким чином, щоб області перекривалися, що збільшує точність роботи нівелює вплив паралельних перенесень образу. Таким чином, для різних нейронів вихідного шару використовуються одна матриця вагових коефіцієнтів (ядром згортки). Шар отриманий в результаті операції згортки ядром згортки, показує наявність ознаки в шарі, що оброблюється, формуючи карту ознак. Далі операція субдискретизації виконує зменшення розмірності сформованих карт ознак і формує підвибірку. За рахунок цієї операції подальші обчислення прискорюються, а ШНМ стає більш інваріантною до масштабу вхідного зображення. Після обробки сигнатури кібератаки (вхідного образу) сигнал проходить шари згортки, в яких повторюються операції згортки і субдискретизації (рис. 5). На кожному наступному шарі карти ознак зменшуються в розмірі, але збільшується кількість каналів, по яким обробляються карти ознак, що надає системі здатність розпізнавання складних ієрархій ознак.

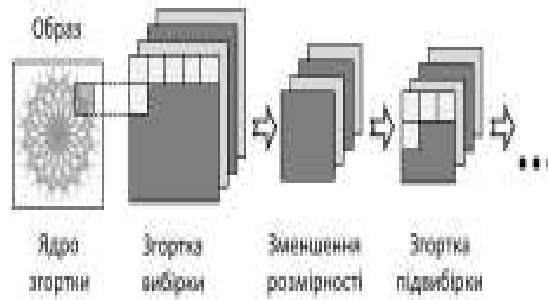


Рисунок 5 - Типова архітектура згорткової ШНМ

Основною перевагою застосування згорткових ШНМ у СРК є використання спільної ваги у згорткових шарах, що зменшує ресурсоемність і збільшує швидкодію системи. Важливо підкреслити, що згорткові ШНМ проводять тренування фільтрів по схемі «без вчителя», при цьому попередня обробка займає для даних мереж найменший час, у порівнянні з іншими ШНМ третього покоління, що суттєво зменшує собівартість підготовки СРК на базі загорткових ШНМ.

Висновки. Штучні нейронні мережі показали себе ефективним інструментом розпізнавання кібератак на мережеві ресурси інформаційних систем. Практика досліджень у цій галузі вказує на переваги застосування нейромереж третього покоління, зокрема глибинної мережі переконань та загорткової нейромережі. При розробці адекватної математичної моделі нейромережевих систем розпізнавання сигнатур кібератак важливо враховувати параметри ефективності, оперативності та ресурсоемності системи. Зазначені функції слід віднести до цільових функцій, що відображають пристосованість нейромережевої моделі розпізнавання до конкретного класу задач. За їх допомогою алгоритм обчислення оптимальних параметрів системи може бути зведений до математичної задачі пошуку максимумів функцій.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бурячок В.П. Завдання, форми та способи ведення воєн у кібернетичному просторі / В. Л. Бурячок, Г. М. Гулак, В.О. Хорошко // Наука і оборона . – 2011. – №3. – С. 35-43.
2. Гірницька Д.А. Визначення коефіцієнтів важливості для експертного оцінювання у галузі інформаційної безпеки / Д.А. Горницька, В.В. Волянська, А.О. Корченко // Захист інформації. – 2012. – Том 14, №1 (54). – С. 108-121.
3. Гнатюк С. Кібертероризм: історія розвитку, сучасні тенденції та контрзаходи. / С. Гнатюк // Безпека інформації. – 2013. – Том 9, №2. – С. 118 – 129.
4. Емельянова Ю.Г. Нейросетевая технология обнаружения сетевых атак на информационные ресурсы / Ю.Г. Емельянова, А.А. Талалаев, И.П. Тищенко,

В.П. Фраленко // Программные системы: теория и приложения. – 2011. – №3(7). – С. 3–15.

5. Терейковский И. Нейронні мережі в засобах захисту комп'ютерної інформації / І. Терейковський. – К. : ПоліграфКонсалтинг. – 2007. – 209 с.

6. Корченко А.А. Модель эвристических правил на логико-лингвистических связках для обнаружения аномалий в компьютерных системах / А.А. Корченко // Захист інформації – 2012. – № 4. – С. 109-115.

7. Терейковский И.А. Вдосконалення алгоритму навчання багатозарового персептронну призначеного для розпізнавання мережових атак / І.А. Терейковський // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні — 2012. — Випуск 2 (24). — С. 65-70.

8. Bezobrazov S., Golovko V. Neural Networks for Artificial Immune Systems: LVQ for Detectors Construction // IDAACS'2007: proceedings of the 4 IEEE International Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications. – Dortmund, 2010. – P. 180-184.

9. Y. Mo, T. Kim, K. Brancik, D. Dickinson, H. Lee, A. Perrig, and B. Sinopol, "Cyber-physical security of a smart grid infrastructure," Proceedings of the IEEE, vol. 100, no. 1, pp. 195-209, January 2012.

10. Q. Yang, J. Yang, W. Yu, D. An, N. Zhang, and W. Zhao, "On false data-injection attacks against power system state estimation: Modeling and countermeasures," IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, vol. 25, no. 3, pp. 717 - 729, March 2014.

11. L. L. an M. Esmalifalak, Q. Ding, V. Emesih, and Z. Han, "Detecting false data injection attacks on power grid by sparse optimization," IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 5, pp. 612 - 621, March 2014.

12. Y. Liu, L. Yan, J. Ren, and D. Su, "Research on efficient detection methods for false data injection in smart grid," in International Conference on Wireless Communication and Sensor Network (WCSN), Wuhan, China, December 2014, pp. 188 - 192.

13. Z. Hu, Y. Wang, X. Tian, X. Yang, D. Meng, and R. Fan, "False data injection attacks identification for smart grids," in Third International Conference on Technological Advances in Electrical, Electronics and Computer Engineering (TAECE), Beirut, Lebanon, April - May 2015, pp. 139 - 143.

14. H. Lee, R. Grosse, R. Ranganath, and A. Ng, "Unsupervised learning of hierarchical representations with convolutional deep belief networks," Communications of the ACM, vol. 54, no. 10, pp. 95 - 103, October 2011.

15. Y. Yan, X. Yin, S. Li, M. Yang, and H. Hao, "Learning document semantic representation with hybrid deep belief network," Computational Intelligence and Neuroscience, vol. 2015, pp. 1 - 9, 2015.

16. Y. Liu, P. Ning, and M. K. Reiter, "False data injection attacks against state estimation in electric power grids," ACM Transactions on Information and System Security, p. to appear, 2011.

Е.Н. Тачина

УСЛОВИЯ ОПТИМАЛЬНОСТИ ВЕТВЯЩЕЙСЯ ТРАЕКТОРИИ НОСИТЕЛЯ ПРИ РАЗМЕЩЕНИИ ДЕСАНТИРУЕМОГО ГРУЗА В ЗОНЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ

Аннотация. В работе предложена математическая постановка и решение задачи поиска условия оптимальности траектории движения носителя, а также оптимальных моментов времени и фазовых координат, в которые происходят отделение десантируемого груза

Ключевые слова: принцип минимума, оптимальное управление, математическая модель, оптимальные условия, сенсоры

Введение. В настоящее время проблемы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного и техногенного характера приобретают все более острый и актуальный характер.

Для этих целей в ряде случаев применяется пилотируемая авиация. Однако её использование не всегда эффективно из-за достаточно длительного времени реагирования, больших финансовых затрат, жёсткой зависимости от погодных условий и т.д.

Одним из направлений развития систем предназначенных для ликвидации последствий ЧС, а также для решения проблемы информационно-телекоммуникационного обеспечения поисково-спасательных работ есть применение технологии мобильной беспроводной мультисенсорной сети. (МБМСС), ситуационно разворачиваемой на оперативном ландшафте за минимальное время по так называемому ad-hoc запросу [3].

Актуальность применения мобильной беспроводной мультисенсорной сети. Наиболее перспективной для решения задач поиска и спасения разновидностью МБМСС можно считать беспроводную сенсорную сеть с мобильными сенсорами и аэроплатформами, которые выполняют функцию как носителя сенсоров, предназначенных для размещения в зоне бедствия, так и телекоммуникационного ретранслятора информации собранной от сенсоров (рис. 1).

МБМСС является многофункциональным информационным комплексом (МИК), который включает в себя:

- подсистему разведки, целеуказания и корректировки спасательных действий в зоне чрезвычайных ситуаций (ЧС), доставки грузов в заданные районы;
- подсистему ретрансляции, поиска пострадавших, потерпевших бедствие экипажей воздушных и морских судов, доставки грузов в заданные районы;
- подсистему радиотехнической радиолокационной, оптико-электронной воздушной разведки.

Предложенный МИК состоит из группы БПЛА, малогабаритных камер (сенсоров) и контейнеров для доставки этих камер в зону мониторинга. Группа БПЛА, используется, как летающая аэроплатформа на которой расположены, отстреливаемые контейнеры, внутри которых в свою очередь расположены несколько сенсоров для мониторинга местности в зоне ЧС (рис. 1.).

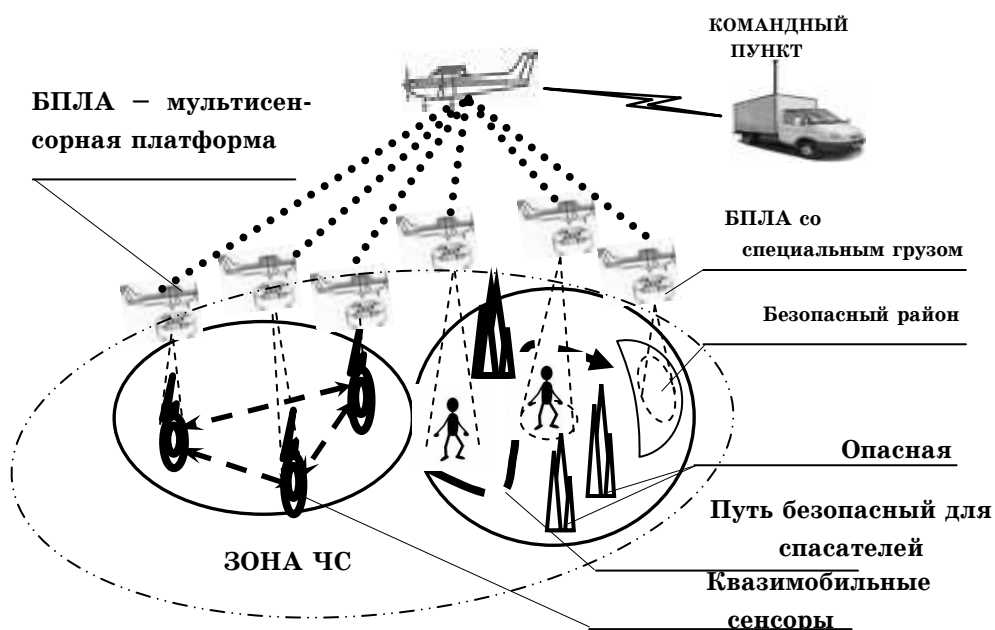


Рисунок 1 – Применение МИК на основе группового использования БПЛА для проведения поисково-спасательных работ в зоне чрезвычайной ситуации

Актуальность применения МИК, определяется в первую очередь тем, что они могут использоваться там, где жизнедеятельность человека либо затруднена, либо вообще невозможна, например, в зо-

нах радиоактивного или химического загрязнения, пожаров, наводнений, цунами, землетрясений.

Применение МИК на основе беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), позволит на малых (до 1 км) и средних (от 1 до 4 км) высотах при проведении спасательных работ в зоне чрезвычайной ситуации: осуществлять разведку и контроль местности и объектов; проводить видео-, фото- съемку; получать информацию об излучении радиоэлектронных средств; выполнять дозиметрический контроль; обеспечивать связь с мобильными абонентами для эффективного взаимодействия наземных поисково-спасательных служб; транспортировку и сброс по команде оператора малогабаритных грузов в заданную точку.

Исходя из выше сказанного, возможно сформулировать как минимум две содержательных задачи, требующих отыскания оптимальной траектории движения носителя с учетом того, что десантируемый груз тоже должен совершать оптимальное движение к своей цели:

1) задача размещения сенсоров (развертывания сенсорной сети) в заданном районе;

2) задача сброса груза спасателям и потерпевшим.

В первой задаче десантируемый груз (ДГ) – это мобильные или квазимобильные сенсоры, а во второй – это некоторая полезная нагрузка.

Постановка задачи. Движение носителя описывается дифференциальной системой вида [1-2]

$$\dot{x} = f(x, u, t), t \in [t_0, t_f], x \in E^n, u \in \Omega \subset E^m, \quad (1)$$

где x, u – векторы фазового состояния и управляющих воздействий, влияющих на движение носителя, t_0, t_f – моменты времени начала и конца движения носителя в заданном интервале.

Пусть на борту носителя находится k подгрупп ДГ (в общей сложности ДГ будет $\sum_{i=1}^k r_i$, т.е. в каждой подгруппе по r_i ДГ). От носителя в полете k раз произойдет отделение групп ДГ (рис. 2.). Носитель, начинает управляемое движение в пункте 0 и перемещается далее вдоль ветви 0-1 к пункту 1. Затем происходит отделение ДГ, которые, движутся от пункта 1 к пунктам 11 и 12.

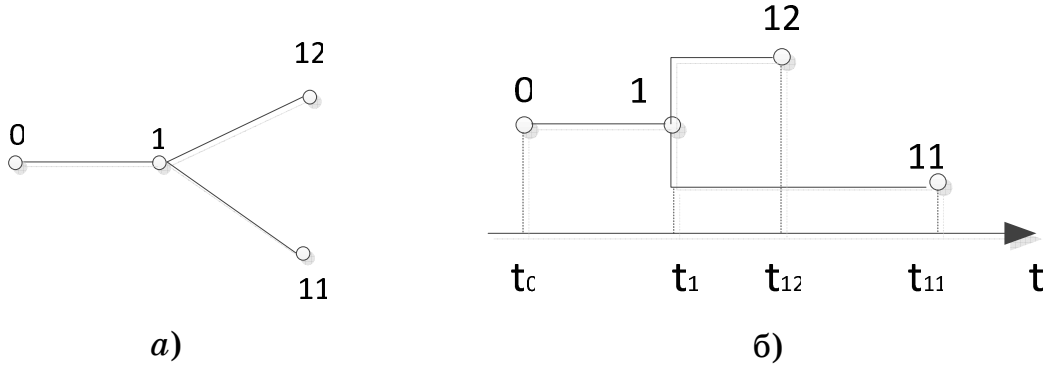


Рисунок 2 – Схема траектории движения носителя с отделяющимися группами ДГ

Движение носителя начинается с многообразия по схеме представленной на рис.2.

$$g_l^{(0)}(x_i(t_0), t_0) \begin{cases} = 0, l = \overline{1, k_g^{(0)}}; \\ \leq 0, l = \overline{k_g^{(0)} + 1, n_g^{(0)}}. \end{cases} \quad (2)$$

На многообразиях

$$g_l^{(i)}(x_i(t_i), t_i) \begin{cases} = 0, l = \overline{1, k_g^{(i)}}; \\ \leq 0, l = \overline{k_g^{(i)} + 1, n_g^{(i)}}, \end{cases} [t_{i-1} < t_i, i = \overline{1, k}] \quad (3)$$

происходит отделение по $r_i (i = \overline{1, k})$ подгрупп ДГ, которые перемещаются к многообразиям

$$g_l^{(ij)}(x_{ij}(t_{ij}), t_{ij}) \begin{cases} = 0, l = \overline{1, k_g^{(ij)}}; \\ \leq 0, l = \overline{k_g^{(ij)} + 1, n_g^{(ij)}}; \end{cases} (i = \overline{1, k}; j = \overline{1, r_i}), \quad (4)$$

на которых заканчивается их движение с целью доставки полезной нагрузки или получения информации с мультисенсоров.

Динамика движения подгрупп десантируемого груза описывается уравнениями вида [1-2]

$$\dot{x}_\beta = f_\beta(x_\beta, u_\beta, t), t \in [t_{\beta^*}, t_\beta], \quad (5)$$

где $x_\beta \in E^n, u_\beta \in E^{m_\beta} \in \Omega_\beta (\beta = 1, 11, 12)$,

$(\beta = 1, \beta^* = 0; \beta = 11, 12, \beta^* = 1), t_0 < t_1 < t_{12} < t_{11}$.

На которые накладываются ограничения

$$Q_l^{(1)}(x_1(t), u_1(t), t) \begin{cases} = 0, l = \overline{1, K_Q^{(1)}}; \\ \leq 0, l = \overline{K_Q^{(1)} + 1, N_Q^{(1)}}; \end{cases} \quad (6)$$

$$Q_l^{(11,12)}(x_{11,12}(t), u_{11,12}(t), t) \begin{cases} = 0, l = \overline{1, K_Q^{(11,12)}}; \\ \leq 0, l = \overline{K_Q^{(11,12)} + 1, N_Q^{(11,12)}}; \end{cases} \quad (7)$$

$$Q_l^{(11)}(x_{11}(t), u_{11}(t), t) \begin{cases} = 0, l = \overline{1, K_Q^{(11)}}; \\ \leq 0, l = \overline{K_Q^{(11)} + 1, N_Q^{(11)}}; \end{cases} \quad (8)$$

В моменты отделения подгрупп ДГ должны быть выполнены условия

$$x_i(t_i) - x_{ij}(t_i) = 0 \quad (i = \overline{1, k}; j = \overline{1, r_i}), \quad x_i(t_i) - x_{i+1}(t_i) = 0 \quad (i = \overline{1, k-1}) \quad (9)$$

для всех фазовых координат, кроме координаты, описывающей изменение массы носителя, для которой (пусть это будет n -я координата) выполнено условие

$$x_{i_n}(t_i) = \xi(i)x_{i+1_n}(t_i) + \sum_{j=1}^{r_i} x_{ij_n}(t_i), \quad i = \overline{1, k}; j = \overline{1, r_i}, \quad \xi(i) = \begin{cases} 1, i = \overline{1, k-1}, \\ 0, i = k. \end{cases} \quad (10)$$

Управление $u_\beta(t)$, фазовые координаты $x_1(t_0)$, $x_\beta(t_\beta)$, моменты времени t_0, t_β ($\beta = i, ij; i = \overline{1, k}; j = \overline{1, r_i}$) необходимо выбрать так, чтобы минимизировать критерий [2]

$$I = S(x_1(t_0), t_0; x_1(t_1), t_1; x_{11}(t_{12}), x_{12}(t_{12}), t_{12}; x_{11}(t_{11}), t_{11}) + I_1 + I_{11} + I_{12} \rightarrow \min \quad (11)$$

$$x_{11}(t_{11}), t_{11} \begin{cases} = 0, l = \overline{1, K_G}; \\ \leq 0, l = \overline{K_G + 1, N_G}; \end{cases}$$

$$\begin{aligned} {}_1x_\tau(t_1) - {}_{11}x_\tau(t_1) &= 0, \quad {}_1x_\tau(t_1) - {}_{12}x_\tau(t_1) = 0 \quad (\tau = \overline{1, n-1}), \\ {}_1x_n(t_1) - {}_{11}x_n(t_1) - {}_{12}x_n(t_1) &= 0. \end{aligned}$$

Таким образом, задача (1)-(5) оптимизации траектории носителя состоит в поиске оптимальных управлений и траекторий движения носителя и отделяющихся подгрупп ДГ по участкам ветвящейся траектории, минимизирующих критерий (11), а также в отыскании оптимальных моментов времени и фазовых координат, в которых происходят отделение подгрупп ДГ.

Решение указанной задачи предполагается выполнить в три этапа:

1. Исходя из физических соображений функционирования МИК, вычерчиваться схема ветвящейся траектории, составляются уравнения движения носителя и подгрупп ДГ вдоль ветвей траекто-

рии, записываются ограничения, действующие непрерывно и в граничных точках, формулируется критерий.

2. Устанавливается хронологическая последовательность моментов времени отделения подгрупп ДГ.

3. На основании принципа минимума для составных динамических систем [2] вводятся расширенные векторы состояния и управления, состоящие соответственно из векторов состояния и управления подгрупп ДГ, перемещающихся по ветвям траектории в данном интервале времени и удовлетворяющие условиям оптимальности управления задачи (1-4), для построения оптимальной траектории движения носителя.

В результате применения указанной методики приходим к следующей постановке задачи оптимизации разрывной системы [1] с переменным размером векторов состояния и управления.

Составим расширенный критерий

$$\zeta = S^* + D + I_1^* + I_{11,12}^* + I_{12}^*, \quad (12)$$

где

$$S^* = v_0 S(\cdot) + \sum_{l=1}^{N_G} G_l(\cdot), \quad (13)$$

$$D = \sum_{i=1}^2 \sum_{\tau=1}^{n-1} \alpha^{(1i)} [{}_1 x_\tau(t_1) - {}_{11} x_\tau(t_1)] + \alpha_n [{}_1 x_n(t_1) - {}_{11} x_n(t_1) - {}_{12} x_n(t_1)], \quad (14)$$

$$I_1^* = \int_{t_1}^{t_{12}} [H_{11,12}^*(x_{11,12}(t), u_{11,12}(t), \lambda_{11,12}(t), \mu_{11,12}(t)t) - \lambda_{11,12}^T(t) \dot{x}_{11,12}(t)] dt, \quad (15)$$

$$I_{11,12}^* = \int_{t_1}^{t_{12}} [H_{11,12}^*(x_{11,12}(t), u_{11,12}(t), \lambda_{11,12}(t), \mu_{11,12}(t)t) - \lambda_{11,12}^T(t) \dot{x}_{11,12}(t)] dt, \quad (16)$$

$$I_{11}^* = \int_{t_{12}}^{t_{11}} [H_{11}^*(x_{11}(t), u_{11}(t), \lambda_{11}(t), \mu_{11}(t)t) - \lambda_{11}^T(t) \dot{x}_{11}(t)] dt, \quad (17)$$

$$H_1^*(\cdot) = H_1(x_1(t), u_1(t), \lambda_1(t), t) + \mu^{(1)}(t)^T Q^{(1)}(x(t), u_1(t), t), \quad (18)$$

$$H_{11,12}^*(\cdot) = \sum_{i=1}^2 H_{1i}(x_{1i}(t), u_{1i}(t), \lambda_{1i}(t), t) + \mu^{(11,12)}(t)^T Q^{(11,12)}(x_{11,12}(t), u_{11,12}(t), t), \quad (19)$$

$$H_{11}^*(\cdot) = H_{11}(x_{11}(t), u_{11}(t), \lambda_{11}(t), t) + \mu^{(11)}(t)^T Q^{(11)}(x_{11}(t), u_{11}(t), t), \quad (20)$$

$$H_\beta(\cdot) = v_0 \Phi_\beta(x_\beta(t), u_\beta(t) + \lambda_\beta^T(t) f(x_\beta(t), u_\beta(t), t) \quad (\beta = 1, 11, 12), \quad (21)$$

$$\mu^{(\beta)}(t) = \text{col}[\mu_1^{(\beta)}(t), \dots, \mu^{(\beta)}(t)],$$

$$Q^{(\beta)}(\cdot) = \text{col}[Q_1^{(\beta)}(\cdot), \dots, Q^{(\beta)}(\cdot)] \quad (\beta = 1; 11, 12; 11),$$

$$\lambda_{11,12}(t) = \text{col}[\lambda_{11}(t), \lambda_{12}(t)].$$

Используя введенные в выражениях (12)-(21) обозначения, сформулируем следующие условия оптимальности управления и траекторий движения носителя и отделяющихся подгрупп ДГ по участкам ветвящейся траектории.

Пусть $(x_1(t), x_{11}(t), x_{12}(t), u_1(t), u_{11}(t), u_{12}(t), t_0, t_1, t_{12}, t_{11})$ — допустимые состояния и управления, состоящие соответственно из векторов состояния и управления носителя и подгрупп ДГ, перемещающихся по ветвям траектории в данном интервале времени и удовлетворяющие условиям оптимальности управления задачи (6)-(9), (11).

Тогда для их оптимальности необходимо существование таких векторных множителей $\nu = \text{col}(\nu_0, \nu_1, \dots, \nu_{N_G})$, $\mu^{(1)}(t), t \in [t_0, t_1], \mu^{(11,12)}(t), t \in [t_1, t_{12}], \mu^{(11)}(t), t \in [t_{12}, t_{11}]$ не равных одновременно нулю и непрерывных решений $\lambda_1(t), t \in [t_0, t_1], \lambda_{11}(t), \lambda_{12}(t), t \in [t_1, t_{12}], \lambda_{11}(t), t \in [t_{12}, t_{11}]$ сопряженных векторных уравнений

$$\begin{aligned} \dot{\lambda}_1 + \frac{\partial H_1^*}{\partial x_1} \Big|_{\wedge} &= 0, t \in [\hat{t}_0, \hat{t}_1], \\ \dot{\lambda}_{11} + \frac{\partial H_{11,12}^*}{\partial x_{11}} \Big|_{\wedge} &= 0, \quad \dot{\lambda}_{12} + \frac{\partial H_{11,12}^*}{\partial x_{12}} \Big|_{\wedge} = 0, t \in [\hat{t}_1, \hat{t}_{12}], \\ \dot{\lambda}_{11} + \frac{\partial H_{11}^*}{\partial x_{11}} \Big|_{\wedge} &= 0, \quad t \in [\hat{t}_{12}, \hat{t}_{11}], \end{aligned}$$

которые удовлетворяют следующим условиям [2]:

(1⁰) неотрицательности и дополняющей нежесткости $\nu_0 > 0$,

$$\nu_l = \begin{cases} \geq 0, G_l(x_1(t_0), t_0; \dots; x_{11}(t_{11}), t_{11}) \Big|_{\wedge} = 0, l = \overline{1, K_G}; \\ \geq 0, G_l(x_1(t_0), t_0; \dots; x_{11}(t_{11}), t_{11}) \Big|_{\wedge} = 0, l = \overline{K_G + 1, N_G}; \\ = 0, G_l(x_1(t_0), t_0; \dots; x_{11}(t_{11}), t_{11}) \Big|_{\wedge} < 0, l = \overline{K_G + 1, N_G}, \end{cases}$$

$$\mu_l^{(\beta)}(t) = \begin{cases} \geq 0, Q_l^{(\beta)}(x_\beta(t), u_\beta(t), t) \Big|_{\wedge} = 0, l = \overline{1, K_G}; \\ \geq 0, Q_l^{(\beta)}(x_\beta(t_0), t_0; \dots; x_{11}(t_{11}), t_{11}) \Big|_{\wedge} = 0, l = \overline{K_G + 1, N_G}; \\ = 0, Q_l^{(\beta)}(X_1(t), U_i(t), t) < 0, j = \overline{K_{Qi} + 1, N_{Qi}}, \end{cases}$$

$$\mu_l^{(\beta)}(t) \begin{cases} \geq 0, & Q_l^{(\beta)}(x_\beta(t), (u_\beta(t), t)|_\wedge = 0, l = \overline{1, K_G^{(\beta)}}; \\ \geq 0, & Q_l^{(\beta)}(x_\beta(t), (u_\beta(t), t)|_\wedge = 0, l = \overline{K_G^{(\beta)} + 1, N_G^{(\beta)}}; \\ = 0, & Q_l^{(\beta)}(x_\beta(t), (u_\beta(t), t)|_\wedge < 0, l = \overline{K_G^{(\beta)} + 1, N_G^{(\beta)}} \end{cases}$$

$$(\beta = 1; 11, 12; 11),$$

(2⁰) трансверсальности для сопряженных функций и гамильтонианов

$$\begin{aligned} \frac{\partial S^*}{\partial x_1(t_0)} \Big|_\wedge - (-1)_1^\gamma \lambda(\hat{t}_0^l) = 0, \quad \frac{\partial S^*}{\partial t_0} \Big|_\wedge + (-1) H_1^* \Big|_\wedge = 0, \\ \frac{\partial S^*}{\partial x_{1i}(t_{1i})} \Big|_\wedge + (-1)_1 \lambda_i(\hat{t}_{1i}) = 0, \quad (i = 1, 2), \quad \frac{\partial S^*}{\partial t_{11}} \Big|_\wedge - (-1) H_{11}^* \Big|_\wedge = 0; \end{aligned}$$

(3⁰) скачка для сопряженных функций и гамильтонианов

$$\begin{aligned} \frac{\partial S^*}{\partial x_1(t_1)} \Big|_\wedge + (-1)[\lambda_1(\hat{t}_1) - \lambda_{11}(\hat{t}_1) - \lambda_{12}(\hat{t}_1)] = 0, \\ \frac{\partial S^*}{\partial t_1} \Big|_\wedge - (-1)(H_1^* \Big|_\wedge - H_{11,12}^* \Big|_\wedge) = 0; \\ \frac{\partial S^*}{\partial x_{11}(t_{12})} \Big|_\wedge + (-1)[\lambda_{11}(\hat{t}_{12}) + (-1)\varepsilon] - \lambda_{11}(\hat{t}_{12} - (-1)^\lambda \varepsilon) = 0, \\ \frac{\partial S^*}{\partial t_{12}} \Big|_\wedge - (-1)(H_{11,12}^* \Big|_\wedge - H_{11}^* \Big|_\wedge) = 0; \end{aligned}$$

(4⁰) минимума расширенных гамильтонианов

$$H_\beta^{(*)}(\hat{x}_\beta(t), \hat{u}_\beta(t), \lambda_\beta(t), t) = \min_{\substack{u_\beta(t) \in \Omega_\beta, \\ t \in [t', t'']}} H_\beta^{(*)}(\hat{x}_\beta(t), \hat{u}_\beta(t), \lambda_\beta(t), t)$$

$$(\beta = 1, t' = t_0, t'' = t; \beta = 11, 12, t' = t_1, t'' = t_1; \quad \beta = 11, t' = t_{12}, t'' = t_{11})$$

Выводы. Таким образом, в данной статье предложена математическая постановка и решение задачи поиска условия оптимальности траектории движения носителя, а также оптимальных моментов времени и фазовых координат, в которые происходят отделение десантируемого груза. Изложены необходимые условия траектории движения носителя с учетом того, что десантируемый груз тоже должен совершать оптимальное движение к своей цели.

Предложенный подход к построению оптимальной траектории обладает той особенностью, что только приведение задачи оптимизации ветвящейся траектории носителя к оптимизации траектории раз-

рывной системы с переменным размером вектора состояния и управления позволяет выполнять оптимизацию траектории носителя с произвольной схемой ветвлений. В противном случае каждая новая схема ветвлений траектории носителя требует выполнения всей процедуры доказательств, учитывающих особенности траектории.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ащепков Л.Т. Оптимальное управление разрывными системами / Л.Т. Ащепков. – Новосибирск: Наука, 1987. – 226 с.
2. Лисенко О. І. Постановка задачі застосування теорії розгалужених траєкторій для вирішення задач пошуку та рятування в зоні надзвичайних ситуацій / О. І. Лисенко, О.М. Тачиніна, С. М. Чумаченко // Технічна механіка: Міжвідомчий збірник наукових праць. – Дніпропетровськ, 2015. – Випуск 1. – С.73-78.
3. Лисенко О. І. Функціональна модель системи управління безпроводовою сенсорною мережею із самоорганізацією для моніторингу параметрів навколишнього середовища / О. І. Лисенко, К.С. Козелкова, В.І. Новіков [та ін.] // Системи обробки інформації : збірник наукових праць. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2015. – Випуск 10 (135). – С. 222-226.

А.А. Стенин, В.П. Пасько, В.А. Лемешко

ИНФОРМАЦИОННО-ЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ РАЗРАБОТКИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ

Аннотация: В данной статье предложена информационно-логическая модель процесса управления разработкой инновационных программных продуктов. Суть предлагаемого подхода заключается в том, что их разработка интерпретируется, как информационный объект, который содержательно и структурно меняется в процессе его создания.

Ключевые слова: процесс разработки программных продуктов, информационно-логическая модель управления, управляющее воздействие, состояние процесса.

Введение. Сегодня в принятии решений задействуется «поле знаний», неопределённое не только по объёму, но и по размерности. В процессе выработки решения учитываются динамично изменяющиеся экономические, технологические, организационные, природные и др. аспекты. Источниками информации могут служить знания опытных специалистов, литература, нормативные материалы научных и проектных организаций, Интернет-ресурсы [1,2,3].

Анализ моделей процесса разработки инновационных программных продуктов. Информационная структура процесса управления созданием инновационных программных продуктов (ИПП) должна предусматривать возможность пополнения системы управления новыми знаниями. Каждое наблюдение может добавлять и новое знание о программном продукте, непредусмотренное регламентом, но, в перспективе, повышающее эффективность управления. Несмотря на высокую степень неопределённости в процессе создания программного продукта, обусловленное наличием человеческого фактора, сам процесс создания программного продукта является вполне детерминированным и состоит из ряда этапов, которые могут быть построены по разным схемам. Рассмотрим наиболее известные модели разработки ИПП [4,5].

Каскадная модель. Первой моделью, получившей широкую известность и действительно структурирующей процесс разработки, является каскадная или водопадная (рис.1) [6,8]. Разделяет процесс создания программного продукта на последовательные этапы (следует отметить, что она уже применялась тогда различными разработчиками, однако ни количество, ни содержание этапов не унифицировалось).

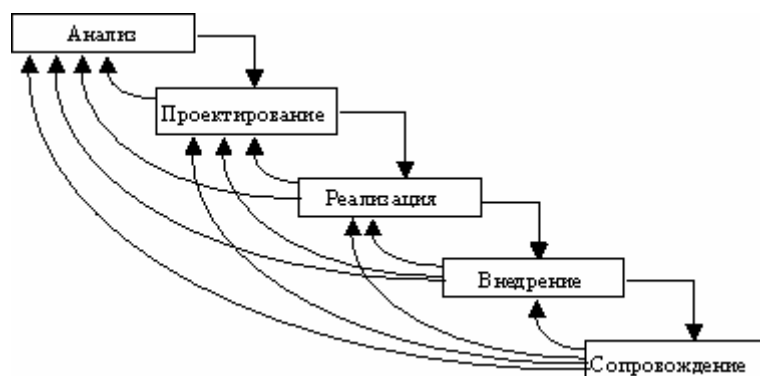


Рисунок 1 - Каскадная модель

Однако практическое использование данной модели выявило множество ее недостатков, главный из которых в том, что она больше подходит для традиционных видов инженерной деятельности, чем для разработки ПО. В частности, одной из самых больших проблем оказалась ее «предрасположенность» к возможным несоответствиям полученного в результате продукта и требований, которые к нему предъявлялись. Основная причина этого заключается в том, что полностью сформированный продукт появляется лишь на поздних этапах разработки, но так как работу на разных этапах обычно выполняли различные специалисты и проект передавался от одной группы к другой, то по принципу испорченного телефона оказывалось так, что на выходе получалось не совсем то, что предполагалось вначале.

V-образная модель. Была предложена именно для того, чтобы устранить недостатки каскадной модели, а название – V-образная, или шарнирная – появилось из-за ее специфического графического представления (рис. 2)[7,10].



Рисунок 2 - V-образная модель

V-образная модель дала возможность значительно повысить качество ПО за счет своей ориентации на тестирование, а также во многом разрешила проблему соответствия созданного продукта выдвигаемым требованиям благодаря процедурам верификации и аттестации на ранних стадиях разработки (пунктирные линии на рисунке указывают на зависимость этапов планирования/постановки задачи и тестирования/приемки[7]).

Однако в целом V-образная модель является всего лишь модификацией каскадной и обладает многими ее недостатками. В частности, и та и другая слабо приспособлены к возможным изменениям требований заказчика. Если процесс разработки занимает продолжительное время (иногда до нескольких лет), то полученный в результате продукт может оказаться фактически ненужным заказчику, поскольку его потребности существенно изменились.

Важен также вопрос планирования показателей ожидаемой функциональности, поскольку в этих моделях он является не более чем допущением: в частности, определить, какую скорость обработки данных обеспечит создаваемый продукт либо сколько он будет занимать памяти, на этапе постановки задачи практически невозможно. Если подобные требования четко зафиксированы, то вполне вероятно, что полученное решение не будет им удовлетворять, хотя известно это станет только на завершающих этапах разработки, когда основные ресурсы уже израсходованы.

Спиральная модель. Предложенная Барри Бозмом в 1988г., стала существенным прорывом в понимании природы разработки ПО, хо-

тя, по большому счету, является объединением двух моделей: каскадной и на основе создания прототипов (рис. 3) [2,6,8].

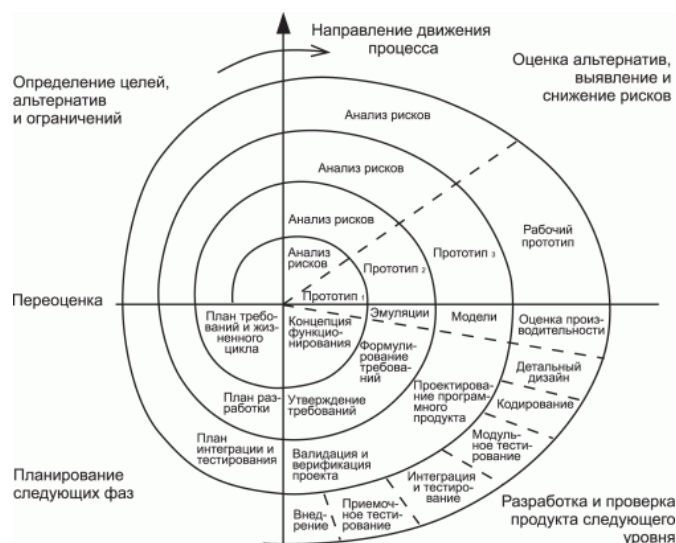


Рисунок 3 - Спиральная модель Боэма

Спиральная модель Боэма сфокусирована на проектировании. Фактически, разработка ПО происходит лишь на последнем витке спирали по обычной каскадной модели, однако этому предшествует несколько итераций проектирования на основе создания прототипов – при этом каждая итерация включает стадию выявления и анализа рисков и наиболее сложных задач.

Поскольку спиральная модель в основном охватывает именно проектирование, то в первоначальном виде она не получила широкого распространения в качестве метода управления всем жизненным циклом создания ПО. Однако главная ее идея, заключающаяся в том, что процесс работы над проектом может состоять из циклов, проходящих одни и те же этапы, послужила исходным пунктом для разработки предлагаемой ниже информационно-логической модели управления процессом разработки ИПП.

Информационно-логическая модель управления. Суть предлагаемого подхода заключается в том, что процесс разработки ИПП интерпретируется, как информационный объект, который содержательно и структурно меняется в процессе его создания. Следовательно, процесс разработки ИПП может быть описан упорядоченной последовательностью состояний разрабатываемого ИПП, последнее из которых представляет готовый программный продукт, т.е.

$$S_0 \rightarrow S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow \dots \rightarrow S_i \rightarrow \dots \rightarrow S_n. \quad (1)$$

При этом каждое состояние S_i характеризуется некоторой совокупностью параметров $m_i^1, m_i^2, \dots, m_i^m$, где $i = \overline{1, n}$. При этом, каждое состояние S_i характеризует степень завершённости разработки ИПП.

Будем, в дальнейшем полагать, что каждому промежуточному состоянию S_i соответствуют две интегральные оценки P_i и Q_i , которые исчерпывающе характеризуют степень завершённости ИПП с количественной и качественной сторон. Очевидно, что функции P и Q на упорядоченном множестве состояний S_i ($i = \overline{1, n}$) должны иметь возрастающий характер. Для полноты описания процесса разработки ИПП будем предполагать, что интегральные оценки P и Q независимы друг от друга.

Далее, процесс разработки ИПП разбиваем на отдельные подпроцессы (шаги разработки), соответствующие принятым согласно (1) этапам разработки. Обозначим приращение интегральных характеристик, достигнутое на i -м этапе через ΔP_i и ΔQ_i .

Процесс управления разработкой ИПП состоит в том, что на каждом шаге задаётся управляющее её воздействие $u(i)$, которое определяет значения ΔP_i и ΔQ_i и переводит степень разработки ИПП из состояния (P_{i-1}, Q_{i-1}) в состояние (P_i, Q_i) . Управление $u(i)$ можно рассматривать как выбор одного из альтернативно возможных способов обеспечения инновационности программного продукту. При этом перевод в новое состояние реализуется выполнением определённого множества процедур.

Естественно, что на каждом шаге i на управляющее воздействие $u(i)$ налагается ряд ограничений естественного и искусственного характера. Иначе, $u(i)$ может принимать значения из некоторого множества возможных управляющих воздействий, т.е.

$$u(i) \in V(i). \quad (2)$$

Будем считать, что для $i = 0$ $P_0 = Q_0 = 0$.

Значения интегральных характеристик на последующих шагах определим формулами:

$$\begin{cases} P_i = \varphi(u(k), P_{i-1}); \\ Q_i = \gamma(u(k), Q_{i-1}); \\ [(P)_i, (Q)_i] = f(u(i), [(P)_{i-1}, (Q)_{i-1}]); i = \overline{1, n}. \end{cases} \quad (3)$$

Под (P_i, Q_i) будем понимать множество всех состояний процесса разработки ИПП, в которое его можно перевести из начального состояния за i шагов, пользуясь управляющим воздействием $u(k) \in V(k)$, $k = \overline{1, i}$.

Такое множество назовём множеством достижимости (P_i, Q_i) , которое определяется с помощью рекуррентных соотношений (4) вида

$$\begin{cases} \mathbb{K}(P)_k, Q_k = F[u(k), \mathbb{K}(P)_{k-1}, Q_{k-1}] \\ u(k) \in V(k), k = \overline{1, i}, i = \overline{1, n} \end{cases} \quad (4)$$

В задании на разработку ИПП обязательно указываются требования, которым должен удовлетворять ИПП после окончания её разработки. Исходя из этого можно определить показатели P_n и Q_n , характеризующие конечное состояние разработки, которое должно принадлежать некоторой области допустимых значений (P_n^*, Q_n^*) , т.е.

$$(\mathbb{K}(P)_n, Q_n) \in (P_n^*, Q_n^*). \quad (5)$$

Таким образом, процесс разработки ИПП с управляющими воздействиями $V(u(i))$, будет допустимым, если $u(i)$ переведут ИПП из начального состояния в конечное, которое будет удовлетворять условию (5).

Исходя из этого, для успешного достижения цели – разработки ИПП необходимо выполнение условия

$$(\mathbb{K}(P)_n, Q_n) \in (P_n^*, Q_n^*), \quad (6)$$

Условие (6) означает, что множество всех состояний разработки ИПП должно находиться во множестве допустимых состояний ИПП в соответствии с предъявленными требованиями. В противном случае, при изменившемся инновационном прогнозе необходимо либо изменить техническое задание на разработку, изменив тем самым $\mathbb{K}(P)_{i-1}, i = \overline{1, n}$, либо расширить область возможных управляющих воздействий $u(i), i = \overline{1, n}$.

Пусть в результате выполнения $(i-1)$ шагов процесс разработки ИПП перешёл в состояние $\mathbb{K}(P)_{i-1}, Q_{i-1}$. Тогда множество допустимых управляющих воздействий на i -м шаге определится следующим образом:

$$\begin{cases} V(i) = \{u(i): (P_i, Q_i) = f[u(i), \mathbb{K}(P)_{i-1}, Q_{i-1}]\} \\ (P_i, Q_i) \in \mathbb{K}(P)_i, Q_i, i = \overline{1, n} \end{cases} \quad (7)$$

В результате процесс управления разработкой ИПП в окончательном виде можно записать как:

$$u(i) \in V(i) \cap V^*(i), i = \overline{1, n} \quad (8)$$

Условие (8) означает, что с точки зрения возникших инноваций при разработке ИПП возможно изменение управляющих воздействий в допустимых значениях в соответствии с изменениями текущих и ко-

нечных требований. Условию (8) на каждом шаге может удовлетворять несколько управляющих воздействий.

Выводы. Процесс разработки ИПП является многоальтернативным, т.е. возникает проблема многокритериальности, которая, как правило, требует привлечения интеллектуальных систем поддержки принятия решений (ИСППР). Это обусловлено тем, что, во-первых, наличие человеческого фактора в процессе разработки ИПП вносит большую долю неопределённости, и, во-вторых необходимо посмотреть весь спектр допустимых решений в области использования ИПП, что требует разработки автоматизированных методов извлечения знаний данной предметной области из различных источников информации, в том числе и из Интернет ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Липаев В.В. и др. Технология проектирования комплексов программ АСУ. — М.: Радио и связь, 1983. — 235 с.
2. Бозм Б.У. Инженерное проектирование программного обеспечения. — М.: Радио и связь, 1985. — 512 с.
3. Вендров А.М. CASE -технологии. Современные методы и средства проектирования информационных систем. — М.: Финансы и статистика, 2000.- 352 с.
4. Winston W. Royce Managing the Development of Large Software Systems Proc. IEEE WESKON, 1970, №6. —pp. 1-9.
5. Орлов С.А. Технологии разработки программного обеспечения. — СПб.: Питер. -2002. — 464 с.
6. Richard W. Selby. Software Engineering: Barry W. Boehm's LifetimeContributions to Software Development, Management, and Research. — John Wiley & Sons, 2007. - 834 с.
7. Дастин Э., Рэшка Д., Пол Д. Автоматизированное тестирование программного обеспечения. — М.: Лори. -2003. — 590 с.
8. Соловьев Н. А., Чернопрудова Е. Н. Системы автоматизации разработки программного обеспечения. — Оренбург. — ООО ИПК «Университет». — 2012. — 230 с.

ESTIMATION OF CONFORMITY OF MODEL AND THE ORIGINAL

The comparative analysis is lead and recommendations on using of various nonparametric criteria with reference to a problem of checking uniformity of two samples as versions of a problem of estimation of conformity of mathematical model and the original are resulted.

Keywords: modeling, comparing, nonparametric criteria, estimation, conformity

Introduction. Conformity (the term adequacy is sometimes used) - the main property of mathematical model. The level of conformity is formed at creation of model and supported at use of model. In both cases it is necessary to estimate the level of conformity.

The problem of an estimation of conformity of mathematical model and the original can be considered [1] as a version of a known problem [2-5] about checking of uniformity of two samples, formed by target variables of mathematical model and the original. This problem usually in mathematical statistics [2-5] is formulated in a following kind. Let elements of two samples $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$ and $\xi_1', \xi_2', \dots, \xi_m'$ (which are realizations of target variables of model y_m and the original y_o) are mutually independent and submit to continuous distributions. The basic checking hypothesis H_o , consists in the assumption, that both samples are taken from the same sets and, so means that functions of distribution of random variables ξ and ξ' are identical. This hypothesis can be expressed identity

$$H_o : MF_n(x) \equiv MG_m(x), \quad (1)$$

where $F_n(x)$ и $G_m(x)$ - functions of the empirical distributions constructed on $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$ and $\xi_1', \xi_2', \dots, \xi_m'$ samples. Possible(Probable) competing hypotheses can be written down in the form of inequalities:

$$H_1^+ : \sup M(G_m(x) - F_n(x)) > 0, \quad (2)$$

$$H_1^- : \inf M(G_m(x) - F_n(x)) < 0, \quad (3)$$

$$H_1 : \sup (M(G_m(x) - F_n(x))) > 0 \quad (4)$$

Considering, that in real conditions of modeling it is often inconvenient to receive the necessary information on laws of distribution of the random variables forming samples, we use for this purpose non-parametric criteria. In this case various criteria which are subdivided on two groups can be applied.

The first group includes the criteria based on differences of functions of empirical and theoretical distributions (criteria Smirnov, Kolmogorov, analogue of criterion ω_2). Thus, "simplicity" is usually reached (achieved) due to some decrease (reduction) in capacity (power) of criteria in comparison with capacity (power) of criteria of the first group.

Material and methods. Let's compare the specified criteria for a typical applied problem (task) of an estimation of conformity of mathematical model and the original in metallurgy which prominent feature is the limited volume of sample (small samples) that is caused by difficulty, and sometimes and practical impossibility, gathering of great volumes of the information.

Check of the basic hypothesis (1). At unilateral competing hypotheses (2), (3) it is recommended [2-4] to spend by means of рангового criterion Wilcoxon which though is not in regular intervals the most powerful criterion, is not displaced, well effective and simple at the practical use. For example [2], асимптотическая efficiency of criterion Wilcoxon in relation to t-criterion Student "always ≥ 0.864 , But can exceed 1 and even to be infinite".

Unilateral competing hypotheses (alternative) of a kind (2), (3), consisting that the target variable of model stochastically is less (2) or more (3) target variables of the original have private (individual) character. More the general (common) is bilateral alternative (4) or most the general (common) variant of alternative in the form of a condition $F(x) \neq G(x)$ (here $F(x)$ and $G(x)$ functions of corresponding (meeting) theoretical distributions). Often to a considered (an examined) problem (task) in the general (common) statement criterion Smirnov [5] which statistics is set by expression is applied:

$$D_{m,n} = \max_{|x| < \infty} |G_m(x) - F_n(x)|. \quad (5)$$

Practically values of statistics (5) are recommended [5] to be calculated by means of formulas:

$$D_{m,n}^+ = \max_{1 \leq r \leq m} \left(\frac{r}{m} - F_n(\eta_r^\circ) \right) = \max_{1 \leq s \leq n} \left(G_m(\eta_s) - \frac{s-1}{n} \right), \quad (6)$$

$$D_{m,n}^- = \max_{1 \leq r \leq m} \left(F_n(\eta_r^\circ) - \frac{r-1}{m} \right) = \max_{1 \leq s \leq n} \left(\frac{s}{n} - G(\eta_s) \right), \quad (7)$$

$$D_{m,n} = \max(D_{m,n}^+, D_{m,n}^-). \quad (8)$$

To check of the basic hypothesis (1) at alternative (4) it is often applied [2-5] bilateral criterion Wilcoxon which concerns to group serial (ранговых) статистик. The basic hypothesis H_0 it is possible to express identity:

$$H_0: \quad P\{\xi \langle x \rangle \equiv P\{\xi' \langle x \rangle \} \quad (|x| < \infty) \quad (9)$$

The statistics of criterion Wilcoxon is set by the formula:

$$W = r_1 + r_2 + \dots + r_m, \quad (10)$$

where r_i - ranks (serial numbers) of elements of smaller sample on volume in the general(common) variational number(line).

For example, it was examined [5] application of criteria Smirnov and Wilcoxon for one typical task of checking up conformity of mathematical model and original for data at a significance value of 5 %.

Application of both criteria leads to identical results in identical conditions of estimation conformity of mathematical model and original. Both of criteria allow to allocate area of modeling (value of entrance variables at which is available conformity of mathematical model and original).

Though application of criterion Smirnov assumes performance of a significant amount of calculations (cycles by quantity of elements in samples) and the choice of greatest of the calculated sizes, it cannot be recognized by essential lack (except for cases when calculations are carried out "manually" without application of the corresponding computer programs). More essential lack is that for "small" samples some variants of data sets cannot be subjected to check by means of criterion Smirnov. In particular, it concerns to all cases (for all significance values) when one of samples contains only one value of a target variable and besides

variants when in one sample two values, and in another - two, three or four values.

Criterion Wilcoxon provides an opportunity of the analysis small samples, including (unlike criterion Smirnov) and at one value in one of samples (the minimum quantity of values is equal the second sample 9 at a significance value of 10 %). Considering, that criterion Wilcoxon possesses, besides with sufficient power and efficiency [2-5], allows to allocate area of modeling, criterion Wilcoxon is recommended to be used as the core at estimation conformity of mathematical model and original.

More difficult is task to estimate adequateness of model when the quantity of information is too small, for example, as it may be for the metallurgical processes. In this case it is necessary to use other criteria, which is based on small samples as for model so for original. The criteria may be built in such way. For bigger sample (indifferently model or origin) calculate statistical characteristics (11) and (12), then determine the value of criteria (13):

$$\bar{\xi} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \xi_i, \quad (11)$$

$$(S^*)^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\xi_i - \bar{\xi})^2 \quad (12)$$

$$\zeta(\bar{\xi}, S^*) = \max |(\xi'_r - \bar{\xi}) / S^*|, \quad r = \overline{1, m}. \quad (13)$$

where n – volume of bigger sample, ξ'_r – testing variety.

It shows what is the difference between testing variety and average value for biggest sample (for original or model) on a relation to mean quadratic deviation for this sample. According to rule of criteria main hypothesis (about the conformity of testing variety) is true if it is true such condition (14)

$$\zeta(\bar{\xi}, S^*) < \zeta(n, Q). \quad (14)$$

Practical using of criteria may be more simple if take its limit values (15), (16)

$$\xi_{max} = \bar{\xi} + \zeta(n, Q) \cdot S^*, \quad (15)$$

$$\xi_{min} = \bar{\xi} - \zeta(n, Q) \cdot S^*. \quad (16)$$

If testing variety is placed between limit values (15), (16) so it means that hypothesis about the conformity of testing variety is true with a definite level of significance value Q .

For example (table 1), only model of Полухина have the conformity with original at a significance value of 5 % (except last cage). Other models have the conformity for only certain gates.

Table 1

Values [6] of average specific pressure at the cages calculated by different models

Number of cage	Model of Целикова	Model of Полухина	Model of Гелеи	Model of Эжелунда	$\xi_{\max}$	$\xi_{\min}$
5	20.5	21	12.5	11.5	24.19967	19.60033
6	32	26	24	19	29.14960	23.85040
7	42	34	28	26	39.59946	32.40054
8	42.5	39.5	32.5	31	44.54939	36.45061
9	56.5	43.5	37	40	45.64937	37.35063
10	39	38	39	34	47.29935	38.70065

Results of estimating conformity considerably depends from significance value, volume of bigger sample and its mean quadratic deviation. For example (table 2), for increasing sample with bigger mean quadratic deviation interval of conformity (15), (16) becomes wider.

Table 2

Values [6] of average specific pressure at the cages calculated by different models

Number of cage	Model of Целикова	Model of Полухина	Model of Гелеи	Model of Эжелунда	$\xi_{\max}$	$\xi_{\min}$
5	20.5	21	12.5	11.5	27.96430	16.03570
6	32	26	24	19	33.73428	19.36572
7	42	34	28	26	45.75977	26.24023
8	42.5	39.5	32.5	31	51.52974	29.57026
9	56.5	43.5	37	40	52.80085	30.29915
10	39	38	39	34	54.65750	31.34250

Conclusions. For estimation of adequacy may be used criteria Wilcoxon or special criteria for cases when it is few information about model and original. Both criteria have equal effectiveness in similar cases and allows to allocate area of modeling.

REFERENCES

1. Ясев А.Г. Соответствие математических моделей и технологических процессов в металлургии и машиностроении. - Днепропетровск: Днепр-VAL, 2001. - 237 с.
2. Lehmann E.L. Testing statistical hypotheses: Springer - 1986.- 600 p.
3. Bickel P.J., Docsum K.A. Mathematical statistics: Prentice Hall.- 2000.- 556 p.
4. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики.- М.: Наука, 1983. - 416 с.
5. Ясев А.Г. Оценка соответствия математической модели и оригинала // Металл и литье Украины. Киев, 1998. №11-12 – с. 44-46.
6. Ясев А.Г. Оценка соответствия математических моделей технологических процессов в металлургии // Металлургическая и горнорудная промышленность. Днепропетровск, 1999. №4 – с. 121-124.

M. Alekseyev, I. Udovyk, O. Syrotkina

**SPACE REDUCTION METHOD FOR THE SCADA
DIAGNOSTIC MODEL**

Abstract. We considered the issues of assessing the imitation model adequacy for SCADA operability diagnostics. We proposed a method to reduce the space of analysed states. It is based on the investigation of the derived analytical dependencies of permissible state changes for a controlled parameter when passing through SCADA hierarchy levels. These dependencies also allow defining the number of controlled parameter states for a permissible set of combinations. The method described helps to reduce the time and computing resources needed to process data and increases the reliability of SCADA diagnostics.

Keywords: assessment of model adequacy, space reduction method, SCADA diagnostics, placements with repetitions.

Problem statement. Nowadays, modern mission-critical SCADA systems are widely spread in the field of industrial automation due to development and implementation of new technologies in different areas of production and power engineering. Such systems meet strict requirements to ensure the monitoring and supervisory control of technological objects. The main task of SCADA is to increase the efficiency of operational control and technological object monitoring. This can be achieved by improving methods and algorithms of control, which allows us to find the optimal solution when time limits apply [1, 2].

In this regard, the information provided by the system has strict veracity requirements. The reliability of information is a value inversely proportional to the probability of the error occurring. Thus, the relevant problem is to improve the methods of SCADA automatic self-diagnostics in real time.

One of the approaches to this problem is the simulation modelling to diagnose SCADA operability. Simulation modelling is a research tool which provides the opportunity to describe complex systems using formalized methods.

The important problem of simulation modelling is to find methodological and technological solutions to assess the adequacy of the model being analyzed.

Publication analysis regarding topic research. As it is commonly known, there is technology to assess the adequacy of a diagnostic model called VV&C (Verification, Validation & Credibility). The technology comprises three steps: verification of the model, validation of simulation results, and acceptance/non-acceptance of the model as trustworthy [3]. At the same time, the solvability problem remains in the formal model verification (reaching the terminal state from some initial state) under the "combinatorial explosion" in the number of model states [4]. The main sources of the "combinatorial explosion" are the number of model components and the relationship between them. The number of model states for a complex system grows exponentially with the number of components.

Different methods were developed to reduce the space of analyzed states. These include factorization techniques, space approximation, the use of symmetries to check the equivalence of states, abstractions based on the study of dependencies, the abstraction of predicates, the imposition of restrictions on search space, directed search, and heuristic methods [1–4]. However, today there is no possible solution to this problem.

Formulation of the aim of the article. The aim of the article is to assess the adequacy of the SCADA diagnostic model developed. This can be reached by application of the method to reduce the space of analyzed states on the derived analytical dependence. This dependence shows possible changes of controlled parameters of the Technological Control Object (TCO) when passing through SCADA hierarchy levels.

Main part. The input data of the SCADA diagnostic model developed is the diagnostic matrix $D_{l \times n}$, where l – the number of SCADA hierarchy levels; n – the number of controlled parameters of the TCO. An element of matrix $d_{iL,iC} \in \{0,1,2\}$ corresponds to the states "Absent", "Unreliable", "Reliable" for a controlled parameter of the TCO $x_{iC}(t)$; $k=3$ – the number of possible values of the element $d_{iL,iC}$ in the diagnostic matrix.

We define the number of states of the controlled parameter $x_{iC}(t)$ for a full set of combinations $\overline{A}_k^l$ as the number of placements with repetitions of k elements by l .

$$\overline{A}_k^l = k^l.$$

However, in order to verify the adequacy of the diagnostic model, we can only test a permissible set of controlled parameter changes (not a full set) in the process of its passage through SCADA hierarchy levels. This corresponds to the logic of SCADA functioning.

We define the number of controlled parameter states for a permissible set of combinations $A_{f_2}^l$ by applying the derived analytical dependency [5] of possible controlled parameter changes when passing through SCADA hierarchy levels.

$$f_2(x, y, z) = (2 - 2z^2 - xyz^2 + 2x^2y^2 + x^2y^2z + x^2yz^2 + xy^2z^2 - 2x^2y^2z^2) \pmod{3}.$$

The $x_{iC}(t)$ states can be described by a vector $V_{iC}(t)$ which corresponds to the iC -column of the diagnostic matrix $D_{l \times n}(t)$.

$$V_{iC}(t) = \{d_{1,iC} \ d_{2,iC} \ \dots \ d_{l,iC}\}, \quad 1 \leq iC \leq n.$$

We denote

$n_0(iL) = n_{d_{iL,iC}=0}(iL)$, $n_1(iL) = n_{d_{iL,iC}=1}(iL)$, $n_2(iL) = n_{d_{iL,iC}=2}(iL)$, by the number of vector combinations $V_{iC}(t)$ with a permissible value of $d_{iL,iC}$. As $d_{iL,iC}$ is an element of a three-value set, then

$$n_0(1) = n_1(1) = n_2(1) = 1.$$

Derived analytical dependencies to calculate $n_0(iL)$, $n_1(iL)$, and $n_2(iL)$ are shown below [6]:

$$n_0(iL) = k^{\left\lfloor \frac{iL-1}{2} \right\rfloor}, \tag{1}$$

$$n_1(iL) = n_0(iL-1) + 2^{(iL \% 2)} \cdot n_1(iL-1), \tag{2}$$

$$n_2(iL) = n_0(iL-1) + n_1(iL-1) + n_2(iL-1), \tag{3}$$

where $\left\lfloor \right\rfloor$ – an integral part of the number; $\%$ – the remainder.

$$A_{f_2}^l = n_2(l). \tag{4}$$

The results of the application method to reduce the space of analysed states are provided in Table 1 and in the graphs shown in Fig. 1, 2, where l – the number of hierarchy levels for the SCADA model; $\bar{A}_k^l$ – the number of controlled parameter states for the full set of combinations; $A_{f_2}^l$ – the number of controlled parameter states for the permissible set of combinations; Δ – the ratio of the permissible number of combinations for the controlled parameter states to the full number of combinations represented as a percentage.

$$\Delta = A_{f_2}^l / \bar{A}_k^l \cdot 100\%.$$

Table 1

The number of controlled parameter states for the full and permissible set of combinations

l	$\bar{A}_k^l$	$A_{f_2}^l$	$\Delta, \%$
1	2	3	$4 = 3/2 \cdot 100\%$
1	3	3	100%
2	9	6	67%
3	27	14	51.9%
4	81	25	31%
5	243	53	22%
6	729	90	12%
7	2187	182	8.3%
8	6561	301	4.6%
9	19683	593	3%
10	59 049	966	1.6%
11	177147	1874	1%

Graphs regarding the number of controlled parameter states for the full and permissible set of combinations are shown in Fig. 1.

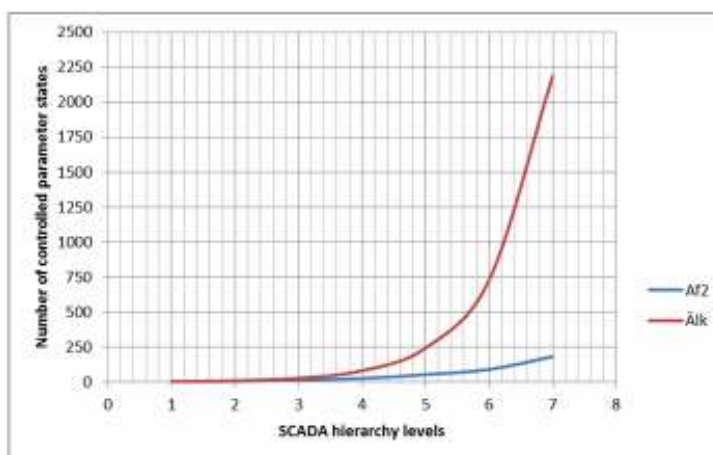


Fig. 1 - Dynamic change graphs regarding the number of controlled parameter states

Next figure (see Fig. 2) represents the ratio of the permissible number of combinations in comparison to their total number.

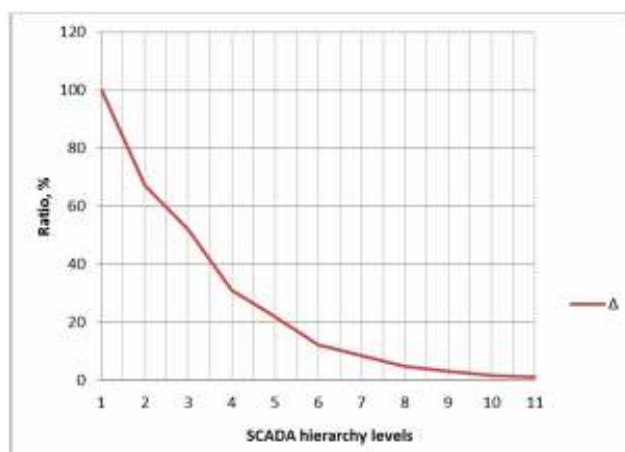


Fig. 2 - The dynamic change graph regarding the ratio of the permissible number of combinations

The application of the method described above allows us to trace the reduction dynamic of permissible state changes for the controlled parameter in comparison to the total number of combinations. This dynamic also depends on the number of SCADA hierarchy levels. This approach allows us to create a plan for experimental investigations. The analysis of the imitation model helps us to analyse the diagnostic model and consider it adequate.

Conclusions and recommendations for further research. We proposed a method for reducing the space of analysed states to assess the adequacy of the diagnostic model developed. This method is based on derived analytical dependencies. These dependencies are with regard to the permissible changes of controlled parameters when passing through SCADA hierarchy levels. They also help to determine the number of controlled parameter states for the full set of combinations.

This approach also allows the solvability of the diagnostic model we are considering (see Table 1).

Most SCADA systems implemented today have hierarchy range levels between $7 \leq l \leq 11$. This makes it possible to reduce the space of analysed states for the diagnostic model range from 8% to 1% with regard to the full set of combinations.

For further research in this field, it is suggested that an analysis be conducted to assess the influence of analytical dependencies to improve SCADA diagnostics.

It is possible to improve the accuracy of diagnostics by reducing the time and computational resources needed to process the resultant set of controlled parameter states to real time.

REFERENCES

1. Goryainov, A.N. Evaluation to Determine the Effectiveness of Diagnostic Systems in the Theory of Transport Diagnostics / A.N. Goryainov // Vestnik NTU “KhPI”. – 2012. – Issue 1. – P. 64–70. (in Russian).
2. Bochkarev, S.V. Comprehensive Assessment Method of the Performance Indicators for Systems of Technical Diagnostics and Monitoring / S.V. Bochkarev, A.A. Lykov, D.S. Markov // Development of an Elementary Base and Improvement of Methods for Constructing Railway Automation and Telemechanics. – 2014. – № 1. – P. 14–22. (in Russian).
3. Yatskiv, I.V. The Problem of the Simulation Model Validation and its Possible Solutions / I.V. Yatskiv // Conference Proceedings. IMMOD. – 2003. – P. 211–217. (in Russian).
4. Kolchin, A.V. Review of Modern Systems and Methods to Verify Formal Models / A.V. Kolchin, A.A. Letichevskiy, S.V. Potienko, V.S. Peschanenko // Programming Problems. – 2012. – № 4. – pp. 75–88. (in Russian).
5. Sirotkina, E.I. Logical and Analytical Model for SCADA Diagnostics / E.I. Sirotkina // Subsoil Problems: Proceedings of the International Scientific Competition Forum for Students and Young Scientists, St. Petersburg, 23–25 April 2014. – Part II. – P. 158–160. (in Russian).
6. Syrotkina, O. Software diagnostics for reliability of SCADA structural elements / O. Syrotkina, M. Alekseyev // Power Engineering and Information Technologies in Technical Objects Controls: Taylor & Francis Group, London. – 2016. – P. 259–265.

**СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ РОЗПОДІЛУ
ТИСКІВ У ПОРИСТОМУ МАТЕРІАЛІ ТА ПОВІТРЯНОМУ
ПРОШАРКУ В МАТРИЦІ ФОРМУВАЛЬНОГО
ОБЛАДНАННЯ**

Анотація. Розглядається процес формування борошняних виробів на тонкому повітряному прошарку. Визначений розподіл тиску в повітряному прошарку при безконтактному формуванні виробів з тіста. Отримано диференціальне рівняння тиску шляхом розв'язання задачі сумісного перебігу повітря в пористому середовищі і повітряному прошарку.

Ключові слова: задача руху, в'язка рідина, сумісна течія, пористий вкладаш, повітряний прошарок.

Вступ. Сутність безконтактного формування борошняних виробів з крутого тіста полягає в створенні тонкого повітряного прошарку між тістом і формувальним отвором матриці [1]. При розрахунку параметрів повітряного прошарку і характеристик пристроїв для безконтактного формування необхідне залучення теорії гідродинаміки, а саме теорії газового змащення, яка описує течію повітря в тонких шарах. Основою для визначення теоретичних параметрів повітряного прошарку служать диференціальні рівняння Нав'є-Стокса [2]. Рівняння Нав'є-Стокса разом з рівнянням нерозривності утворюють систему чотирьох рівнянь в частинних похідних, розв'язання якої пов'язано зі значними математичними труднощами. Зважаючи на складність реальних процесів течії, деякі аналітичні розв'язання даної системи можна отримати, допускаючи обмеження, які витікають з інженерної практики. Зокрема, приймаючи рух в тонкому шарі ламінарним, нехтуючи здавлюванням, зміною в'язкості, а також вважаючи процес ізотермічним, О. Рейнольдс [5] отримав систему рівнянь, розв'язання якої призводить до визначення компонента вектора швидкості повітря в тонкому прошарку при відповідних крайових умовах. При вивченні питання про рух повітря в прошарку, що живиться через пористу поверхню, ви-

никають додаткові труднощі в зв'язку з необхідністю розглядання спільної задачі руху повітря в прошарку і в пористому середовищі.

Постановка задачі. Визначення тисків в пористому середовищі, необхідне для розрахунку розподілу тисків в змащувальному шарі, досить складна задача, пов'язана з інтегруванням рівняння розподілу тисків в пористому середовищі (1) при частково відомих крайових умовах [3]:

$$\Delta \eta_p = \frac{d^2 \eta_p}{dx_\delta^2} + \frac{d^2 \eta_p}{dy_\delta^2} + \frac{d^2 \eta_p}{dz_\delta^2} = 0, \quad (1)$$

де $\eta_p \approx p^2$ – гармонічна функція, якщо змащувальний матеріал не здавлюваний.

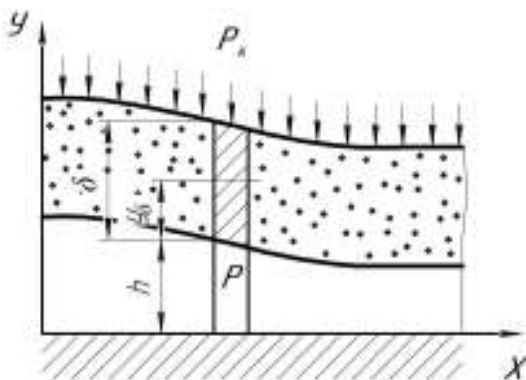


Рисунок 1 – Проникнення повітря через пористу поверхню

p_k та p – тиск до та після пористого матеріалу, Па;

δ – товщина пористого матеріалу, м;

h – товщина змащувального прошарку, м.

Насправді, $p = p_k$ на границі контакту з системою подачі (рис. 1). Зате на другій поверхні ($y = h, y_\delta = 0$) тиск є невідома функція x і z . Отже, рух повітря у змащувальному шарі та рух повітря у пористому середовищі мають розглядатися спільно.

Результати досліджень. Оскільки найбільший інтерес представляють витрата або швидкість повітря на вході в змащувальний шар, можна припустити, що товщина пористого шару досить мала, щоб знехтувати компонентами швидкості по осях Ox і Oz . Іншими словами, можна припустити, що повітря рухається паралельно осі Oy . Тоді розв'язання (1) можливе за формулою [4]:

$$\Delta \eta_p \approx \frac{d^2 \eta_p}{dy_\delta^2} = 0; \quad \eta_p = \eta_k + (\eta_0 - \eta_k) \frac{y_\delta}{\delta}, \quad (2)$$

де p_0 – тиск до та після пористого матеріалу, Па.

Враховуючи, що в пористому середовищі рух повітря ламінарний, він підкоряється закону Дарсі [5]:

$$v_\delta = \frac{dQ}{dS} = -\frac{k_p}{\mu} \cdot \frac{dp}{dy_\delta}, \quad (3)$$

де v_δ – швидкість руху повітря у напрямку y_δ , м/с;

p – тиск повітря в пористому середовищі, Па;

μ – коефіцієнт в'язкості повітря, Па·с;

k_p – коефіцієнт проникності або фільтрації, що залежить від природи пористого матеріалу та його пористості, м².

З формули (3) маємо для об'ємної витрати:

$$dQ = -\frac{k_p}{\mu} \cdot \frac{dp}{dy_\delta} dS, \quad (4)$$

та для масової витрати:

$$dM = -\frac{k_p}{\mu} \rho \frac{\partial p}{\partial y_\delta} dS = -\frac{\chi_p}{\chi_p + 1} \cdot \frac{\rho_\kappa}{p_\kappa^{\chi_p}} \cdot \frac{k_p}{\mu} \cdot \frac{dp}{dy_\delta} dS, \quad (5)$$

через елементарну ділянку dS , перпендикулярну до напрямку y_δ ,

де Q – об'ємна витрата повітря, м³/с;

M – масова витрата повітря, кг/с.

В останній формулі ми вважаємо процес політропічним з показником політропи, що дорівнює χ_p . Насправді через малі швидкості фільтрації процес близький до ізотермічного та $\chi \approx 1$.

З урахуванням формул (2) - (5) маємо:

$$v_\delta = V_{2y} = -\frac{\chi_p}{\chi_p + 1} \cdot \frac{k_p}{\mu \delta} \cdot \frac{\eta_{p\kappa} - \eta_p}{p^{\frac{1}{\chi_p}}} = -\frac{\chi_p}{\chi_p + 1} \cdot \frac{k_p}{\mu \delta} \cdot \frac{p_\kappa^{\frac{\chi_p+1}{\chi_p}} - p^{\frac{\chi_p+1}{\chi_p}}}{p^{\frac{1}{\chi_p}}};$$

$$dQ = -\frac{\chi_p}{\chi_p + 1} \cdot \frac{k_p}{\mu \delta} \cdot \frac{\eta_{p\kappa} - \eta_p}{p^{\frac{1}{\chi_p}}} dS; \quad (6)$$

$$dM = -\frac{\chi_p}{\chi_p + 1} \cdot \frac{\rho_k}{P_k^{\chi_p}} \cdot \frac{k_p}{\mu \delta} (\eta_{pk} - \eta_p) dS,$$

де замість $(\eta_p)_{y\delta} = 0$ записано η_p , причому η_p відноситься до змащувального шару, оскільки $\frac{\partial \eta}{\partial y} = 0$.

Ці формули досить точні, якщо пориста поверхня являє собою площину або має малу кривизну.

В пористих радіальних вкладишах, вважаючи, як і раніше, що рух повітря здійснюється тільки в напрямку нормалі до поверхонь, запишемо рівняння (1) в циліндричних координатах (рис. 5):

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial \eta_p}{\partial r} \right) = 0. \quad (7)$$

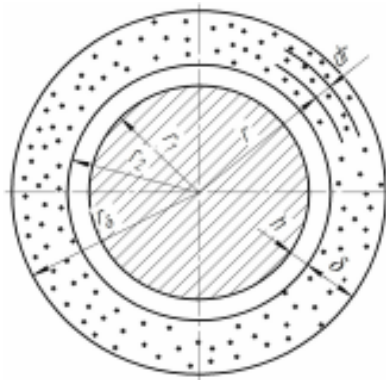


Рисунок 2 – Радіальний пористий вкладиш

Розв'язання цього рівняння має вигляд:

$$\eta_p = \eta_{pa} + (\eta_{pa} - \eta_p) \frac{\ln \frac{r}{r_2}}{\ln \frac{r_\delta}{r_2}};$$

$$\left(\frac{\partial \eta_p}{\partial r} \right)_{r=r_2} \left(\frac{\partial \eta_p}{\partial y_\delta} \right) = \frac{(\eta_{pk} - \eta_p)}{r_2 \ln \frac{r_\delta}{r_2}}.$$

Ці формули аналогічні рівнянням (6), в яких замість η_{p0} необхідно писати η_p , а замість δ писати $r_2 \ln \frac{r_\delta}{r_2}$, оскільки $r_\delta = r_2 + \delta$,

$$r_2 \ln\left(\frac{r_\delta}{r_2}\right) = r_2 \ln\left(1 + \frac{\delta}{r_2}\right) \approx \delta \quad (9)$$

якщо δ мала порівняно з r_2 .

Отже, залежності (6) можна в першому наближенні вважати загальними. Для радіальних вкладишів належить писати $r_2 \ln\left(\frac{r_\delta}{r_2}\right)$ замість δ .

Коректніше розв'язання рівняння $\Delta\eta_p = 0$ у циліндричних координатах r , θ , z шляхом розкладання розв'язання в ряд добутків циліндричних та експоненціальних функцій в припущенні, що товщина δ мала, приводить до того ж виразу для градієнта $\frac{d\eta_p}{dr}$ при $r = r_2$, не дивлячись на те, що функція η_p має інший вигляд [3].

Отже, залежності (6) і (8) достатньо точні, оскільки у разі змащення повітрям тиск змінюється різкіше у напрямі нормалі до пористого шару, ніж уздовж цього шару.

Диференціальне рівняння для тиску можна вивести для кожного типу пористих вкладишів, прирівнюючи місцеву витрату через пористу поверхню витраті повітря в змащувальному шарі. Проте, якщо залежності (6) вважати загальними (для радіальних пористих вкладишів

необхідно писати $r_2 \ln\left(\frac{r_\delta}{r_2}\right)$ замість δ , якщо $\frac{\delta}{r_2} > 0,05$), то рівняння для тиску можна вивести безпосередньо із загального рівняння [2]. На відміну від інших випадків гідростатичного змащування, коли швидкості повітря V на обох поверхнях дорівнюють нулю, тут $V_1=0$, $V_{2x}=V_{2z}=0$, але $V_{2y} \neq 0$ (6). Загальне рівняння приймає вигляд:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{h^3}{\mu} \cdot \frac{\partial p^\chi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{h^3}{\mu} \cdot \frac{\partial p^\chi}{\partial z} \right) = 12 \left(\frac{1}{\chi} + 1 \right) p^{\frac{1}{\chi}} V_{2y} \quad (10)$$

або

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{h^3}{\mu} \cdot \frac{\partial p^\chi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{h^3}{\mu} \cdot \frac{\partial p^\chi}{\partial z} \right) = - \frac{12(\chi+1)\chi_p k_p}{\chi(\chi_p+1)\mu\delta} \cdot \frac{p_a^{\frac{1}{\chi}+1} - p^{\frac{1}{\chi}+1}}{p^{\frac{1}{\chi}+1} - p^{\frac{1}{\chi}}}. \quad (11)$$

Вважаючи процес як в пористому середовищі, так і в змащувальному шарі ізотермічним, можна записати:

$$\chi_p = \chi = 1; \eta_p = \eta = p^2, \quad (12)$$

тоді формула (11) приймає наступний вигляд:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{h^3}{\mu} \cdot \frac{\partial \eta}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{h^3}{\mu} \cdot \frac{\partial \eta}{\partial z} \right) = - \frac{12k_p}{\mu \delta (\eta_a - \eta)} \quad (13)$$

або, прийнявши

$$\eta_r = (\eta_a - \eta) \quad (14)$$

і вважаючи $\mu = \text{const}$, отримуємо:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(h^3 \cdot \frac{\partial \eta_r}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(h^3 \cdot \frac{\partial \eta_r}{\partial z} \right) = K'^2 \eta_r, \quad (15)$$

де

$$K'^2 = \frac{12k_p}{\delta}. \quad (16)$$

Висновки. Отримані результати можуть бути застосовані для розрахунку найбільш часто вживаних типів пористих вкладишів.

Диференціальні рівняння тисків дозволяють розраховувати розподіл тиску в змащувальному шарі.

Розв'язання спільної задачі течії повітря в пористому середовищі і повітряному прошарку дозволяє отримати рекомендації по конструюванню матриць з пористими вкладишами для формування борошняних виробів з крутого тіста.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлов В.М. Розробка способу пресування борошняних виробів на тонкому повітряному прошарку з метою підвищення їх якості та споживчих властивостей / В.М. Михайлов, І.В. Бабкіна, А.Л. Яцук // Стратегия качества в промышленности и образовании: XI Междунар. конф., 1-5 июля 2015г.: Материалы в 2-х томах, том 2 — Варна, Болгария, 2015. — С. 120 — 122.
2. Константиnescу В.Н. Газовая смазка / В.Н. Константиnescу. — М.: Машиностроение, 1968. — 720с.
3. Типей Н. Смазка пористых тел / Н. Типей // Трение и износ в машинах: Труды III Конференции. — М.: АН ССР, 1960. — С. 121-127.
4. Михайлов В.М. Експериментальне визначення коефіцієнта проникності та коефіцієнта опору пористих матеріалів / В.М. Михайлов, Є.А. Брильов, А.Л. Яцук // Прогресивні техніка і технологія харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: Зб. наук. праць / Харк. держ. ун-т харч. та торг. — Х.: ХДУХТ, 2013. — Вип. 1(17). — С. 48 -54.
5. Ртищева А.С. Теоретические основы гидравлики и теплотехники / А.С. Ртищева. — Ульяновск: УлГТУ, 2007. — 171с.

V.Z. Kutsova, A.P. Stetsenko, V.F. Mazorchuk

PHASE TRANSFORMATIONS IN SEMICONDUCTOR SILICON BY THE INFLUENCE OF MAGNETIC FIELD

Abstract. The magnetic processing influence on the semiconductor silicon phase composition grown by the Czochralski method was investigated at present work. The processing has registered splitting of diffraction lines, as well as the emergence of new peaks at the angles of scattering 90-92 degrees due to the curvature of the Si_{FCC} crystal lattice and the formation of Si_{ROMB} along with it. This indicates the occurrence of phase transformations in semiconductor silicon samples in the process of magnetic processing.

Key words: monocrystalline silicon, magnetic processing, phase composition, phase transformations.

Introduction. The study of the influence of the magnetic field on solids has recently attracted considerable interest. Scientists have identified the number of phenomena associated with the influence of a weak magnetic field on the various physical processes in paramagnetic crystals [1]. Theoretically, it is assumed that the magnetic field affects paramagnetic materials, mainly causing the formation and destruction of chemical bonds. The growing number of scientific publications on this topic caused the emergence of a new direction in physics - spin micromechanics, aimed at the study of micromechanical spin-dependent processes that affect the mechanical properties of solids [2].

At present, there are a lot publications which devoted the topic of magnetic field influence on the structure and properties of elementary semiconductors, in particular, crystalline silicon in the scientific literature. The generalization of the results of previous work has shown that magnetic processing adds additional energy to the system and causes the evolution and modification of structural defects in paramagnetic silicon. This, in turn, indicates the possibility of changing the structural-sensitive properties and the phase composition of silicon as a result of magnetic processing [3].

In this paper, the phase composition of monocrystalline silicon samples was investigated under the action of permanent magnetic fields of the different induction.

Materials and methods of research. The effect of permanent magnetic fields on the phase composition of semiconductor silicon was studied at present work. Samples of monocrystalline semiconductor silicon were grown by the Czochralski method (Cz-Si) were selected as raw materials. Sampling was carried out in constant magnetic fields with induction of 0.4 and 1.2 T. Exposure of samples was 240 and 720 days. To determine the phase composition of the samples X-ray diffraction analysis was performed on the Drone-3 installation and calculations using the Rietveld method [4].

Results and discussion. In the initial state of the Cz-Si diffraction patterns, reflexes of the FCC lattice are observed, with the maximum intensity having a line (400) at the angles of scattering up to 65 degrees (Figure 1).

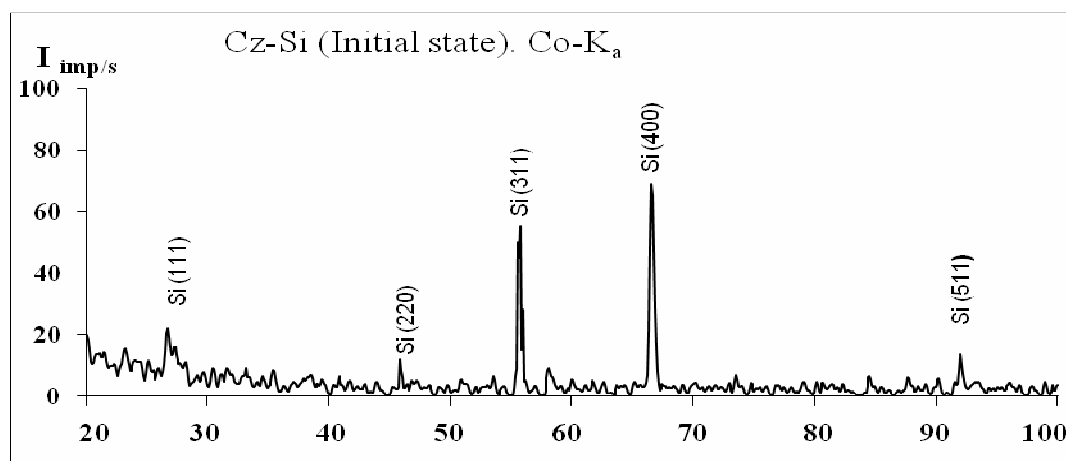


Figure 1 - The diffractogram of the sample Cz-Si (initial state)

After processing silicon samples in a constant magnetic field with induction of 0.4 T, there is an appearance of reflexes at the angles of dispersion of 30-40 degrees (Figure 2), identified as the rhombic phase of silicon [4].

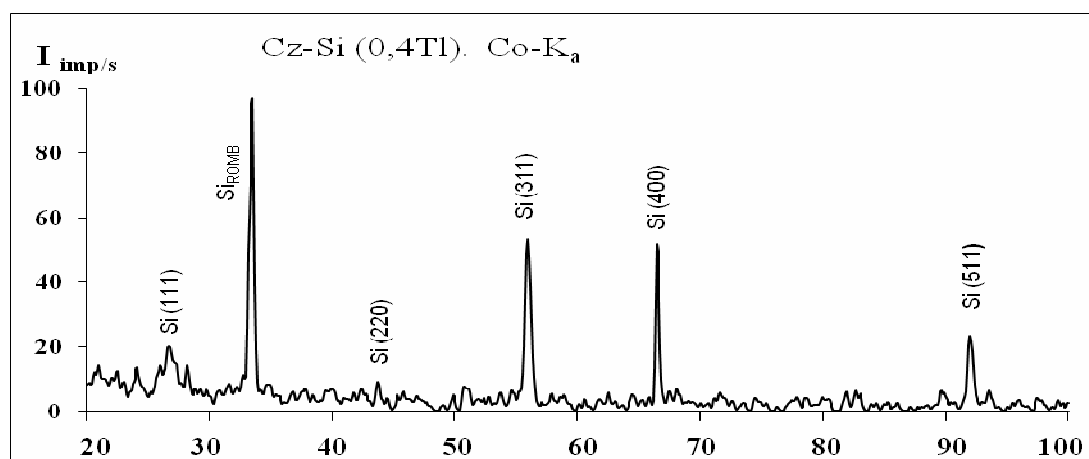


Figure 2 - The diffractogram of the sample Cz-Si ($B = 0.4$ T)

The intensity of reflexes of FCC silicon at the corners of 65-70 degrees, after processing in a magnetic field, decreases. This can be explained by the initiation of the phase transformation of $\text{SiFCC} \leftrightarrow \text{SiROMB}$ in silicon [5] under the action of a constant magnetic field with an induction of 0.4 T.

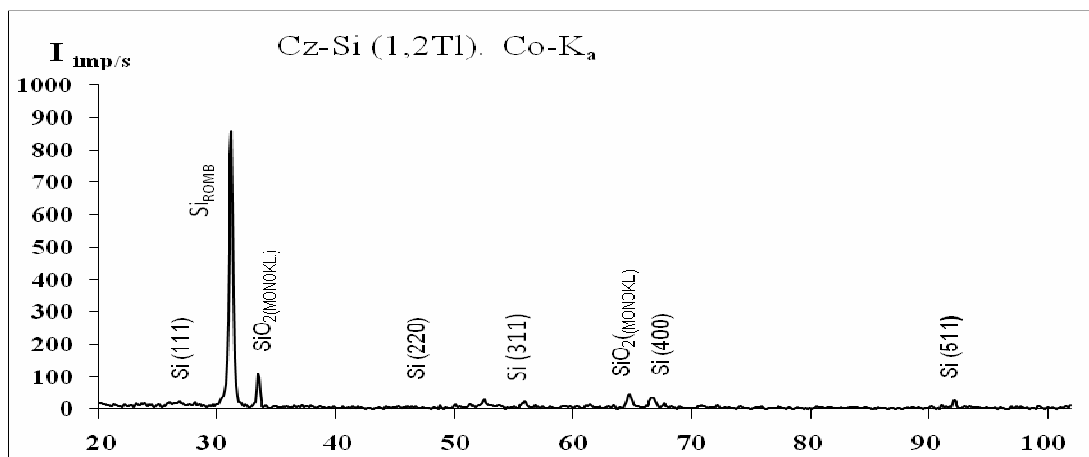
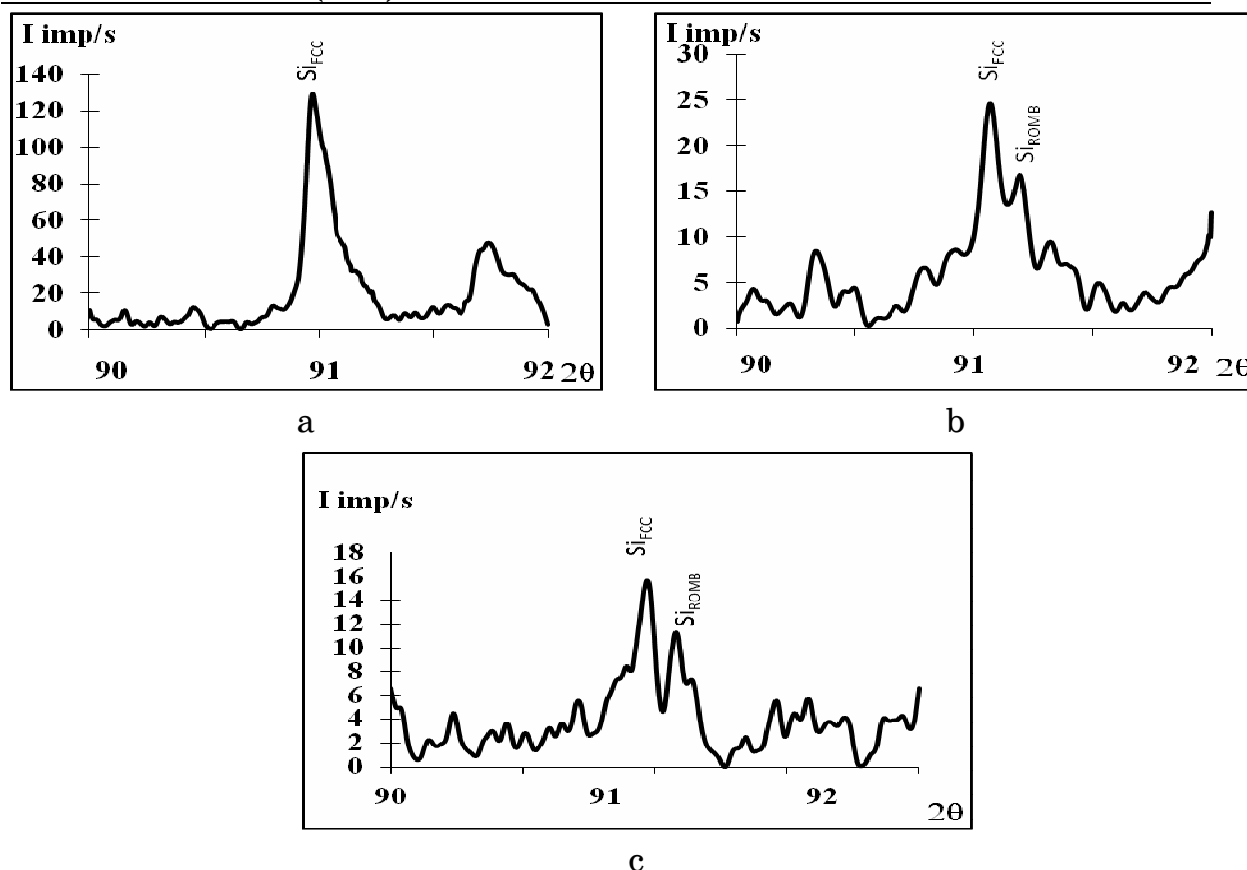


Figure 3 - The diffraction pattern of the sample Cz-Si ($B = 1.2$ T)

After processing samples in a strong constant magnetic field ($B = 1.2$ T (Figure 3)), there is decrease the intensity of the reflexes of all phases of silicon, and the appearance of a significant number of reflexes from silicon oxide, which confirms the assumption of activating the surface of silicon by a constant magnetic field and increasing its adsorption properties [6]. At the same time, the assumption is also confirmed for the stabilization of the phase structure of silicon under the action of a constant magnetic field [3]. Detailed study of the change in the profile of the lines [511] indicates the formation of additional phases in the volume of the crystal that have other types of lattices.

Fig. 4 shows the curves of the differential maximum (511) in the initial state and after processing in magnetic fields ($B = 0.4$ (b), 1.2 T (c)) obtained on the corners of the scattering of 90-92 degrees belonging to the FCC phase of silicon [5].

The splitting of the diffraction lines indicates the presence of distortions in the crystalline lattice of the original samples Cz-Si (Figure 4a), with the splitting of the maximum shown in Figure 4 (b, c) should be associated with the imposition of appropriate interferences of the rhombic phase of silicon [5, 7, 8]. In this case, the splitting of the line [511] increases with the increase of the induction of the external magnetic field.



a – the initial state, b - 0.4T, c- 1.2T
Figure 4 – The line profile (511) before
and after magnetic processing

The splitting of the diffraction peaks at the angles of dispersion of 90-92 degrees with the increase of the induction of the external magnetic field, suggests the presence of two phases of silicon and is associated with the formation of SiROMB phase in the volume of material. The same splitting of the diffraction maximum [511] at the angles of 90-92 degrees was observed during the heat treatment of semiconductor silicon in the temperature range 280-450 C, which was due to the distortion of the crystalline lattice SiFCC by the formation of a certain amount SiROMB [8].

When thermal processing of samples of semiconductor silicon, there was a stronger splitting of the interference maximum [511] with annealing temperature increase from 280-320 C to 400-450 C [8]. In this paper, significant splitting was observed with an increase in the induction of an external magnetic field from 0.4 to 1.2 T. This indicates that the magnetic field, as well as thermal processing, initiates phase transformations in silicon.

Conclusions: The effect of magnetic processing on the phase composition of semiconductor silicon grown by the Czochralski method was investigated. X-ray diffraction analysis of samples undergoing magnetic processing showed splitting of diffraction lines, as well as the appearance of new peaks at scattering angles of 90-92 degrees, which caused a distortion of the crystalline lattice SiFCC by forming along with Si-ROMB. This indicates the occurrence of semiconductor silicon samples of phase transformations in the process of magnetic processing.

REFERENCES

1. А.А. Урусовская, В.И. Альшиц, А.Е. Смирнов, Н.Н. Беккауэр. Эффекты магнитного воздействия на механические свойства и реальную структуру немагнитных кристаллов // Кристаллография, 48 (5), с. 855-872 (2003).
2. Я.Б. Зельдович, А.Л. Бучаченко, Е.Л. Франкевич. Магнито-спиновые эффекты в химии и молекулярной физике // УФН, 155 (1), сс.3-45 (1988).
3. В.З. Куцова, О.А. Носко, В.А.Туттик, А.М. Сулай. Структура, механічні та електрофізичні властивості монокристалічного кремнію під дією постійного магнітного поля // Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost', № 1 (2015) с. 60-67.
4. Ritveld H.M. // Line profiles of neutron powder diffraction peaks for structure refinement // ActaCryst., 1967, 22, p. 151-152.
5. В.З. Куцова, О.А. Носко, А.М. Сулай. Влияние легирования и термической обработки на структуру и свойства полупроводникового кремния // Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost', № 6 (2014) с. 65-72.
6. В.А. Макара, М.О. Васильев, Л.П. Стебленко. Вплив магнітної обробки на мікротвердість та структуру приповерхневих шарів кристалів кремнію. // Фізика і хімія твердого тіла т. 10, № 1 (2009) с. 193-1984.
7. Носко О.А. Особенности структуры, фазовые превращения легированного кремния и модифицированных заэвтектических силуминов и разработка способов повышения их свойств // Дисс. на соиск. уч. степени канд.техн.наук. - Днепропетровск. - 2006. - 215 с.
8. Куцова В.З. Теория и практика управления структурой и свойствами литейных сплавов на основе алюминия и титана // Дисс. на соиск. уч. степени доктора технических наук. - Днепропетровск. - 1993. - 846 с.

О.П. Єгоров, В.Б. Зворикін, О.І. Михальов, М.Ю. Кузьменко
**АВТОМАТИЧНЕ УПРАВЛІННЯ РЕЖИМОМ ПРОКАТКИ
З НАТЯГОМ НА ОСНОВІ ЗМІНИ СТРУМУ ЯКОРЯ
ДВИГУНІВ ПРИВОДУ ВАЛКІВ**

Анотація. Запропоновано схему управління швидкісним режимом прокатки з програмним управлінням натягу прокату в чорновій групі клітей.

Отримано оригінальне вираження, для обчислення натягу прокату, засноване на законах пружною деформації смуги. Частина параметрів цього виразу визначається за таблицями калібрування, частина - прямим виміром. Виконання системи автоматичного управління на основі запропонованої методики дозволяє здійснювати прокатку з контрольованим натягом.

За останнє сторіччя виробництво сортової продукції здійснювалося на лінійних, напівбезперервних і безперервних станах.

Вдосконалення станів спочатку відбувалося за рахунок створення нового обладнання, розробки нових технологічних процесів. Починаючи з 80-тих років ХХ століття, з появою нових мікропроцесорних керуючих комплексів, докорінним чином змінився підхід до автоматизації процесу виробництва дрібносортового прокату на всіх його переділах. Хоча перші мікропроцесорні керуючі контролери і не мали високої швидкодії, великого обсягу пам'яті та можливості програмної реалізації алгоритмів управління, вони дозволили комплексно вирішувати проблеми управління та інформаційного супроводу процесу виробництва прокатної продукції.

Швидкості прокатки на безперервних дрібносортових станах досягли 20 м/с, а на дротяних станах з прокатними блоками - 100 м/с. Це зробило неможливим ручне управління більшістю технологічних операцій, наприклад, таких як розкрій прокату, укладання на холодильник, намотування в бунт і багато інших.

Сучасні системи управління технологічним процесом прокатки об'єднані в єдину розподілену систему управління з обміном інформацією між окремими підсистемами по локальних комп'ютерних мережах.

З точки зору управління ці системи являють собою складну багатозв'язну структуру електромеханічних агрегатів з роздільними контурами управління. Причому, для стійкої роботи всього комплексу, необхідно забезпечити інваріантність роботи окремих контурів управління цими агрегатами.

При створенні і впровадженні систем управління швидкісним режимом прокатки (рис.1) вирішувалися, в основному, наступні завдання.

- Обґрунтування методів управління багатозв'язними електромеханічними комплексами прокатних клітей, що забезпечують інваріантність роботи окремих контурів управління та оцінки роботи всієї системи в цілому.
- Розрахунок режимів настроювання швидкісного режиму прокатки з мінімальним, контрольованим натягом прокату в чорновій групі клітей і з петлею або прогином прокату в чистовій кліті.
- Розробка датчиків контролю технологічних параметрів; натягу, петлі або прогину прокату.
- Розробка систем узгодженої групової зміни частот обертання приводів валків прокатних клітей.
- Створення системи управління геометричними параметрами перерізу кінцевих ділянок прокату за рахунок зміни швидкісного режиму прокатки в останньому проміжку чорнової групи клітей.

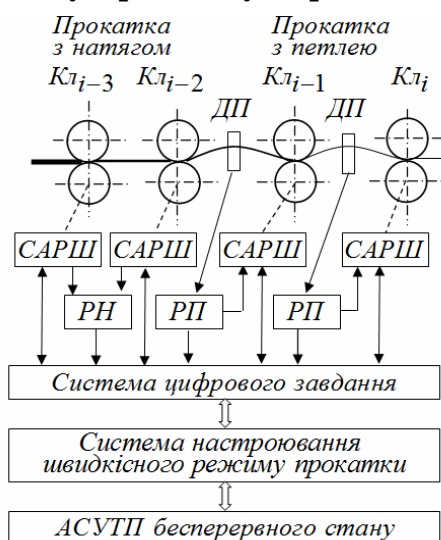


Рисунок 1 - Система управління швидкісним режимом прокатки

САРШ - система автоматичного регулювання швидкості; РН - регулятор натягу; РП - регулятор петлі; ДП - датчик положення

Розглянемо методи управління багатозв'язними електромеханічними комплексами прокатних клітей.

Для безперервної прокатки ідеальним був би режим, коли швидкість прокату на виході з попередньої кліті дорівнювала б швидкості прокату на вході в наступну кліть (рис. 2).

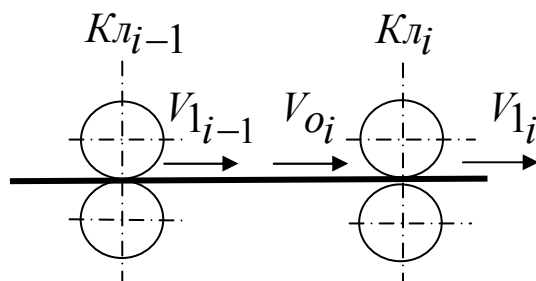


Рисунок 2 - Швидкісний режим прокатки в безперервній групі клітей

Якщо швидкість прокату $V_{l_{i-1}}$ буде більше швидкості V_{o_i} , то режим прокатки називається: прокатка з підпиранням. Якщо навпаки - то з натягом. У чистовій групі прокатних клітей можливий режим прокатки з петлею, коли в міжклітьовому проміжку створюється і підтримується запас прокату, що перевищує відстань між валками клітей.

На швидкість прокату на вході і виході з валків клітей впливають множинні чинники: величина обтиснення, температура прокату, коефіцієнт тертя в осередку деформації, межа плинності та інші.

У теорії прокатки отримані залежності, що зв'язують ці параметри. Наведемо деякі з них.

При прокатці вважають, що обсяг металу до обтиску дорівнює обсягу металу після обтиску [1]:

$$S_{o_i} V_{o_i} = S_{l_i} V_{l_i}, \quad (1)$$

де S_{o_i} , S_{l_i} відповідно, площа поперечного перерізу прокату до обтиску, та після обтиску в кліті i , V_{o_i} , V_{l_i} - відповідно швидкість прокату на вході і виході з осередку деформації.

Формула (1) дозволяє визначити співвідношення швидкостей переднього та заднього торців прокату при сталому процесі.

$$V_{l_i} = V_{o_i} \frac{S_{o_i}}{S_{l_i}} = \lambda_i V_{o_i}, \quad (2)$$

де λ_i - коефіцієнт витягу в кліті i .

Таким чином, швидкість переміщення прокату в осередку деформації не постійна. Розрізняють зону відставання, зону випередження і нейтральний перетин (рис 3).

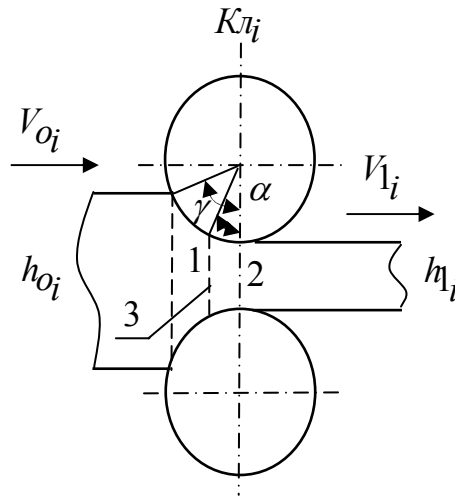


Рисунок 3 - Зони випередження і відставання в осередку деформації
1- зона відставання, 2 – зона випередження, 3- нейтральний перетин

Розглянемо умови виникнення натягу прокату в міжклітьовому проміжку, утвореному клітьми $K_{l_{i-1}}$, K_{l_i} (рис. 2). Відповідно до закону Гука для пружної деформації зразка до нього необхідно прикласти силу F , яка визначається за формулою

$$F = E_{\Delta} l S, \quad (3)$$

де E модуль пружності Юнга, $_{\Delta}l$ - пружне розтягнення зразка, S - площа поперечного перерізу.

У міжклітьовий проміжок кліть вносить прокат довжиною $l_{l_{i-1}}$, виражену через швидкість прокатки

$$l_{l_{i-1}} = \int_0^t V_{l_{i-1}} dt, \quad (4)$$

У той же самий час кліть виносить з проміжку прокат довжиною, вираженої також через швидкість, яка дорівнює:

$$l_{o_i} = \int_0^t V_{o_i} dt, \quad (5)$$

Якщо довжина l_{o_i} буде більше ніж $l_{l_{i-1}}$, то виникає режим натягу прокату. Сила, що розтягує $F_{i-1,i}$ визначається законом Гука. Зміна сили $F_{i-1,i}$ в часі визначається залежністю (формула Морозова):

$$\frac{dF_{i-1,i}}{dt} = \frac{ES_{o_i}}{L_{i-1,i}} (V_{o_i} - V_{1_{i-1}}), \quad (6)$$

де $L_{i-1,i}$ довжина міжклітьового проміжку.

При прокатці натяг в міжклітьовому проміжку не змінюється до нескінченності, а має кінцеву межу, яка визначається новим сталим станом, коли виконується рівняння:

$$V_{1_{i-1}} - V_{o_i} = 0, \quad (7)$$

$$\omega_{i-1} R_{k_{i-1}} (1 + s_{i-1}) - \frac{\omega_i R_{k_i} (1 + s_i)}{\lambda_i} = 0, \quad (8)$$

де ω_{i-1} , ω_i - відповідно, кутова частота валків попередньої $K\lambda_{i-1}$ та подальшої $K\lambda_i$ клітей; $R_{k_{i-1}}$, R_{k_i} - відповідно, радіус клітей $K\lambda_{i-1}$ і $K\lambda_i$; s_{i-1} , s_i - коефіцієнти випередження.

Численні дослідження [1] свідчать, що в більшості випадків прокатки випередження знаходиться в межах 1-10%, тобто його числове значення невелике. Що ж стосується відставання, то воно може бути значно більше, наприклад, 30% та й більше. Тому будемо враховувати зміну швидкості прокату під дією натягу тільки на вході в кліть, наступну за проміжком.

Як впливає з формули (8) швидкість прокату на вході в кліть буде змінюватися за рахунок зміни коефіцієнта витягу, а це в свою чергу відбувається під дією натягу в цій кліті.

Для визначення розширення скористаємося формулою Бахтінова Б.П. [1] і врахуємо зміну розширення за рахунок натягу прокату:

$${}_{\Delta}b_{1_i} = \left(1.15 \frac{{}_{\Delta}h_i}{2h_{o_i}} \right) \left[\sqrt{R_{k_i} {}_{\Delta}h_i} - \frac{{}_{\Delta}h_i}{2f_{t_i}} \right] C_{q_{i-1,i}} = {}_{\Delta}b_{h_i} C_{q_{i-1,i}}, \quad (9)$$

де ${}_{\Delta}b_{h_i}$ - розширення прокату за рахунок його обтиску; $C_{q_{i-1,i}}$ - коефіцієнт; ${}_{\Delta}h_i$ - обтиснення в i - тій кліті; f_{t_i} - коефіцієнт тертя в осередку деформації i - ої кліті.

Впливом переднього натягу на розширення можна знехтувати. Тоді величина коефіцієнта C_q наближено визначається за формулою [1]:

$$C_{q_{i-1,i}} = 1 - 2 \frac{q_{o_i}}{\sigma_i}, \quad (10)$$

де q_{o_i} - питомий задній натяг прокату; σ_i - напруга плинності для заданих умов деформації.

Тоді можна записати:

$$\Delta b_{1_i} = \Delta b_{h_i} \left(1 - 2 \frac{q_{o_i}}{\sigma_i} \right) = \Delta b_{h_i} - 2 \Delta b_{h_i} \frac{q_{o_i}}{\sigma_i} = \Delta b_{h_i} - \Delta b_{q_i}, \quad (11)$$

де $\Delta b_{q_i} = 2 \Delta b_{h_i} \frac{q_{o_i}}{\sigma_i}$ - розширення прокату за рахунок натягу.

Визначимо зміну швидкості прокату на вході в кліть K_{l_i} від натягу як

$$\Delta V_{o_i} = K_{F_i} F_{i-1,i}. \quad (12)$$

Перепишемо рівняння (6) в наступному вигляді:

$$\frac{dF_{i-1,i}}{dt} = \frac{ES_{o_i}}{L_{i-1,i}} (V_{o_i} - K_{F_i} F_{i-1,i} - V_{1_{i-1}}), \quad (13)$$

або

$$\frac{dF_{i-1,i}}{dt} + \frac{ES_{o_i}}{L_{i-1,i}} K_{F_i} F_{i-1,i} = \frac{ES_{o_i}}{L_{i-1,i}} (V_{o_i} - V_{1_{i-1}}). \quad (14)$$

Подальші перетворення дають:

$$\frac{L_{i-1,i}}{ES_{o_i} K_{F_i}} \times \frac{dF_{i-1,i}}{dt} + F_{i-1,i} = \frac{1}{K_{F_i}} (V_{o_i} - V_{1_{i-1}}). \quad (15)$$

Позначимо $\frac{L_{i-1,i}}{ES_{o_i} K_{F_i}}$ через τ_{q_i} і отримаємо рішення цього диференціального рівняння:

$$F_{i-1,i} = \frac{1}{K_{F_i}} (V_{o_i} - V_{1_{i-1}}) \left(1 - e^{\frac{-t}{\tau_{q_i}}} \right). \quad (16)$$

Так як постійна τ_{q_i} має значення мільйонній частки секунди то перехідним процесом - зміною натягу прокату при неузгодженості його в міжклітьовому проміжку можна знехтувати і при математичному описі цього процесу вважати його безінерційним.

Визначимо залежність між неузгодженістю швидкостей прокату в міжклітьовому проміжку з натягуванням його в сталому режимі.

У сталому режимі прокатки швидкість металу на виході з кліті $V_{1_{i-1}}$ рівняється швидкості металу на вході в наступну кліть V_{o_i} .

Площа прокату на виході з кліті $S_{1_{i-1}}$ також дорівнює площі прокату

на вході в наступну кліть S_{o_i} . В цьому випадку коефіцієнт витяжки через швидкість прокату можна визначити наступним чином:

$$\lambda_i = \frac{S_{1_{i-1}}}{S_{1_i}} = \frac{V_{1_i}}{V_{o_i}} = \frac{V_{1_i}}{V_{1_{i-1}}}, \quad (17)$$

або

$$S_{1_i} = S_{1_{i-1}} \frac{V_{1_{i-1}}}{V_{1_i}}. \quad (18)$$

У свою чергу площа поперечного перерізу прокату на виході i - ої кліті визначиться:

$$S_{1_i} = (b_{o_i} + {}_{\Delta}b_{h_i} - {}_{\Delta}b_{q_i}) h_{1_i}, \quad (19)$$

де ${}_{\Delta}b_{q_i}$ - розширення прокату за рахунок натягу.

Підставивши (19) в (18) отримаємо:

$$\begin{aligned} (b_{o_i} + {}_{\Delta}b_{h_i} - {}_{\Delta}b_{q_i}) h_{1_i} &= S_{1_{i-1}} \frac{V_{1_{i-1}}}{V_{1_i}}, \\ {}_{\Delta}b_{q_i} &= -S_{1_{i-1}} \frac{V_{1_{i-1}}}{V_{1_i} h_{1_i}} + (b_{o_i} + {}_{\Delta}b_{h_i}). \end{aligned} \quad (20)$$

Враховуючи вираз (11) запишемо:

$$\frac{2 {}_{\Delta}b_{h_i} q_{o_i}}{\sigma_i} = -S_{1_{i-1}} \frac{V_{1_{i-1}}}{V_{1_i} h_{1_i}} + (b_{o_i} + {}_{\Delta}b_{h_i}), \quad (21)$$

З рівняння (21) отримаємо питомий натяг прокату в міжклітьовому проміжку:

$$q_{o_i} = \frac{\left[(b_{o_i} + {}_{\Delta}b_{h_i}) - S_{1_{i-1}} \frac{V_{1_{i-1}}}{V_{1_i} h_{1_i}} \right] \sigma_i}{2 {}_{\Delta}b_{h_i}}. \quad (22)$$

У наведеному виразі (22) всі дані для розрахунку питомого натягу прокату можна отримати з таблиці калібрування.

Наведений вираз (22) є оригінальним, так як в технічній літературі з теорії прокатки не зустрічався раніше.

Під час налаштування швидкісного режиму прокатки про величину натягу судять по перепаду струму якоря двигуна до захоплення прокату подальшою кліттю і після захоплення прокату. Зменшення значення струму говорить про наявність натягу прокату.

Для оцінки величини натягу прокату зі зміни струму якоря отримуємо математичну модель моменту прокатки, згідно [1].

Момент прокатки при задньому натягу визначається з виразу:

$$M_{np_i} = \left(2P_i \Psi_i \frac{l_{d_i}}{\mu_i} \right) + q_{o_i} S_{o_i} R_{k_i}. \quad (23)$$

де P_i - зусилля прокатки; Ψ_i - коефіцієнт положення рівнодіючої тиску на валки; l_{d_i} - довжина осередку деформації μ_i - передавальне число редуктора головного приводу валків;.

За даними калібрування для кліті 7 дрібносортового стану 250-1 [3] виконаний розрахунок величини натягу прокату і моменту на валу двигуна з заднім натягом і без нього [3].

Розрахуємо момент прокатки та потужність прокатки без натягу.

Частота обертання двигуна $n_7 = 502$ об/хв; $\omega_i = \omega_7 = 52.54$ с-1.

Момент прокатки $M_{np_i} = 2P_i \Psi_i \frac{l_{d_i}}{\mu_i} = 1830$ Нм.

Потужність прокатки $N_i = M_{np_i} \omega_i \mu_i = 329$ кВт.

Таким параметрам прокатки відповідає двигун типу 4П-450-16-630 УЗ: потужність - 800 кВт, напруга живлення - 600 В, число обертів вала - 800 об/хв, момент інерції - 41 кгм².

Встановимо швидкості прокату на виході 7-ої і 6-ої клітей у відповідності з таблицею калібрування [3], шляхом завдання відповідних частот обертання двигунів клітей $\omega_{1_7} = 52.57$ 1/с, $\omega_{1_6} = 50.68$ 1/с.

Цим частотам обертання відповідають наступні значення швидкостей прокату: $V_{1_{7,1}} = 2.16$ м/с, $V_{1_{6,1}} = 1.61$ м/с.

Розрахуємо момент прокатки і струм у ланцюзі двигуна при прокатці з натягом для наведених вище величин.

Момент прокатки, обумовлений натягом:

$q_{o_i} S_{o_i} R_{k_i} = 1370$ Нм.

Момент прокатки з заднім натягом:

$M_{np_i} = \left(2P_i \Psi_i \frac{l_{d_i}}{\mu_i} \right) + q_{o_i} S_{o_i} R_{k_i} = 1830 + 1370 = 3200$ Нм.

Струм якоря при прокатці, обумовлений натягом:

$I_{q_i} = 43.9$ А.

Струм якоря при прокатці без натягу:

$I_{n_i} = 391$ А.

Повний струм якоря при прокатці з натягом:

$$I_{nn_i} = I_{n_i} + I_{q_i} = 391 + 43.9 = 434.9 \text{ А.}$$

Так як радіус валків і потужність двигунів головних приводів клітей чорнової групи приблизно однакові, то така ж зміна струму (тільки в меншу сторону) відбудеться в кліті 6 дрібносортового стану 250-1.

Визначимо коефіцієнт співвідношення лінійних швидкостей прокату на виході 7-ої і 6-ої клітей (перше значення $n = 1$):

$$k_{i,n} = \frac{V_{1_{i,n}}}{V_{1_{i-1,n}}} \quad (24)$$

Для $n = 1$ цей коефіцієнт буде дорівнювати:

$$k_{i,1} = \frac{V_{1_{7,1}}}{V_{1_{6,1}}} = \frac{2.16}{1.61} = 1.34.$$

Коефіцієнту співвідношення $k_{i,1} = 1.34$ відповідають $q_{o_i} = 6.92 \text{ Н/мм}^2$, $I_{q_i} = 43.9 \text{ А.}$

Змінюючи частоту обертання двигуна кліті 7, визначимо ряд значень коефіцієнту співвідношення швидкостей прокату. Для кожного отриманого значення $k_{i,n}$ обчислимо питомий натяг прокату і перепад струму в двигуні головного приводу валків кліті 6 за рахунок виникаючого натягу прокату після захоплення його кліттю 7.

Графіки цих залежностей представлені на рис. 4.

Отримані результати дозволяють або візуально оцінювати настрійку швидкісного режиму прокатки в чорновій групі клітей, або виконати систему автоматичного управління цим режимом.

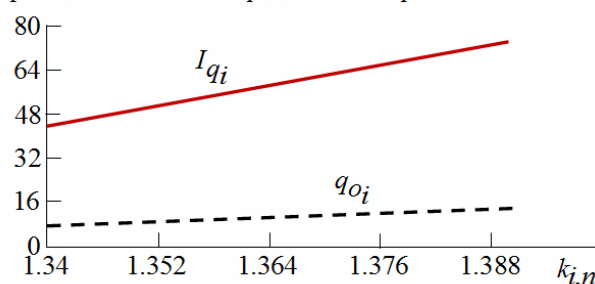


Рисунок 4 - Графіки зміни струму якоря і натягу прокату від співвідношення швидкості прокату на виході і на вході в кліть

Розглянемо систему управління швидкісним режимом прокатки, зображену на рис. 1. Величина допустимого міжклітьового натягу розраховується в системі налаштування швидкісного режиму прокатки. Перераховане значення міжклітьового натягу з урахуванням перепаду струмів в якірних ланцюгах двигунів від натягу (у відповід-

них міжклітьових проміжках) передається у вигляді завдання до регуляторів натягу РН. Регулятори натягу керують якірними струмами двигунів приводів валків суміжних клітей і коригують співвідношення швидкостей приводів валків так, щоб при заповненні стану прокатом перепади струмів від натягу прокату відповідали заданим.

На рис. 5 зображена зміна струмів головних електроприводів сусідніх клітей при автоматичному управлінні швидкісним режимом прокатки в чорновій групі клітей.

Після захоплення металу валками кліті 1 (в момент часу t_1), на інтервалі часу τ_1 запам'ятовується струм вільної прокатки в двигуні кліті 1 ($I_{1.CB}$). У момент часу t_2 відбувається захоплення прокату валками кліті 2. Якщо є натяг прокату між клітями 1 і 2, то струм двигуна кліті 1 зменшиться на величину ΔI_1 . На інтервалі τ_2 запам'ятовується струм двигуна кліті 1 при наявності натягу.

Для зменшення натягу система управління знижує частоту обертання валків кліті 2, так, щоб струм в кліті 1 зріс ($I'_{1.CB}$). При цьому струм в кліті 2 знижується на величину ΔI_2 . Різниця між приростами струмів ΔI_1 і ΔI_2 визначить нове зменшене значення натягу прокату.

Крім цього, відповідно до запропонованого методу програмного управління натягом прокату зі зміни виходу регулятора петлі РП в чистовий групі [5], можна повністю виключити різношпирінність профілю, пов'язану з натягом прокату.

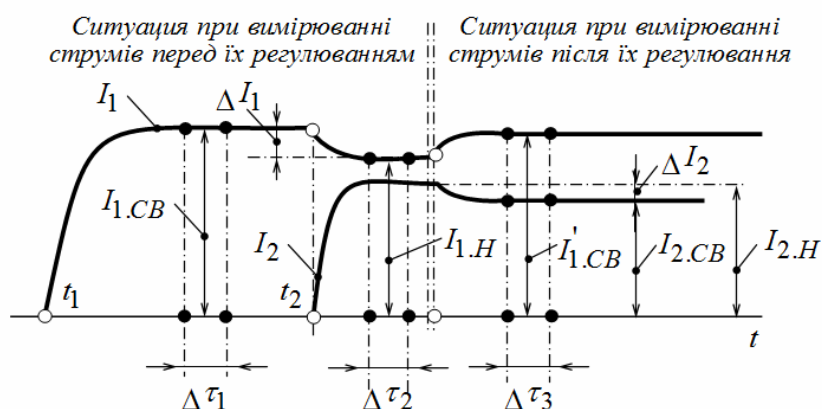


Рисунок 5 - Графіки змін струмів I_1 та I_2 двигунів валків суміжних клітей 1 та 2 при прокатці з натягом: $I_{1.CB}$, $I_{2.CB}$ - струми при вільній прокатці; $I_{1.H}$, $I_{2.H}$ - струми при прокатці з натягом; ΔI_1 , ΔI_2 - збільшення відповідних струмів

Висновки

1. Отримана формула розрахунку натягу прокату дозволяє за даними калібрування обчислити частоти обертання валків суміжних клітей, що забезпечує прокатку передньої ділянки прокату з мінімальним натягом.

2. Запропонована методика розрахунку натягу прокату дозволяє автоматично налаштовувати швидкісний режим прокатки, використовуючи зміну струму якоря двигунів приводу валків.

3. Виконання систем автоматичного управління на базі запропонованої методики дозволить здійснювати прокатку з контрольованим натягом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грудев А.П. Теория прокатки: Учебник для вузов / А.П. Грудев. - М.: Металлургия, 1988. - 240 с.

2. Теория прокатки. Справочник / А.И. Целиков, А.Д. Томленов, В.И. Зюзин и др. - М.: Металлургия, 1982.- 335 с.

3. Разработка методов и технических решений по увеличению точности размеров сечений и качества арматурного проката на мелкосортном стане 250-1 СПЦ-1 КГТМК «Криворожсталь»: отчет по НИР (заключительный) №Х-03/03/1132 / НИИ Металлургии и материаловедения, рук. Дударенко А.А., исполн.: Смиряненко И.Н., Бабенко М.А., Курочкин А.Ф., Белый Н.П., Дударенко А.А., Егоров В.С., Егоров А.П., Потап О.Е., Ночвинов П.В., Дорошенко С.В. - Днепропетровск, 2003. - 117 с.- № ГР №0103V003750.- Инв. № 4.23-2003.

4. Моделирование системы управления толщиной полосы непрерывного широкополосного стана горячей прокатки для студентов ИПК МК специальностей 7.092501, 7.092203, 7.090404 / Сост.: Егоров А.П., Егоров В.С., Зворыкин В.Б., Хинин М.И. - Днепропетровск: ИПК МК, 2000. - 76 с.

5. Егоров А.П., Зворыкин В.Б., Михалев А.И., Кузьменко М.Ю., Балакин В.Ф. Многосвязная система управления скоростным режимом прокатки на непрерывном мелкосортном стане. Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць - Випуск 5 (106) -. Дніпропетровськ, 2015, с. 36-44.

КАЛІБРУВАННЯ СЦЕН СУПУТНИКІВ LANDSAT-8 ТА SENTINEL-2

Анотація. В роботі проведено аналіз процесів попередньої обробки знімків супутників Landsat 8 та Sentinel-2 і розглянуто можливості здійснення калібрування користувачем на основі даних у відкритому доступі. Результати дослідження свідчать про застосовність інформації, наведеної у метаданих сцени для здійснення необхідного калібрування.

Ключові слова: багатоканальне зображення, радіометрична корекція, калібрування, енергетична яскравість.

Постановка проблеми. Аналіз супутникових зображень високого просторового розрізнення є сучасним зручним інструментом, який надає значну кількість корисної для науки та бізнесу інформації. Подібний інструмент, так само як і знімки, надається зазвичай великими організаціями у межах спеціально організованого сервісу. Так, більшість супутників країн Європейського союзу запущені та функціонують під керівництвом Європейського Космічного Агентства у рамках програми Copernicus. Відповідно, сервіс, що надає супутникову інформацію про земну поверхню – Copernicus Land Monitoring Service. Даний сервіс надає різноманітну біофізичну інформацію стосовно земної поверхні по всьому земному шару, включаючи стан рослинності.

Проте ця корисна інформація не може бути наданою споживачу одразу у момент зйомки орбітальним сенсором, а повинна пройти попередню багатоетапну обробку [1, 2]. Причому здійснюється вона як на борту супутника так і на наземних станціях. Окрім оцифрованої інформації безпосередньо з детекторів супутника, що безперервно відсилається на Землю, додатково відсилаються допоміжні дані – телеметрія супутника, калібрувальні та інші дані, необхідні для обробки супутникового зображення. Наприклад, сенсори одного тільки Landsat 8 OLI та TIRS в середньому транслюють сигнали на швидкостях 265 та 26.2 Мбіт/сек [3]. Тому в цілому необхідними є швидкісні і стабільні алгоритми попередньої обробки і стиснення цього значного потоку інформації, вичленення з нього лише тих даних, що є необхідними для виконання поставлених задач.

Аналіз останніх досліджень. Математичні моделі та аналіз особливостей функціонування супутникових систем, що базуються на лінійках приладів із зарядовим зв'язком, розглянуті у [4]. У даній роботі автор приходить до висновку, що калібрування оптичних супутників із високим просторовим розрізненням потребує коректної математичної моделі реконструкції геометрії зображення. Ця модель повинна вичерпно включати в себе додаткові параметри, необхідні для калібрування оптичного сенсора. Отже питання вибору оптимального набору параметрів є ключовим.

Формулювання цілей статті. Виникає необхідність в дослідженні методик калібрування для широкоживаних супутникових сенсорів, таких як Landsat 8 та Sentinel-2. Необхідно визначити, які дані є необхідними і достатніми для здійснення процедур калібрування, маючи на меті оптимізацію процесу калібрування та підвищення візуальної якості зображення.

Основна частина. Надіслані супутником зображення потребують багатоетапної обробки перед тим як над ними можна буде здійснювати аналіз. Крім того, слід відзначити, що постачальники супутникових знімків роблять додаткові вимірювання, щоб провести попередню обробку знімків, і можуть надавати як оброблені знімки, так і необроблені з додатковою інформацією для самостійної обробки і коригування.

Отримані сенсором цифрові дані проходять первинну обробку спершу на борту супутника. Так, сенсор супутника Sentinel-2, так званий MSI (мультиспектральний інструмент), працює у пасивному режимі, збираючи відбите поверхнею Землі сонячне світло. Сприйняте світло на першому етапі розділяється фільтром і окремими фокальними площинами на дві групи: видимі та ближні інфрачервоні канали в першій та короткохвильові канали – у другій. Спектральне розділення кожного каналу за індивідуальними довжинами хвиль здійснюється вже смуговими фільтрами, що встановлені в детекторах. Крім того, спеціальний механізм захищає інструмент від прямого освітлення Сонця і він же функціонує як калібрувальний пристрій, збираючи сонячне світло після відбиття дифузором [5].

Зображення стискаються на борту супутника для того, щоб скоротити об'єм даних, які передаються з космосу до Землі. Перед компресією, вони грубо еквалізуються, щоб мінімізувати сигнальну ентропію і підвищити якість компресії. Алгоритм компресії базується на застосуванні дискретного вейвлет-перетворення і є наближеним до стандарту JPEG2000. Ступені стиснення доволі низькі, що дає змогу в цілому зберегти якість зображення, і для кожного з каналів окремі [6].

Загалом, у попередній обробці супутникового зображення можна виділити наступні етапи:

1. Геоприв'язка;
2. Ортокорекція;
3. Радіометрична корекція та калібрування;
4. Атмосферна корекція.

Приблизна геоприв'язка обчислюється по вихідному положенню супутника на орбіті і геометрії зображення. Уточнення геоприв'язки виконується по наземним точкам прив'язки (Ground Control Points - GCP). Здійснюється пошук контрольних точок на карті і на знімку, а знаючи їх координати в різних системах координат, можна знайти варіанти перетворення (конформне, афінне, перспективне або поліноміальне) з однієї системи координат в іншу.

Ортокоректування зображення - процес геометричної корекції зображень, при якому усуваються перспективні спотворення, розвороти, спотворення викликані викривленнями об'єктива тощо. Зображення при цьому приводиться до планової проекції, тобто такий, при якій кожна точка місцевості спостерігається строго вертикально, в надир. Так як супутники здійснюють зйомку з дуже великої висоти, то при зйомці в надирі спотворення повинні бути мінімальними. Але космічний апарат не може весь час знімати в надирі, інакше довелося б дуже довго чекати моменту, коли він пройде над заданою точкою. Для усунення цього недоліку супутник "обертають", і більшість кадрів виходять перспективними. Слід зауважити, що кути зйомки можуть досягати 45 градусів, і при великій висоті це призводить до значних спотворень. Ортокорекцію потрібно проводити, якщо потрібні вимірювальні і позиційні властивості зображення. Вона виконується за допомогою реконструкції геометрії датчика в момент реєстрації для кожного рядка зображення і поданні рельєфу в растровому вигляді. Для цього модель камери супутника представляється у вигляді узагальнених апроксимуючих функцій (раціональних поліномів - RPC коефіцієнтів), а висотні дані можуть бути отримані в результаті наземних вимірювань, за допомогою горизонталей з топографічної карти, стереозйомки, по радарним даними або з загальнодоступних грубих цифрових моделей рельєфу: SRTM (розрізнення 30-90 м) і ASTER GDEM (розрізнення 15-90 м).

Радіометрична корекція – виправлення на етапі попередньої підготовки знімків апаратних радіометричних спотворень, обумовлених характеристиками знімального приладу. Для сканерних знімальних приладів такі дефекти спостерігаються візуально як модуляція зображення (вертикальні і горизонтальні смуги). При радіометричній корекції та-

кож видаляються спотворення зображення, які спостерігаються як дефектні пікселі зображення.

Радіометричну корекцію можна здійснювати або на основі статистичних даних або з використанням відомих параметрів і налаштувань знімального приладу (коригувальних таблиць). У другому випадку необхідні коригувальні параметри визначаються для знімального приладу на основі тривалих наземних і польотних випробувань. Корекція статистичним методом виконується шляхом виявлення дефекту і його характеристик безпосередньо з самого зображення, що підлягає корекції. Знімки, що спочатку отримуються з супутників, записані у вигляді так званих “сиріх” значень яскравості DN (Digital Number). Дані в такому форматі не можна адекватно зіставити з даними інших зйомок. Завдання радіометричного калібрування полягає в приведенні цих значень у фізичні одиниці. Загальна формула для калібрування багатозональних знімків в оптичному діапазоні:

$$B_{\lambda} = K_{\lambda} \cdot DN_{\lambda} + C_{\lambda}, \quad (1)$$

де B_{λ} – енергетична яскравість для спектральної зони λ , DN_{λ} – “сирі” значення яскравості, K_{λ} – калібрувальний коефіцієнт, C_{λ} – калібрувальна константа.

Слід враховувати який рівень (відповідна ступінь обробки супутникових даних) продукту надається постачальником. Європейське космічне агентство вільно розповсюджує дані сенсора Sentinel-2 рівня Level-1C (так звані відбиття на поверхні атмосфери – Top-Of-Atmosphere), що мають доволі виский ступінь обробки, однак потребують і деякої подальшої обробки для покращення сприйняття і використання – корекції хмарності і видалення серпанку та водних випаровувань. Згідно з розрахунками, вплив атмосфери призводить в першу чергу до зміни спектральних характеристик випромінювання, що реєструється. Разом з тим у типовій ситуації повну модель атмосфери неможливо застосувати одразу до усіх пікселів космічного знімка. Існують різні алгоритми виконання атмосферної корекції (наприклад метод DOS - Dark Object Subtraction [7]). Вхідними параметрами для моделей слугують: геометрія розташування Сонця і датчика, атмосферна модель для газоподібних компонентів, модель аерозоля (тип і концентрація), оптична товщина атмосфери, коефіцієнт поверхневого відображення і спектральні канали. Для атмосферної корекції можна також застосовувати різні алгоритми видалення серпанку із зображення, наприклад Single Image Haze Removal Using Dark Channel Prior або алгоритм із застосуванням так званої карти товщини серпанку – Haze Thickness Map [8, 9].

Якщо ж відзначати процес саме радіометричного калібрування, то серед популярних супутників її здебільшого потребують сенсори серії Landsat (на відміну від даних рівня Level-1C супутника Sentinel 2, калібрування яких користувачами вже майже не впливає на якість зображення, а здійснюється на практиці простим множенням значення пікселя на константу). Окрім багатоступеневої системи калібрувань перед запуском самого супутника обидва сенсори Landsat 8, багатоспектральний OLI та термальний TIRS, обслуговуються під час функціонування окремою командою. Ця команда оновлює файли калібрувальних параметрів, що містять необхідні для калібрування параметри, щонайменше раз на три місяці. Тому безкоштовні дані рівня Level-1 Landsat 8 можливо покращити, застосовуючи потрібну інформацію з метаданих кожної сцени, а саме фактори яскравості та відбиття – RADIANCE_MULT_BAND, RADIANCE_ADD_BAND, REFLECTANCE_MULT_BAND, REFLECTANCE_ADD_BAND, що є специфічними для кожного з каналів, і кут нахилу Сонця на момент зйомки даної сцени SUN_ELEVATION. Співвідношення для яскравості:

$$L_{\lambda} = M_L \cdot Q_{cal} + A_L, \quad (2)$$

де M_L і A_L – це і є RADIANCE_MULT_BAND та RADIANCE_ADD_BAND відповідно.

Перетворення у значення відбиття на поверхні атмосфери має наступний вигляд:

$$\rho_{\lambda}' = M_{\rho} \cdot Q_{cal} + A_{\rho}, \quad (3)$$

де M_{ρ} і A_{ρ} – відповідно REFLECTANCE_MULT_BAND і REFLECTANCE_ADD_BAND.

Причому для отримання істинного значення відбиття необхідно врахувати кут нахилу Сонця (θ – SUN_ELEVATION) за формулою:

$$\rho_{\lambda} = \frac{\rho_{\lambda}'}{\sin(\theta)}. \quad (4)$$

Різницю між відкаліброваними і необробленими даними найкраще помітно при візуалізації індексів, наприклад нормалізованого вегетативного NDVI, що і наведено на рисунку 1. Індекс на основі відкаліброваних даних має більш правильні значення і коректніше відображає рослинний покрив на цифровому зображенні.



а) б)
Рисунок 1 – Візуалізація індексу NDVI на основі:
а) необроблених даних; б) відкаліброваних даних

Висновки. В роботі проведено аналіз процесів попередньої обробки знімків супутників Landsat-8 та Sentinel-2, розглянуто можливості здійснення калібрування користувачем на основі даних, що надаються постачальниками у режимі відкритого доступу. Результати дослідження свідчать про застосовність і достатність калібрувальної інформації, наведеної у метаданих сцени для здійснення необхідного калібрування сцени користувачем із застосуванням запропонованих формул.

ЛІТЕРАТУРА

1. Hnatushenko V.V., Kavats O.O., Kibukevych I.O. Efficiency determination of scanner data fusion methods of space multispectral images. International Young Scientists Forum on Applied Physics «YSF-2015». Dnipropetrovsk, Ukraine. Doi: 10.1109/YSF.2015.7333153
2. Гнатушенко В.В. Геометричні моделі формування та попередньої обробки цифрових фотограмметричних зображень високого просторового розрізнення: Автореферат дис... д-ра наук: 05.01.01 - К.: КНУБА, 2008. 25 с.
3. Landsat 8 (L8) Data Users Handbook [ел. ресурс] / Реж. доступу: <https://landsat.usgs.gov/landsat-8-l8-data-users-handbook>
4. Jacobsen K. Geometry of satellite images—calibration and mathematical models. Korean Society of Remote Sensing (Hrsg.):ISPRS international conference,Jeju,2004 pp.182-185.
5. Sentinel-2 User Handbook [ел. ресурс]/
Реж.доступу: https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/document-library/-/asset_publisher/xlslt4309D5h/content/sentinel-2-user-handbook
6. Gascon, F.; Thépaut, O.; Jung, M.; Francesconi, B.; Louis, J.; Lonjou, V.; Lafrance, B.; Massera, S.; Gaudel-Vacaresse, A.; Languille, F.; Alhammoud, B.; Viallefont, F.; Bieniarz, J.; Pflug, B.; Clerc, S.; Pessiot, L.; Trřimas, T.; Cadau, E.; De Bonis, R.; Isola, C.; Martimort, P.; Fernandez, V. Copernicus Sentinel-2 Calibration and Products Validation Status. Preprints 2016, 2016100078 (doi: 10.20944/preprints201610.0078.v1).
7. Song, C., Woodcock, C.E., Seto, K.C., Lenney, M.P. and Macomber, S.A. Classification and change detection using Landsat TM data: when and how to correct atmospheric effects. Remote Sensing of Environment 75, 2001, 230-244.
8. K. He, J. Sun, X. Tang, "Single image haze removal using dark channel prior", PAMI, vol. 33, no. 12, pp. 2341-2353, 2011.
9. A. Makarau, R. Ritcher, R. Muller, P. Reinartz, "Haze detection and removal in remotely sensed multispectral imagery", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 52, no. 9, pp. 5895-5905, 2014.

О.С. Волковський, А.О. Дмитренко

МЕТОДИКА РОЗРОБКИ СКЛАДНИХ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ

Анотація. Дана оцінка існуючим методам розробки складних програмних систем. Враховуючи виявлені проблеми розробки складного програмного забезпечення, запропонована методика, використання якої дозволить контролювати та продовжувати життєвий цикл системи, зменшити витрати на її модифікацію та супроводження, а також гнучко адаптувати її до нових потреб користувача, наглядно відображаючи структуру системи.

Вступ. Розробка складного програмного забезпечення (ПЗ) є молодю галуззю, яка швидко розвивається в умовах сучасної комп'ютерної науки, котра схильна до постійних і швидких змін. У зв'язку з ускладненням ПЗ стало очевидно, що його важко модифікувати. З'явилася потреба в створенні технології розробки складних програмних засобів і алгоритмічних методів їх проектування для значного і суттєвого поліпшення продуктивності праці розробників. Глобальні зміни в галузі створення ПЗ були обумовлені швидким зростанням попиту на ринку програмного продукту – особливо тієї частини розроблених програм, яка отримується користувачем у вигляді готових до експлуатації пакетів програм різного призначення.

Світовий досвід розробки ПЗ дозволив виділити декілька загальноприйнятих моделей створення складних програмних систем (СПС). Ці моделі призначені для встановлення чіткої регламентації етапів і змісту робіт на кожному кроці, методів і процедур виконання самих робіт, складу і змісту розроблюваної документації. Чіткі моделі дозволяють істотно підвищити ефективність процесу розробки складних програмних комплексів, оптимально організувати управління розробкою, планувати і контролювати терміни виконання окремих етапів, правильно розподілити роботу в колективі розробників. В результаті вдається помітно знизити витрати на розробку програмного продукту і підвищити його якість.

Одним з базових понять методології проектування СПС є поняття життєвого циклу її ПЗ. Життєвий цикл ПЗ – це безперервний процес,

який починається з моменту прийняття рішення про необхідність створення ПЗ і закінчується в момент його повного вилучення з експлуатації.

Для успішної реалізації проекту об'єкт проектування інформаційної системи (ІС) повинен бути перш за все адекватно описаним, повинні бути побудовані повні й не суперечливі функціональні та інформаційні моделі ІС [1].

Накопичений до теперішнього часу досвід проектування ІС показав, що це логічно складна, трудомістка і тривала за часом робота, котра вимагає високої кваліфікації фахівців, які беруть участь у ній. Однак до недавнього часу проектування ІС виконувалося в основному на інтуїтивному рівні із застосуванням неформалізованих методів, заснованих на практичному досвіді, експертних оцінках і дорогих експериментальних перевірках якості функціонування ІС. Окрім того, в процесі створення і функціонування ІС інформаційні потреби користувачів можуть змінюватися чи уточнюватися, що ще більше ускладнює розробку і супровід таких систем.

Управління конфігурацією є одним з допоміжних процесів, які підтримують основні процеси життєвого циклу ПЗ, перш за все процеси розробки і супроводу ПЗ. При створенні проектів складних ІС, що складаються з багатьох компонентів, кожен з яких може мати різновиди чи версії, виникає проблема обліку їх зв'язків і функцій, створення уніфікованої структури і забезпечення розвитку всієї системи. Управління конфігурацією дозволить організувати, систематично враховувати і контролювати внесення змін в ПЗ на всіх стадіях ЖЦ.

Постановка проблеми. Користувачі, котрі працюють з СПС, мають у процесі своєї роботи не помічати внесення в неї нових функцій або усунення помилок. Необхідна також наявність проектної документації, яка дозволяла б розвивати програму, навіть не тим розробникам, які її створювали без великих витрат на зворотну розробку. Окрім того, додатковими факторами, що збільшують складність розробки програмних систем, є:

- складність формального визначення вимог до програмних систем;
- відсутність задовільних засобів опису поведінки дискретних систем з великим числом станів при недетермінованій послідовності вхідних впливів;
- колективна розробка;
- необхідність вирішення проблеми дублювання коду.

На складність розроблюваного програмного продукту також впливає і прагнення до створення бібліотек компонентів, які можна було б використовувати в подальших розробках. Однак в цьому випадку компоненти доводиться робити більш універсальними, що в кінцевому підсумку збільшує складність розробки.

Разом узяті ці всі фактори суттєво збільшують складність процесу розробки. Однак очевидно, що всі вони безпосередньо пов'язані зі складністю об'єкта самої розробки - програмної системи.

На сьогоднішній день, виходячи з вищезазначеного, актуальним є створення єдиної методології складних інформаційних систем, яка вирішує вищеперераховані проблеми ПЗ.

Аналіз останніх розробок й публікацій. На сьогоднішній день не існує програмних (алгоритмічних) рішень в створенні технологій розробки складних комп'ютерних систем. Зазвичай, цю проблему намагаються вирішити за допомогою використання інструментів планування виконання завдань. Прикладом такого інструментарію може служити методологія Scrum, найважливіші умови якої це незмінність певних функцій під час виконання однієї ітерації і суворе дотримання термінів випуску чергового релізу, навіть якщо до його випуску не вдасться реалізувати весь запланований функціонал. Керівник розробки проводить щоденні 20 хвилинні наради, які так і називають - scrum, результатом яких є визначення функцій системи, реалізованих за попередній день, виниклі складності і план на наступний день. Такі наради дозволяють постійно відстежувати хід проекту, швидко виявляти виниклі проблеми і оперативно на них реагувати.

Основна частина. В даній роботі представлений підхід до вирішення описаних вище проблем розробки СПС на основі CASE-фреймворку Activiti та фреймворку роботи з БД Liquibase.

Activiti - це програмний фреймворк, спрямований на спрощення процесу розробки та уніфікацію програмного коду за допомогою зв'язку опису алгоритму на мові UML та виконуваного програмного коду на мові Java. Activiti розуміє опис бізнес-процесу в форматі файлів BPMN (Business Process Model and Notation), який є одночасно і описовим і виконуваним, тобто в одному файлі зберігається інформація не тільки про виконувану роботу та зв'язки, але також є інформація про становище цих елементів в просторі відносно один до одного, якщо потрібно буде побачити діаграму процесу. Також BPMN підтримує можливість редагування на мові XML, що дозволяє виключити помилки, що виникають через людсь-

кий фактор. В цьому стандарті є події, логічні оператори; потік управління може розгалужуватися за умовами, може розпаралелюватися і потім сходитися в одну точку [2]. Окрім процесів, є можливість виклику підпроцесу. У доповнення до Activiti йде веб-додаток, що надає інтерфейс для редагування та перегляду бізнес-процесів та плагін до інтегрованої системи розробки Eclipse. З точки зору розробника, Activiti – це набір jar-бібліотек, які можна підключати безпосередньо до веб-додатку та виносити на рівень моделі або на окремий сервер завдяки REST-інтерфейсу. Це означає, що можна відводити навантаження, пов'язане з роботою бізнес-процесів на інший фізичний сервер. Activiti добре підтримує кластеризацію і працює за власною схемою бази даних - можна додати скрипти створення таблиць прямо в свою робочу базу або винести базу на окремий фізичний сервер і отримати незалежність від навантажень власне Activiti і самого додатка. Це може бути дуже корисно, якщо потрібен моніторинг роботи процесів при серйозному навантаженні на основну базу додатка [3,4].

Задачі в BPMN можна розділити на дві групи: ServiceTask (задачі, які виконуються без участі користувача) та UserTask (задачі, яким потрібна участь користувача). Для ServiceTask це означає реалізацію інтерфейсу, що містить метод, в який буде додаватися об'єкт для отримання доступу до поточного екземпляра процесу. Щодо компоненту UserTask, то процес при його обробці зупиняється і UserTask стає доступним певному раніше встановленому користувачу. Завданням користувача стає прийняття рішення про подальший хід бізнес-процесу, що має на увазі заповнення конкретними значеннями заздалегідь встановлених у UserTask змінних та передачу їх на обробку фреймворку Activiti за допомогою спеціальної команди (Complete).

Окрім підтримки та систематизації алгоритмічних компонентів складної програмної системи перед розробниками стає питання цілостності та збереження даних, з яким працює складна програмна система. Для цього було запропоновано використовувати фреймворк автоматичної міграції схем БД Liquibase, який дозволяє мігрувати дані додатку з підтримкою накату змін даних і їх відкату.

Для того, щоб внести зміни в БД, нам необхідно створити файл міграції (changeset), посилання на який потрібно буде вказати у файлі журналу змін (changelog), після чого міграція може бути успішно застосована до цільової БД. Беззаперечною перевагою такого підходу є можливість

виконання відкату створених змін. Liquibase має вбудовану підтримку відкату деяких типів чейнджсетів, наприклад «createTable». Якщо ми викликаємо Liquibase через командний рядок з аргументом «rollbackCount 1» замість «update», відбудеться відкат останнього чейнджсету, однак інші типи чейнджсетів не можуть бути видаленими автоматично.

При виконанні команди «update» для кожного з чейнджсетів відбувається перевірка, чи був він застосований до схеми. Якщо чейнджсет ще не був застосований, відбувається його виконання. Для цього Liquibase намагається зберегти дані в допоміжній таблиці DATABASECHANGELOGS, що містить вже застосовані чейнджсети, а також їх хеш-значення. Хеши використовуються для того, щоб ніхто не зміг змінити вже виконані чейнджсети [5,6].

Для демонстрації гнучкості розробленого інструментарію створення методології розробки СПС був розроблений гіпотетичний бізнес-процес призначення соціальної допомоги дітям (Рис. 1):

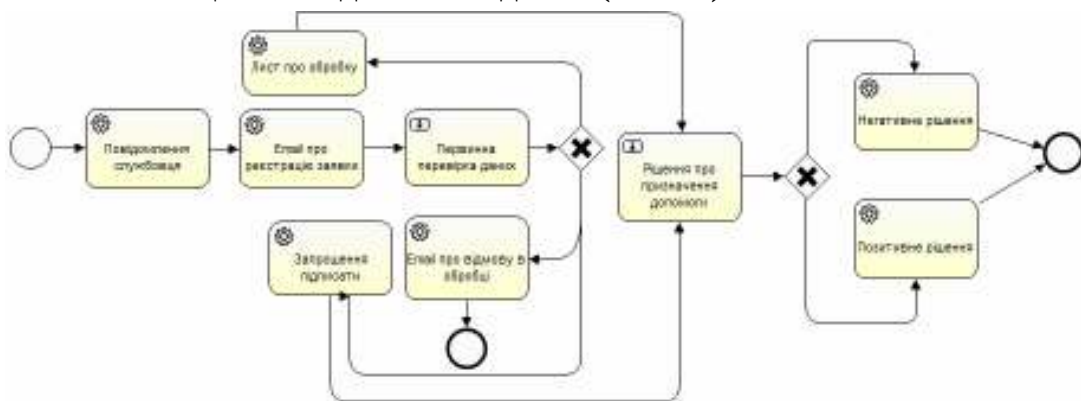


Рисунок 1 - Бізнес-процес соціальної допомоги дітям

Розглянемо реалізований алгоритм:

1. Відбувається старт процесу Activiti за допомогою компоненту StartEvent. StartEvent є базовим компонентом для всіх бізнес-процесів, що створюються за допомогою Activiti та служить як для позначення початку процесу, так і для опису необхідних змінних, які є вхідними параметрами системи. В нашому випадку - це необхідні дані громадянина для надання дитині соціальної допомоги згідно з чинним законодавством (ПІБ дитини, дата народження, свідоцтво про народження, e-mail громадянина тощо).

2. Після старту процесу виникає необхідність повідомити держслужбовця про надходження нової заявки. Це пропонується зробити за допомогою електронного листа, який відправляється на електронну скриньку за допомогою компоненту Servicetask. Компонент Servicetask дозволяє прив'язати клас із програми написаної на мові java та вказати, які змінні будуть передаватися у цю програму. В нашому випадку - це

програма відправки електронного листа, яка приймає на вхід такі значення як заголовок листа, тіло листа, цільовий e-mail. Використовуючи цю властивість `Servicetask`, відбувається відправка листа на заздалегідь заданий e-mail чиновника.

3. Окрім вищесказаного, є необхідність сповістити громадянина про успішне прийняття його заявки в обробку держслужбовцем. Задля цього у системі використовується відправка відповідного листа на e-mail через `Servicetask`. Як було описано раніше, завдяки властивостям `Servicetask` зв'язувати клас з бізнес-процесом ми можемо використати той самий код по відправці електронного листа, що й для пункту 2, замінив лише тіло листа та e-mail, значення якого ми візьмемо зі змінної процесу e-mail, яка була заповнена громадянином на `StartEvent`. Така ситуація прекрасно ілюструє, як фреймворк `Activiti` запобігає дублюванню коду та спрощує його підтримку: з одного боку, складна програмна система komponується із окремих програмних частин зв'язаних між собою лише засобами фреймворку та логікою бізнес-процесу, а з іншого - при необхідності замінити або модифікувати програмний код (у нашому випадку відправка листа) розробник буде працювати з одним класом, зміни якого автоматично підтягнуться в усі бізнес-процеси, які використовують цей клас.

4. На відміну від `ServiceTask` – компоненту, який використовується в операціях де безпосередня участь користувача непотрібна, фреймворк `Activiti` дозволяє впровадити прямий інтерфейс взаємодії користувача та бізнес-процесу за допомогою компоненту `UserTask`. У нашому випадку це необхідно задля прийняття рішення про коректність та повноту заповнених даних, коли бізнес процес доходить до цього етапу, його виконання припиняється, держслужбовець може оцінити вхідні дані, внесені громадянином на `StartEvent`, винести відповідне рішення та оповістити систему про нього, вибравши відповідне значення змінної (decision), після чого продовжити виконання процесу командою `complete`.

5. В залежності від значення decision, заповненої на попередньому кроці за допомогою компоненту `Gateway`, виконується умовний перехід або на наступний етап (значення змінної accept) або до завершення процесу (значення змінної reject). В залежності від результату роботи компоненту `Gateway`, користувачу відправляється лист з відмовою або з інформацією про переведення заявки на наступний етап.

6. За допомогою описаних раніше компонентів `UserTask`, `ServiceTask` та `Gateway` та у разі коректності заповнюваних даних соціальна допомога громадянину або призначається, або відмовляється у призначенні, про що громадянин оповіщається електронним листом. Процес завершується, коли досягає компоненту `EndEvent`.

Як можна було побачити з вищеописаного алгоритму, ми не маємо необхідності на постійне зберігання даних системи: усі дані, що використовуються в роботі процесу, існують лише від початку (`StartEvent`) до його завершення (`EndEvent`). Проте, у реальних системах така схема є неадекватною. Наприклад, кожне місто має у відповідності свій департамент державної установи, яка має призначати соціальну допомогу, інформація про що є стійкою та перебуває у вигляді довідника, з якого громадянин може вибрати, у якому місті та у якій установі він хоче замовити соціальну допомогу для дитини. У разі зберігання таких даних у БД, виникає необхідність редагування та повторного розгортання цих даних при змінах структури установ, що має на увазі залучення спеціалістів відповідної галузі, і, як наслідок – ускладнення роботи системи. Тому, для компонування збереження та автоматичного розгортання у БД такої інформації пропонується використовувати фреймворк `Liquibase`. Структура розробленої БД зображена на Рис. 2.:

1. Користувач вибирає місто (`nIDCity`) та регіон (`nIDRegion`).

2. За допомогою запиту з використанням цих ідентифікаторів у проміжну таблицю `SubjectOrganJoin` ми зможемо знайти перелік органів (`SubjectOrgan`), які можуть надати цю послугу.

Фреймворк `Liquibase` дозволяє зберегти цю структуру та пов'язану з нею інформацію у CSV-файлах, після чого завантажувати та актуалізувати інформацію напряму в БД. Це дозволяє змінювати дані системи не залучаючи при цьому додаткові знання про БД та автоматично розгортати і гнучко змінювати структуру БД на основі чансетів та csv-файлів. Такий підхід повністю відв'язує дані системи від БД, створюючи проміжний контрольний рівень даних - `liquibase`, який не тільки самостійно контролює цілісність даних у бд а ще й уніфікує канал взаємодії системи з БД.

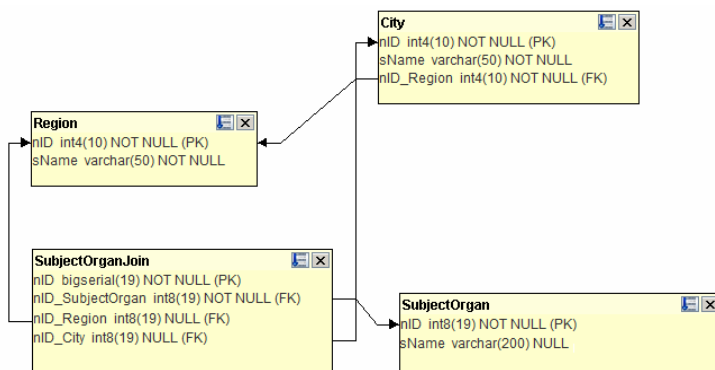


Рисунок 2 – Структура БД

Висновки. Під час дослідження були розглянуті проблеми розробки СПС та розроблена методика їх вирішення за допомогою програмних засобів Activiti та Liquibase. Сумісне використання цих фреймворків у складній програмній системі дозволяє винести архітектуру складної програмної системи над її програмною реалізацією, зробити її дискретною та стійкою до змін. Можливості, описані на прикладі конкретного бізнес-процесу, такі як зв'язок програмного коду та елементу бізнес-процесу, а також можливість впливу користувача на безпосередній хід виконання процесу, дозволяють усунути дублювання програмного коду та створити алгоритмічний рівень взаємодії користувача, з одного боку, та програмного коду, з іншого. Фреймворк Liquibase дозволяє зберігати та оброблювати дані поза межами БД, що вирішує проблему необхідності залучення спеціальних технічних знань щодо роботи з БД (таких як мова SQL) та контролювати цілісність даних у системі. Така методологія дозволяє гнучко змінювати життєвий цикл системи, зменшити витрати на її модифікацію та супроводження, адаптувати її до нових потреб користувача та наглядно відобразити її структуру задля аналізу та оцінок.

ЛІТЕРАТУРА

1. Жалдак М.І., Хомік О.А., Володько І.В., Снігур О.М. Інформаційні технології. Навчально-методичний посібник. К.: 2003. – 194 с.
2. Вендров А.М. Case-технологии. Современные средства и средства проектирования информационных систем. – М.: ФиС, 1998. – 216 с.
3. Documentation Activiti [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://alfresco.com/>
4. Activiti 5.x business process management beginner's guide. Dr. Zakir Laliwala, Irshad Mansuri. Packt publishing – ebooks Account (March 2014). 276 p.
5. Documentation Liquibase: changes, refactorings [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.liquibase.org/documentation/>
6. <https://htmlhook.ru/liquibase.html> [Електронний ресурс].

В.У. Григоренко, О.І. Мазуркевич, С.В. Антоненко
**ФОРМАЛЬНА МОДЕЛЬ ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ЯКОСТІ
ПРОЕКТНО-ОРІЄНТОВАНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ**

Анотація. У роботі запропоновано модель оцінки рівню якості організації, що базується на засадах оцінювання ступеню організаційної зрілості організації, загальних принципах TQM та закономірностях розвитку систем. А також математичну модель оцінювання якості продукту проекту реструктуризації, що, на відміну від існуючих моделей, дозволяє отримати кількісні оцінки якості продукту проекту, виходячи з засад теорії нечіткої логіки та ідеально-матричного моделювання.

Ключові слова: реструктуризація, проект, продукт проекту, якість, організаційна зрілість, розвиток систем.

Постановка проблеми у загальному вигляді. У сучасних умовах становлення ринкових відносин в Україні гостро постає питання підвищення конкурентоспроможності організацій на ринку та їх своєчасної адаптації до змін конкурентного середовища через здійснення процесу повної або часткової реструктуризації. Оскільки всі перетворення здійснюються і досягаються переважно за рахунок реалізації проектів, зростає актуальність дій щодо планування змісту цих проектів і програм, щоб усвідомити, що саме повинно бути зроблено для успішного завершення проекту (програми) та отримання продукту проекту з певними споживчими властивостями. Для того, щоб усі ресурси організації могли ефективно виконувати покладені на них завдання, необхідно забезпечити менеджмент організацій певним інструментарієм, відповідними методами і засобами, у тому числі - і в галузі визначення і формування змісту життєвого циклу проекту, контролю якості, тобто, успішності реалізації проектів і програм тощо. Як відомо, забезпечення якості проекту є однією із ключових функцій проектного менеджменту. Якість – це цілісна сукупність характеристик об'єкта відносно його здатності задовольняти встановлені або передбачувані потреби [1, 2].

Роздивимось детальніше процеси управління якістю у проекті [1,2]:

- Планування якості проекту – це визначення того, які стандарти якості застосовано до даного проекту і як домогтися відповідності цим стандартам.

- Забезпечення якості проекту – це забезпечення відповідної якості продукту проекту та забезпечення задоволення учасників проекту у відповідності до погоджених вимог. Процес забезпечення якості – виконання планових систематичних операцій з якості, що забезпечують виконання всіх передбачених процесів, необхідних для того, щоб проект відповідав обговореним вимогам.

- Контроль якості проекту – включає відстежування певних результатів проекту з метою встановлення того, чи відповідають вони визначеним стандартам якості, а також для визначення шляхів усунення причин незадовільного виконання. Процес контролю якості – це моніторинг певних результатів з метою визначення їхньої відповідності прийнятим стандартам якості та визначення шляхів усунення причин, що викликають незадовільне виконання.

Постійне вдосконалювання. Цикл "планування – виконання – перевірка – вплив на проект" (PDCA) є основою підвищення якості проекту. На додаток до ініціатив з підвищення якості, які практикує команда (як передбачено в моделі TQM), можна підвищити також якість управління проектом і якість продукту проекту шляхом впровадження моделей проектного вдосконалення. Серед таких моделей, що передбачають поліпшення процесів проектного управління, можна назвати Project Management Maturity Model (PMMM) та Company Project Management Maturity Model (CPMMM).

Модель управління якістю, описана у відповідному розділі РМВoК, в основі своїй відповідає вимогам Міжнародної організації зі стандартизації (International Standards Organization - ISO). Ця узагальнена модель враховує також авторські моделі управління якістю, розроблені Тейлором, Демінгом, Джураном, Кросбі та ін.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасну концепцію управління якістю проекту при управлінні проектами викладено у стандарті ISO 10006 [3,4]. Вона базується на загальновідомій методології Загального керування якістю (TQM).

Цілі загального управління якістю:

орієнтація підприємництва на задоволення поточних і потенційних запитів споживачів;

зведення якості в ранг мети підприємництва;

оптимальне використання всіх ресурсів організації.

Складові концепції TQM представлено на рис. 1.

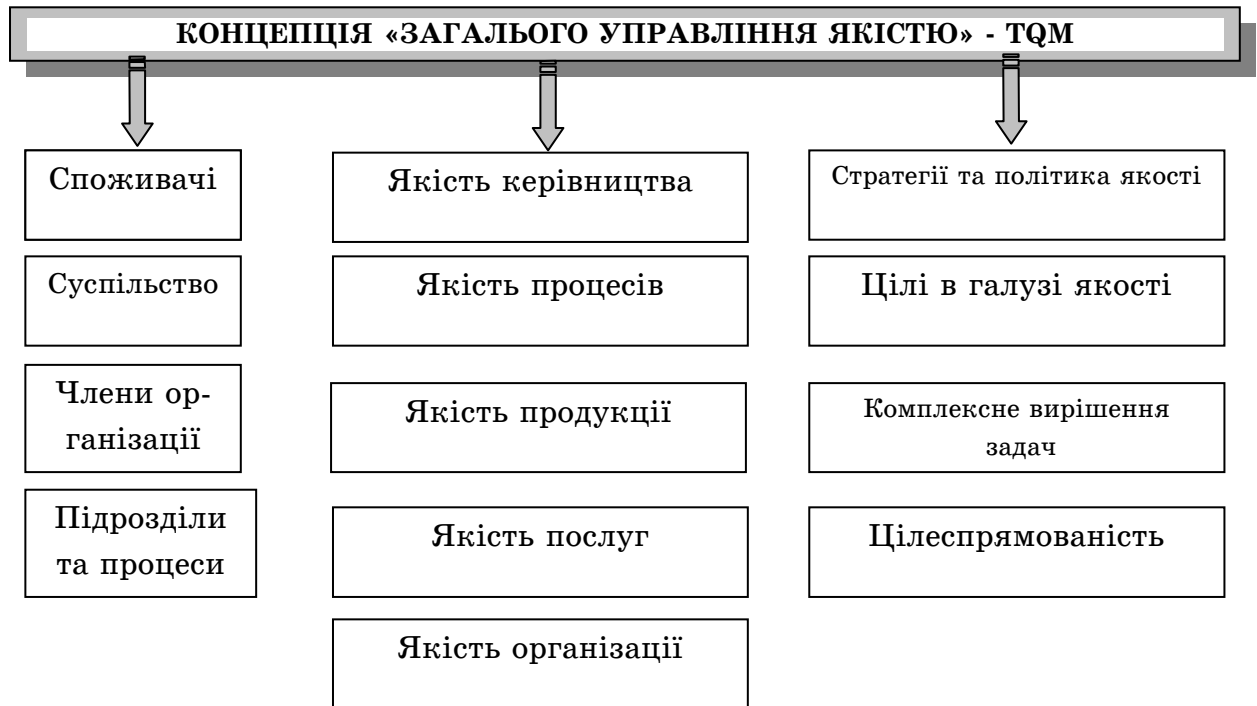


Рисунок 1 - Складові концепції TQM

У середовищі фахівців з TQM визнано наступні вісім принципів, на яких саме й базується ця концепція.

1. Орієнтація організації на споживача В умовах ринкової економіки успішність бізнесу цілком визначається правильністю розуміння потреб ринку, тому будь-яка організація повинна виконувати запити споживачів і прагнути перевершити їх очікування.

Організація, що застосовує концепцію TQM [5], має систематично збирати й аналізувати інформацію, яка надходить із всіляких джерел і дозволяє одержувати обґрунтовані висновки щодо поточних і потенційних потреб окремих споживачів, ринкових сегментів і ринку в цілому.

Необхідною умовою загального управління якістю є поширення інформації із всієї організації та по усій організації.

2. Роль керівництва Керівники організації повинні створити в організації такий мікроклімат, при якому співробітники будуть максимально залучені у процес досягнення поставлених цілей.

3. Залучення співробітників Весь персонал – від вищого керівництва до рядового співробітника, – має бути залучено до діяльності з управління якістю. У концепції TQM персонал розглядається як головний ресурс організації, яка повинна створити всі умови для максимального використання його творчого потенціалу.

При повному залученні співробітників досягається загальний ефект, при якому сукупний результат колективної роботи істотно перевершує суму результатів окремих виконавців.

4. Процесний підхід Для досягнення найкращого результату відповідні ресурси й діяльність, до якої вони залучені, потрібно розглядати як процес. Процесна модель організації містить сукупність бізнес-процесів, учасниками яких є усі ланки й елементи організаційної структури керування. При цьому під бізнес-процесом розуміють сукупність різних видів діяльності, що разом створюють результат, який має цінність для самої організації й споживача. Бізнес-процеси реалізуються за допомогою виконання бізнес-функцій.

У підсумку керування результатами процесу переходить у керування самим процесом. Наступним етапом на шляху до TQM є оптимізація використання ресурсів у кожному виділеному процесі, що базується на найсуворішому контролі над використанням усіх видів ресурсів і пошукові можливостей для зниження витрат на виробництво продукції (надання послуг).

5. Системний підхід до керування. В усіх організаціях, – є вони виробничими концернами, банками, магазинами, університетами або готелями, – й поза ними, завжди має місце ряд «ланцюжків якості» – взаємозалежних процесів, що включають у себе постачальників та споживачів. Наприклад, секретар-референт є постачальником відносно свого начальника: для нього, як для споживача, важливо, чи задовольняються його вимоги до строків і якості оформлення документації. Ці «ланцюжки» можуть бути порушені в будь-якій їхній точці однією людиною або одним елементом устаткування, що не відповідають вимогам споживача, зовнішнього або внутрішнього. Концепція внутрішніх і зовнішніх споживачів і постачальників становить основу загальної концепції якості. Отже, ефективність діяльності організації можна підвищи-

ти за рахунок створення й керування системою взаємозалежних процесів. Це означає, що організація має прагнути до об'єднання процесів створення продукції або послуг із процесами, що дозволяють відстежити відповідність продукції або послуги потребам замовника.

Тільки при системному підході до керування стане можливим ефективно використання зворотного зв'язку зі споживачем для формування стратегічних планів і інтегрованих у них планів з якості.

6. Постійне вдосконалення. Організація має не тільки відслідковувати проблеми, що виникають, але й, після ретельного аналізу з боку керівництва, вживати необхідних корегувальних та попереджуючих дій для запобігання повторній появі таких проблем у майбутньому. Цілі й завдання ґрунтуються на результатах оцінювання ступеню задоволеності замовника (отриманій у ході зворотного зв'язку) і на показниках діяльності самої організації.

Поліпшення має супроводжуватися участю керівництва у цьому процесі, а також забезпеченням всіма ресурсами, необхідними для реалізації поставлених цілей.

7. Прийняття рішень, засноване на фактах. Ефективні рішення ґрунтуються тільки на достовірних даних. Джерелами таких даних можуть бути, наприклад, результати внутрішніх перевірок системи якості, рекламації й претензії споживачів та ін. Крім того, інформація може ґрунтуватися на аналізі пропозицій співробітників організації із приводу зниження витрат, підвищення продуктивності тощо.

8. Взаємовигідні відносини з постачальниками. Кожна організація тісно пов'язана зі своїми постачальниками, тому доцільно налагоджувати з ними взаємовигідні відносини з метою подальшого розширення можливостей діяльності організації.

Виходячи з вищенаведених принципів TQM, ми можемо побачити, що їх виконання тісно пов'язане з “організаційною зрілістю з управління проектами”, що описується, як здібність організації відбирати проекти та управляти ними таким чином, щоб максимально ефективно підтримувати стратегію організації. Перехід на кожен наступний, більш високий, рівень розвитку збільшує конкурентоспроможність організації, дозволяє динамічно реагувати на потреби ринку та оптимально використовувати свої наявні ресурси.

При аналізі існуючих рівнів розвитку організацій можна виділити найпопулярніші моделі рівнів зрілості [6], які найчастіше використовуються у світовій практиці:

- CMM SE (Capability Maturity Model for Software Engineering), розроблена Інститутом інженерії програмного забезпечення;
- Project Framework™, розроблена компанією ESA (США);
- модель зрілості Г. Керцнера (Німеччина);
- модель зрілості компанії PMSolutions (США);
- модель зрілості процесів управління проектами (Project Management Process Maturity Model)
- модель “Організаційна зрілість з управління проектами” (Organizational Project Management Maturity Model), яка створена Американським інститутом управління проектами тощо.

Останні дві моделі отримали найбільшу популярність у рамках оцінки організаційної зрілості з управління проектами. На думку авторів [6,7], ці моделі, а особливо, модель “Організаційна зрілість з управління проектами” повинні бути тим же, що і РМВоК, для фахівців у сфері управління проектами. Більшість моделей використовує п'ятирівневу систему градацій організаційної зрілості з управління проектами, але у кожній моделі використовується своя термінологія.

Автори робіт [7,8,9] наводять модель, що складається із наступних рівнів:

- рівень 0 (неповний процес) - рівень доказу систематичного володіння необхідними атрибутами процесу відсутній або недостатній;
- рівень 1 (процес виконання) - реалізований процес досягає явно ідентифікованих результатів;
- рівень 2 (керований процес) - процес здійснюється під певним цільовим управлінням (тобто підтримується деякий управлінський цикл - процес планується, відстежується, аналізується і налаштовується);
- рівень 3 (сталий процес) - раніше описаний керований процес виконується на основі стандартного процесу-моделі, який заснований на визнаних принципах управління і досягнення результату;
- рівень 4 (процес передбачення) - сталий процес виконується в заданих кількісних межах;
- рівень 5 (процес удосконалення) - передбачений процес динамічно адаптується і змінюється для того, щоб ефективно відповідати поточним і проектованим бізнес-цілям організації.

В результаті наведеного аналізу слід зауважити, що на сьогоднішній день не існує універсальної методики оцінки зрілості. Звичайно, кожна організація застосовує свою модель оцінювання. Як правило, проводиться аналіз документації організації, анкетування, інтерв'ю з персоналом тощо. Але досвід застосування західних методик не зовсім підходить для використання вітчизняними організаціями – майже усі вони знаходяться у межах першого або, у кращому випадку, на другому-третьому рівні зрілості.

Постановка завдання. Розробити формальну модель оцінювання організаційної зрілості підприємства на основі якісного підходу, згідно з принципами моделі TQM.

Виклад основного матеріалу дослідження. На основі наведених принципів та виходячи з принципів системного розвитку організації авторами запропоновано наступну модель оцінювання технологічної зрілості організації, оцінки організаційної зрілості підприємства (рис. 2), де рівень якості є «надсистемним ефектом» від підпорядкування двох систем: технології виготовлення продукту проекту та відповідності проекту цілям зацікавлених осіб.

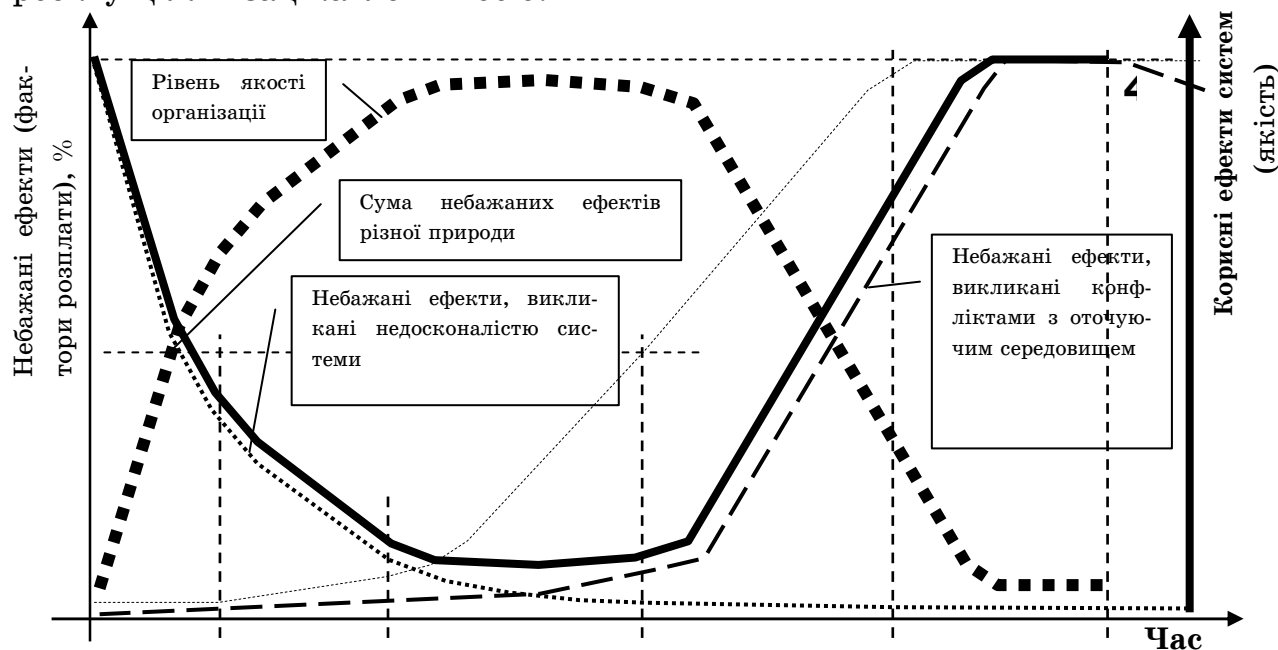


Рисунок 2 - Модель рівня якості організації

Виходячи з моделі наведеної у роботах [8,9,10], та системного підходу, модель рівню якості організації складається з наступних рівнів:

- рівень 0 (неповний процес) - рівень доказу систематичного володіння необхідними атрибутами процесу відсутній або недостатній (відповідає точці початку координат на графіках розвитку систем);

- рівень 1 (процес виконання) - реалізований процес досягає явно ідентифікованих результатів (відтинок до точки 0, тобто продукт, що випускає підприємство, вже є, але ще не є товаром, навіть якщо само підприємство так не вважає);

- рівень 2 (керований процес) - процес здійснюється під певним цільовим управлінням (тобто підтримується деякий управлінський цикл - процес планується, відстежується, аналізується і налаштовується), з точки зору розвитку систем, це – відтинок точки 0 до точки 1, тобто перехід продукту до прийнятого з точки зору споживача товару;

- рівень 3 (сталий процес) - раніше описаний керований процес виконується на основі стандартного процесу-моделі, який засновано на визнаних принципах управління і досягнення результату (відтинок від точки 1 до точки 1,5, тобто організація розробила модель ідеального процесу, реалізації технології виготовлення товару);

- рівень 4 (процес передбачення) - сталий процес виконується в заданих кількісних межах, з точки зору розвитку систем - товар вже є прийнятним для ринку, але недоліки його взаємодії з середовищем починають впливати на виробничі показники (рівень збуту, забруднення навколишнього середовища та інше) відтинок від точки 1.5 до точки 2;

- рівень 5 (процес удосконалення) - передбачений процес динамічно адаптується і змінюється для того, щоб ефективно відповідати поточним і проєктованим бізнес-цілям організації. Основною метою даного рівня є досягнення організацією відтинку 2 – 3, та недопущення перетину межі у точці 3, де падає якість та зростає невдоволеність товаром з боку зацікавлених сторін організації, а також розробка нових альтернативних технологій створення нового продукту, який виконує ту ж або аналогічну функцію.

Виходячи з наведеної моделі, можна побачити, що рівень якості є «надсистемним ефектом» від упорядкування двох систем: технології виготовлення продукту проєкту та відповідності проєкту цілям зацікавлених осіб, що забезпечується двома принципово різними засобами: технологією та адаптацією до вимог ринку.

Ці два показники мають різну природу, тому, з точки зору багатьох авторів, потребують, для свого опису, різних математичних апаратів.

Під дією факторів ринку підприємства можуть бути розташовані в координатах "якість – рентабельність". Тобто організація весь час свого існування стикається з двома класами проблем:

1. Проблеми пов'язані з ринком (тобто проблеми рентабельності).
2. Проблеми пов'язані з продуктом або послугою організації (проблеми якості продукту).

Виходячи з цього, бачимо, що проекти можуть бути усього двох типів: спрямовані на адаптацію організації до ринку, та спрямовані на адаптацію організації до продукту. Згідно з [10], розглянемо більш детально фактори, які впливають на діяльність організації (рис. 3.)

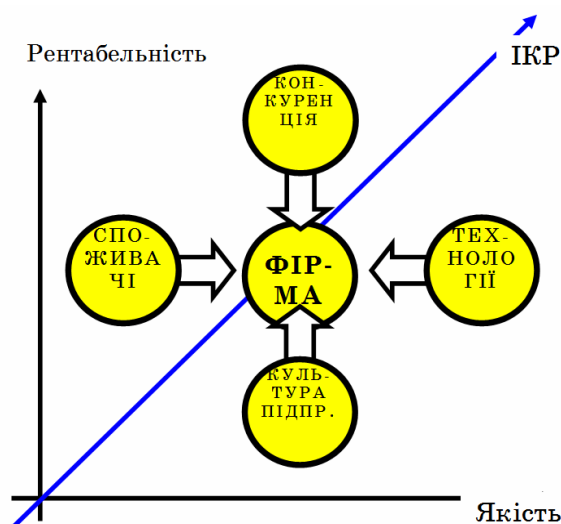


Рисунок 3 - Фактори ринку

Рисунок 3 - Фактори ринку

Чотири групи цих сил далі називатимемо коротко: «Конкуренти», «Споживачі», «Технології» та «Культура підприємництва».

Короткі назви визначають лише джерело формування ринкової позиції фірми, але не вказують на характер впливу відповідних параметрів на фірму і на результати її діяльності.

Кожен з цих параметрів побічно впливає на інші – і, як наслідок, на загальну ринкову позицію організації.

Зміна споживацької поведінки змушує організацію діяти так, аби краще задовольняти нові потреби, а для цього – змінювати своє становище відносно конкурентів і рівень культури підприємництва. *Зміна*

споживацької поведінки примушує організацію розвиватися «вперед». У нашому випадку це є аспект якості пов'язаний з адаптацією до вимог ринку.

Зміна складу технологій формує унікальну торгову пропозицію організації, змінює її положення щодо конкурентів і також пов'язана зі змінами в культурі підприємництва. Старіння технологій зменшує конкурентоспроможність фірми, штовхає її «назад» у ринковому просторі. Якість безпосередньо пов'язана з відповідністю технології реалізації проекту.

Зміна структури конкуренції змінює розподіл платоспроможного попиту між учасниками ринку і впливає як на споживачів, так і на структуру торгової пропозиції організації – під дією конкурентів змінюються вимоги до технологій і якості продукції. Зміна структури конкуренції, як правило, погіршує становище організації, штовхає її «вниз».

Нарешті, *зміна культури підприємництва* змінює і ефективність технологій, і унікальність торгової пропозиції, і репутацію організації (відношення до неї споживачів). Зміна культури підприємництва дає фірмі змогу піднятися «вгору» у просторі ринку.

Як ми бачимо з вищевикладеного, ця модель аналізу стратегічних пріоритетів організації має ряд переваг перед іншими.

По-перше, у ній вперше фактори, що впливають на фірму, розбиті попарно. При цьому у кожній парі один із факторів конструктивний, його "тискові" краще піддатися, а інший – деструктивний і вимагає заходів із захисту фірми від нього. Вплив одного з факторів пари можна якоюсь мірою компенсувати, розвиваючи інший із них. Чітко видно можливості та загрози, що породжуються відповідною ринковою позицією.

По-друге, у цій моделі виділено роль у підвищенні рентабельності організації її культури підприємництва (якої у багатьох наших підприємств недостатньо для зайняття міцних позицій на зовнішньому ринку).

І, по-третє, оцінку організації й за шкалою „Рентабельність” й за шкалою „Якість” може бути визначено кількісно.

В результаті дослідження ми отримали «модель рівня якості підприємства», що спирається на основні принципи моделі TQM, моделі організаційної зрілості підприємства та на основи розвитку систем. Виходячи з наведеної моделі ми можемо побачити, що якість забезпечується

двома принципово різними засобами: технологією та адаптацією до вимог ринку.

Тобто, визначено, що, по-перше, якість - це відповідність характеристик продукту очікуванням споживача, причому й характеристики продукту й очікування споживача є величинами якісними, які не мають абсолютних значень.

По-друге, якщо споживачів більше одного, той самий продукт може мати різну якість щодо різних споживачів.

По-третє, якість продукту визначається не тільки побажаннями, але й технологією виготовлення продукту, тому продукт може мати лише якість, що не перевищує можливостей конкретної технології.

Завдання оцінки якості продукту може бути зведене до знаходження відношення двох параметрів: очікувань споживача й технології виготовлення. Це перший з ключових аспектів якості (аспект відповідності до потреб та очікувань ринку). При цьому технологію виготовлення й просування продукту зазвичай контролюють практично повністю (зокрема, на цьому принципі організовані стандарти якості системи ISO), а відповідність очікуванням контролюється лише зрідка й частково (наприклад, маркетинговими й соціальними дослідженнями).

Пропонується наступна формальна модель оцінки якості продукту проекту. Нехай:

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ - множина робіт проекту (технологічних можливостей організації, використаних для одержання даного продукту);

$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_p\}$ - множина характеристик продукту;

$Z = \{z_1, z_2, \dots, z_m\}$ - множина вимог до продукту з боку споживачів.

Тоді $\Phi_R : X \times Y \rightarrow [0, 1]$ - функція приналежності нечіткого відношення R (у матричній формі - $\|\Phi_R(x, y)\|$). Для всіх $x \in X$ і всіх $y \in Y$ функція $\Phi_R(x, y)$ - ступінь значущості виконання певної роботи для реалізації відповідної характеристики продукту проекту.

Нехай $\pi : Y \times Z \rightarrow [0, 1]$ є функція приналежності нечіткого відношення S . Для всіх $y \in Y$ і всіх $z \in Z$ $\pi_s(y, z)$ - міра приналежності або ступінь сумісності характеристик продукту зі споживчими вимогами до даного продукту. У матричній формі це відношення - $\|\pi_s(y, z)\|$.

Тепер отримаємо відношення $T : X \times Z \rightarrow [0,1]$, елементи якого визначаються наступною функцією приналежності

$$\mu_{A_i}(x, z_i) = \sup_{y \in Y} \{ \Phi_R(x, y) \cdot \pi_s(y, z_i) \} \text{ для всіх } x \in X, y \in Y, z \in Z \quad (1)$$

У матричній формі це відношення - $\| \mu_A(x, z) \|$.

Таким чином, відношення:

$$\frac{\sum_{i=1} \mu_{A_i}(x, z)}{\sum_{i=1} \mu_{A_i}(x, z)_{\text{Еталон}}} \times 100\%, \quad (2)$$

визначає можливості організації реалізувати очікування споживачів по даному продуктові, тобто, визначає якість продукту для даного споживача. $\sum \mu_{A_i}(x, z)_{\text{Еталон}}$ розраховується за формулою:

$$\sum \mu_{A_i}(x, z)_{\text{Еталон}} = \sum_{i=1} \sup_{y \in Y} \{ \Phi_R(x, y)_{\text{Еталон}} \cdot \pi_s(y, z_i)_{\text{Еталон}} \} \quad (3)$$

для всіх $x \in X, y \in Y, z \in Z$,

де значення $\Phi_R(x, y) = \max$ й $\pi_s(y, z) = \max$.

Дану оцінку може бути розподілено на оцінку технології виготовлення продукту й на оцінку задоволення потреб конкретного споживача. Для цього рекомендується розрахувати двоє відношень.

Перше відношення - оцінка технології, - має такий вигляд

$$\left(\frac{\sum \mu_{A_i}(x, z_i)}{\sum \sup_{y \in Y} \{ \Phi_R(x, y)_{\text{Еталон}} \cdot \pi_s(y, z_i) \}} \right) \times 100\% \text{ для всіх } x \in X, y \in Y, z \in Z \quad (4)$$

Друге відношення - відповідність до потреб, - має вигляд

$$\left(\frac{\sum \mu_{A_i}(x, z_i)}{\sum \sup_{y \in Y} \{ \Phi_R(x, y) \cdot \pi_s(y, z_i)_{\text{Еталон}} \}} \right) \times 100\% \quad (5)$$

Таким чином, запропонована технологія оцінки якості за допомогою рівняння (5), використовуючи основні засади теорії нечіткої логіки, враховує відповідність характеристик продукту очікуванням будь-якої кількості споживачів і можливості конкретної технології виготовлення продукту. Технологія дозволяє оцінити якість у кількісному вираженні, а також порівняти якість різних проектів, продуктів, підприємств тощо.

Висновки з даного дослідження. В результаті дослідження ми отримали «модель рівня якості підприємства», що спирається на основні принципи моделі TQM, моделі організаційної зрілості підприємства та на основи розвитку систем. Виходячи з наведеної моделі ми можемо побачити, що якість може забезпечуватися двома принципово різними засобами: впровадженням новітніх технологій або адаптацією до вимог ринку.

Також запропоновано формальну модель оцінки якості, яка використовує основні засади теорії нечіткої логіки й ідеально-матричного моделювання, та, на відміну від існуючих, враховує відповідність характеристик проекту очікуванням будь-якої кількості споживачів, а також дозволяє оцінити можливість конкретної технології виготовлення продукту. Модель оцінює якість у кількісному вираженні, а також порівнює якість різних проектів, продуктів, підприємств, тощо.

ЛІТЕРАТУРА

1. Керівництво з питань проектного менеджменту РМВоК. / Під ред. проф. С.Д. Бушуєва – К.: Ділова Україна, 2000.– 198 с.
2. Управление качеством / И.И. Мазур, В.Д. Шапиро – М.: Высш.шк., 2003.–334 с.
3. Краснощеков П.С. Принципы построения моделей / П.С Краснощеков., А.А. Петров – М.: ЮНИТИ, 1998. – 240 с.
4. Кучеренко В. Р. Управління діловими проектами / В. Р. Кучеренко, О. С. Маркітан. – К.: Центр навчальної літератури, 2005. – 280 с.
5. Клиффорд Ф. Грей. Управление проектами: Практическое руководство / Ф. Грей Клиффорд, Эрик У. Ларсон; [пер. с англ.]. – М.: Издательство «Дело и Сервис», 2003. – 528 с.
6. Ильин В. В. Система управления качеством. Российский опыт / В. Ильин. – СПб.: Невский проспект; Вектор, 2007. – С. 49–52.
7. Пять уровней организационной зрелости предприятий по классификации Capability Maturity Model [адрес доступа www.microsoft.com]
8. Грашина М. Основы управления проектами / М. Грашина, В. Дункан. – СПб.: Питер, 2006. – 208 с.
9. Мишин С. Уровень зрелости организации [адрес доступа www.ippnou.ru] / С. Мишин // – 2007.
10. Управління проектами/ Під ред. С.К. Чернова и В.В. Малого: Навчальний посібник. – Миколаїв, НУК, 2010. – 354 с.

Тяньи Лю, А.Г. Величко, В.С. Гришин, А.В. Мельничук

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ШТАМПОВКИ ВЕНЦА И КОРПУСА НАКОНЕЧНИКОВ КИСЛОРОДНЫХ ФУРМ

Аннотация. С использованием моделирования процесса штамповки венца и корпус наконечников кислородных фурм, были проанализированы конструкции разработанных штампов, заданы режимы обработки и их влияние на пластическую деформацию меди и стали.

Показано, что изготовление медного венца и стального корпуса из штампованных заготовок позволяет сберечь материальные ресурсы, сохранить технологическое время на изготовление деталей сложной формы.

Разработанная геометрия штампа позволяет безподналадки на протяжении всего хода ползуна обеспечить надежную работу выталкивающих устройств, свободный и безопасный доступ в зону штамповки и удобство обслуживания штампа.

Ключевые слова: Фурма, венец, штамп, конструкция, технология, медь, моделирование, пластическая деформация, износ.

Введение. В практике формообразующими методами производства наконечников кислородных фурм являются литье, штамповка и технологии механической обработки медных и стальных заготовок [1-3].

При изготовлении медных наконечников, используя применение новых методов литья меди, не обеспечиваются герметичности и теплопроводность материала, качество рабочих поверхностей из-за раковин и неметаллических включений.

Сложность производства отливок из чистой меди и связана с низкой прочностью меди при температурах близких к температуре плавления, что может формировать трещины в литье. Для борьбы с трещинообразованием используют максимально раскисленный расплав без избытка фосфора; применяют формовочные смеси, не препятствующие усадке отливки при кристаллизации и охлаждении, задают технологию, обеспечивающую требуемую направленность кристаллизации и способствующую уменьшению усадочных напряжений в охлаждающейся отливке. Технология производства в сухие песча-

ные формы из холоднотвердеющих смесей не обеспечивает необходимого качества изделия из-за газоусадочной пористости, окисления меди в процессе заливки в форму [4].

Разработанные конструкции цельноточенных наконечников фурм показали их достаточно высокую технологическую эффективность при выплавке стали [5]. Однако само их изготовление из цельной заготовки из проката является нетехнологичным, т.к. значительная часть дорогостоящей меди уходит в стружку. Кроме этого, как отмечают сами авторы, во время эксплуатации происходит характерный износ (разгар) торцевой поверхности наконечника в зоне сосредоточения отводящих воду проточек соплового блока. Это вызвано неравномерностью условий охлаждения из-за направленного одноуровневого движения воды. Поэтому ресурс сберегающие методы формообразования заготовок деталей наконечников и их изготовление с минимальной себестоимостью являются актуальной задачей.

Предпосылки и средства для решения проблемы. Целью настоящей работы является компьютерное моделирование процесса формообразования деталей наконечников штамповкой и на основании этого разработка и изготовление штамповой оснастки.

Решении рассматриваемой проблемы. В наконечнике кислородно-конвертерной фурмы, разработанной авторами (рис. 1) основными частями являются медный венец (рис. 2.а) и стальной корпус (2-б), выполненные штамповкой в закрытых штампах.



Рисунок 1 - Составляющие наконечника кислородно-конвертерной фурмы

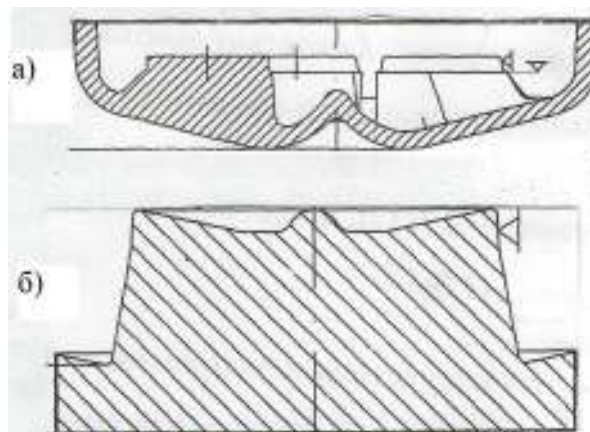


Рисунок 2 - Штампованные детали наконечника фурмы: а) - медный венец; б) - стальной корпус

Для изготовления медного венца использовали медный пруток М1 диаметром 120 мм, порезанный на мерные длины. Размеры заготовок и поковок рассчитывали по принятым методикам исходя из равенства объемов металла с учетом потерь на угар и отходы.

Использование цилиндрической заготовки для получения достаточно сложного геометрического тела (рис. 2а), предполагает несколько стадий обработки. Особенно это касается медного венца, т.к. физико-механические свойства меди (прежде всего высокая теплопроводность) приводят к быстрой потере температуры во время штамповки и, тем самым, к геометрическим погрешностям венца и другим дефектам.

Для штамповки медного венца и стального корпуса наконечника фурмы разработаны штампы сборной конструкции, состоящие из постоянного пакета и сменных рабочих частей (рис.3,4). Пакет состоит из верхней и нижней частей и включает четыре основные группы деталей: опорно-несущие детали (башмаки, плиты), направляющие детали (колонки, втулки), детали для установки и крепления инструмента (державки, пуансонодержатели, прижимы) детали выталкивающего механизма (выталкиватели, втулки и др.). Сменными рабочими частями являются матрицы, пуансоны, выталкиватели.

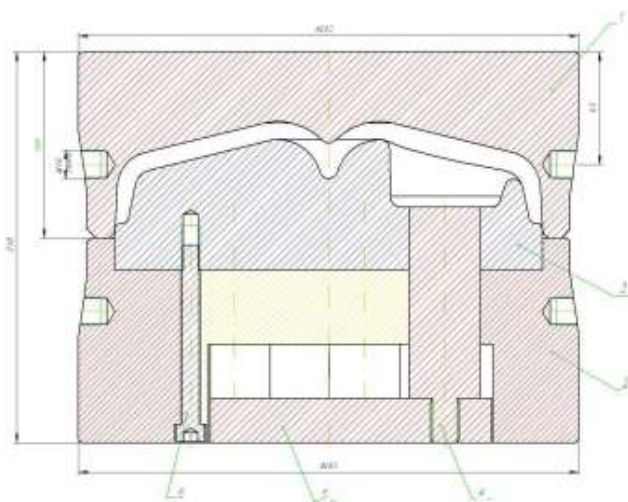


Рисунок 3 - Схема штампа для объемной штамповки медного венца фурмы: 1-матрица; 2-обойма; 3-пуансон; 4-выталкиватель

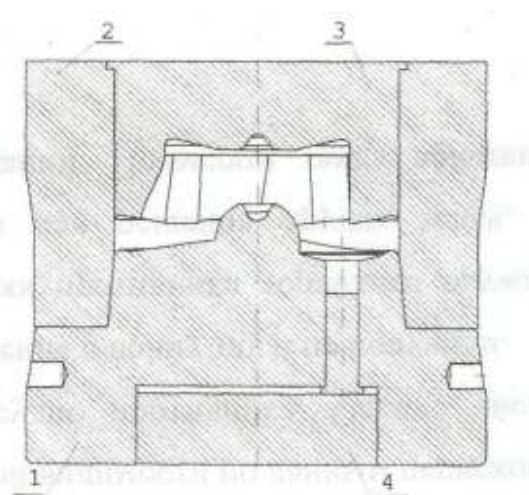


Рисунок 4 - Схема штампа для объемной штамповки стального корпуса фурмы: 1-матрица; 2-обойма; 3-пуансон; 4-выталкиватель

Технологию штамповки медного венца в разработанном штампе моделировали с использованием программного продукта MSC SuperForge.

С целью отслеживания поверхности обрабатываемой детали в ходе моделирования в MSC SuperForge применяли концепцию фасеточной (многогранной) поверхности (facetsurfact). При этом течение материала сквозь сетку Эйлера, автоматически ограничивалось геометрией поверхности, состоящей из треугольных граней. Эти грани представляли собой не конечные элементы, а геометричные объекты, которые в совокупности обеспечивали удобный механизм отслеживания формы поверхности моделируемой детали. Движение фасеточной поверхности ограничивали свойствами заключенного в ней материала и тем самым задавали точное приложение граничных условий не только при воздействии инструмента, но и в случае свободной поверхности самой детали.

Результаты и дискуссия. Программа MSC SuperForge дает возможность автоматически повышать точность представления фасеточной поверхности в процессе моделирования с помощью алгоритма – ResolutionEnhancementTechnology (RET). Постоянное повышение точности отображения многогранной поверхности необходимо для адекватного отслеживания, изменяющейся в сторону усложнения геометрии детали. Алгоритм RET в процессе деформации обрабатываемой детали позволял использовать сравнительно грубую первоначальную фасеточную поверхность для представления простой геометрии заготовки, а затем, в процессе моделирования, улучшать отображение всех особенностей усложняющейся геометрии.

Взаимодействие между жестким инструментом (штампом) и деформируемым материалом заготовки моделировали в условиях контактных поверхностей между инструментом и поверхностью заготовки. В процессе моделирования контактные условия постоянно обновляли, отражая движение инструмента и деформацию материала, фактически моделируя скольжение между пуансоном, матрицей и материалом обрабатываемого венца.

Из рекомендованного диапазона 1050-750°C температур горячей деформации меди [6] принят нагрев венца наконечника фурмы - 800°C. При этой температуре происходит незначительная анизотропия механических свойств, вызывающей образование фестонов при глубо-

кой вытяжке. Моделирование процесса штамповки (для дугостаторного 250-ти тонного пресса), при такой температуре, показало, что заготовку надо нагревать дважды, при этом процесс разделяли на несколько стадий с различными усилиями штамповки в процентном отношении от максимального усилия пресса. После первого нагрева деформация заготовок проходила при отсутствии ее контакта с боковыми стенками полости штампа. На этой стадии проходит осадка, вдавливание металла в углубления (рис.5).

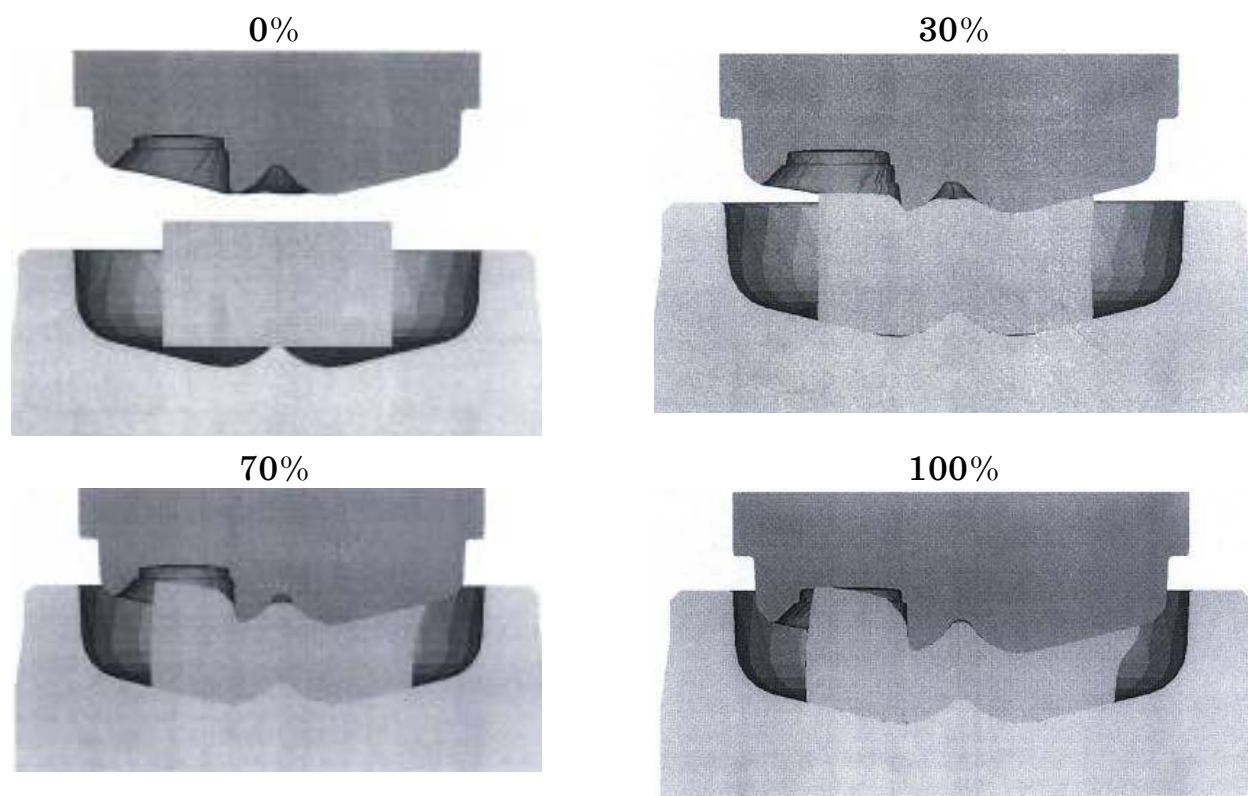


Рисунок 5 - Моделирование пластичности меди при штамповке венца (1 нагрев)

На последней стадии заготовка заполняет полость штампа и обеспечивает условия заполнения металлом углов полости.

Для обеспечения удаления паковки из полости штампа боковые стенки полости выполняют с уклоном (3-50), а сам штамп снабжен выталкивателями (рис.7)

Для изготовления корпуса наконечника фурмы применяли сталь 10 горячекатанную круглую диаметром 90 мм. Выбор этой стали обусловлен тем, что она хорошо деформируется, не склонна к отпускной хрупкости, хорошо сваривается и может претерпевать значительные пластические деформации [6].

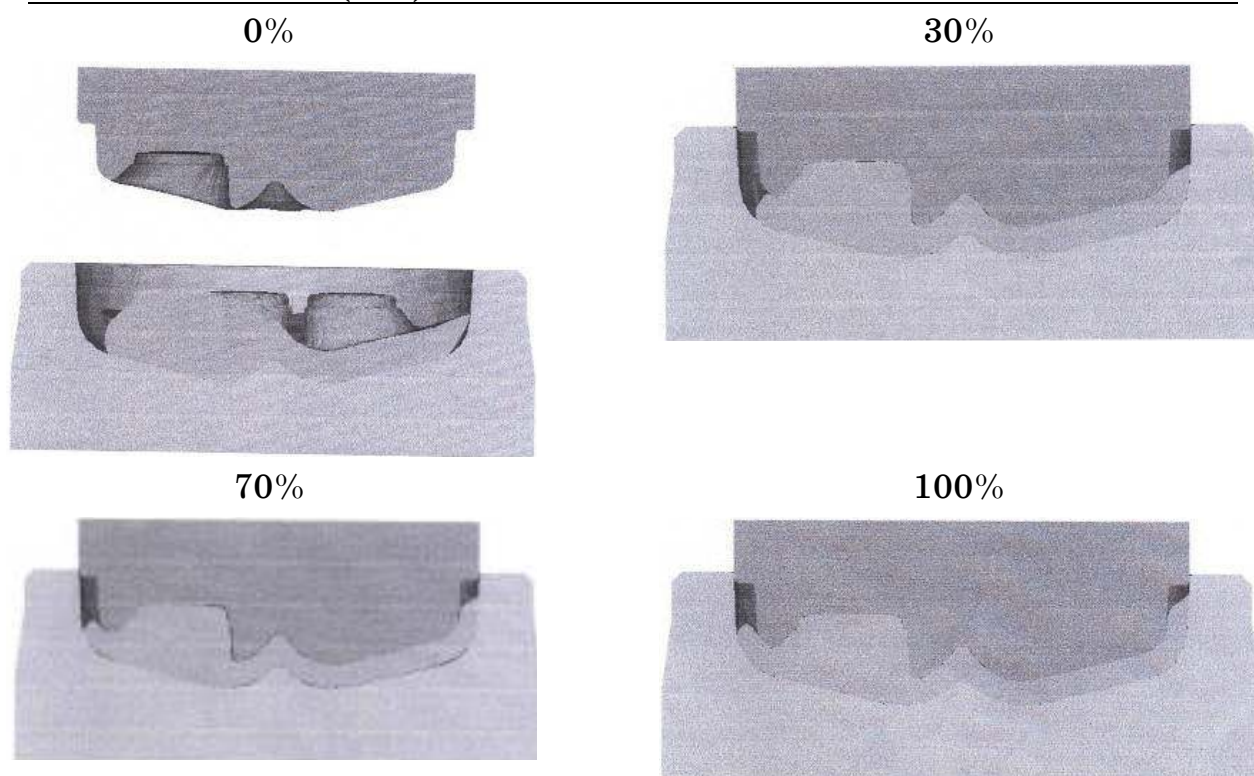


Рисунок 6 - Моделирование пластичности меди при штамповке венца (2 нагрев)

С повышением содержания углерода и доли легирующих компонентов считается способность стали к растяжению, а тем самым и ковкость стали. Чем меньше содержание углерода в углеродистой стали, тем выше начальная температураковки и тем больше диапазон температур, при которых сталь поддаетсяковки (рис.8).



Рисунок 7 - Изготовленная матрица штампа для медного венца с выталкивателем

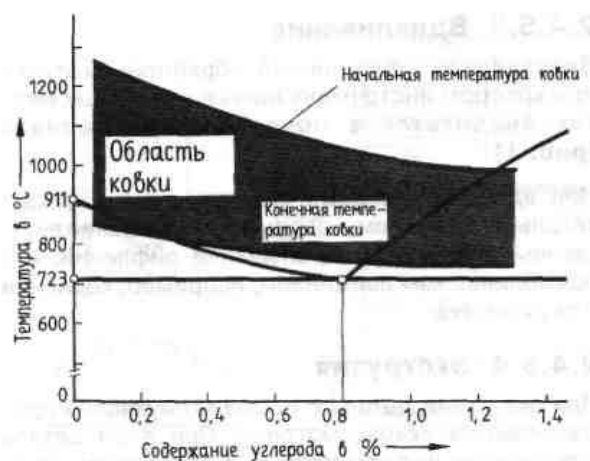


Рисунок 8 - Диапазон штамповки углеродистых сталей

Ниже минимальной температурыковки материал уже нельзя ковать, так как способность материала изменять форму настолько снижается, что при продолженииковки на детали будут появляться трещины. Возможность нагревать низкоуглеродистую сталь до высоких начальных температур позволила производить формообразования стального корпуса за один нагрев в спроектированном штампе.

Кроме технологических возможностей разработанные конструкции штампов и технологии их изготовления обеспечивали высокую соосность верхних и нижних частей: совпадение рабочих частей при их установке в посадочных местах без подналадки и на протяжении всего хода ползуна прессы; надежную работу выталкивающих устройств, при этом, они не должны мешать укладке очередной заготовки в матрицу; свободный и безопасный доступ в зону штамповки и удобство обслуживания штампа.

Заключение. Проведенное моделирование позволило подтвердить правильность выбранной конструкции штампов, задать режимы обработки и установить их влияние на пластическую деформацию меди и низкоуглеродистой стали, определится с окончательной геометрической формой венца и корпуса.

Изготовление венца и корпуса наконечника из штампованных заготовок подтвердило значительные сбережения ресурсов по сравнению с резанием металла; краткое технологическое время; возможность изготавливать детали сложной формы; небольшая доработка резанием.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пантейков С.П. О рациональной конструкции наконечника для головок верхних фурм конвертеров – Сталь, 2001, № 4, с. 79-82.
2. Проблемы разработки и эксплуатации цельноточенных наконечников для кислородных фурм / Мокринский А.В., Протопопов Е.В., Черпачевич А.Г.// Металл и литьеУкраины, 2003, № 3-4, с. 67-69.
3. Высоконадежное металлургическое оборудование в ресурсосберегающих технологиях / Большаков В.И., Ващенко А.П., Величко А.Г. и др. – Днепропетровск: Институт технологии. 2000 – 232с.
4. Новые технологии литья медных наконечников кислородно-конвертерных фурм. Каранин Ю.А. Сталь, 2004, № 6, с. 43-46.
5. Численно е моделирование температурных полей в цельноточенном наконечнике верхней кислородной фурмы / Мокринский А.В., Протопопов Е.В., Черпачевич А.Г.// Металл и литьеУкраины, 2005, № 3,4, с. 70-71.
6. Справочник металлиста. В 5-ит.Т2. Под ред. А.Г.Рахштадта и В.А.Брострема. М.,Машиностроение, 1976 с.415-416.

УДК 656.225.073: [004.942:681.5]

В.В. Скалозуб, В.И. Шинкаренко, С.Ю. Цейтлін, М.С. Чередниченко

**МОДЕЛІ ОНТОЛОГІЧНОЇ ПІДТРИМКИ
АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ
ВАНТАЖНИМИ ЗАЛІЗНИЧНИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ
В УКРАЇНІ**

У статті досліджено питання удосконалення автоматизованих систем керування залізничного транспорту України шляхом створення спеціалізованого прикладного онтологічного забезпечення на основі моделі конструктивно-продукційного моделювання.

Ключові слова: вантажні перевезення, автоматизована система, прикладна онтологія, концептуалізація, конструктивний об'єкт.

Вступ. Розвиток різноманітних додатків інтелектуальних інформаційних технологій (ІТ) характеризується все зростаючим застосуванням онтологій і онтологічних систем (ОнС) [1, 2-4]. Онтологічні технології використовують в складних для формалізації, слабоструктурованих областях діяльності або бізнесу, при обробці, класифікації та інтерпретації наростаючих обсягів даних і ін. [4-6]. Онтології в явному вигляді широко використовуються як джерела даних для багатьох комп'ютерних програм, таких як аналіз текстів, витягнення знань, інформаційного пошуку, проектування систем і ін. Перевага онтології полягає в забезпеченні ефективної обробки складної і різноманітної інформації, а також у можливості багаторазово використовуватися в новому оточенні [2, 7].

У статті досліджуються питання вдосконалення процесів експлуатації автоматизованих систем управління (АСУ) залізничного транспорту України за рахунок створення спеціалізованого прикладного онтологічного забезпечення на основі моделі конструктивно-продукційного моделювання (КПМ) [8]. Зазначимо, що автоматизована система АСК ВП УЗ-Є є однією з найбільш потужних і сучасних АСУ залізничного транспорту ПАТ «Українська залізниця» (далі ПАТ УЗ). Вона реалізує функції інформаційної та керуючої підтримки численних технологій і процесів залізничної галузі [1]. В рамках розробки і

постійного нарощування цього масштабного проекту створені технологічні, математичні і програмно-апаратні рішення, які забезпечили міцний фундамент для переходу до інформаційно-керуючих, прогнозних та інтелектуальних технологій. Принципи побудови, склад і структуру АСК ВП УЗ-Є, а також система її інформаційних і технологічних моделей, що використовуються для представлення базових процесів перевезення та експлуатації, є фундаментом для створення комплексних інтелектуальних систем залізничного транспорту України.

Метою цієї роботи є дослідження та обґрунтування можливості щодо формування та розробки онтологічного забезпечення АСУ Українських залізниць (ОАСУ УЗ) на основі методів конструктивно-продукційного моделювання [8 – 10]. При створенні інтелектуальних онтологічних засобів КПМ (ОКПМ) повинно врахувати потенційну складність і невизначеність прикладних областей застосування методології КПМ для АСУ залізниць. У зв'язку з цим в процедурах онтології головна увага повинна бути приділена універсальності моделі понять. Загальною метою засобів ОКПМ є забезпечення формування концептів для структурно складних областей моделювання.

Матеріали та методики дослідження. Під онтологією розуміється система понять, представлена набором сутностей, пов'язаних різними відношеннями, які характеризують певну область знань і використовуються для формальної специфікації. Суттєвою складовою онтології є набір аксіом, що забезпечують подання додаткових знань, які не охоплюють ієрархії понять і ін. [2, 3, 5]. В даний час актуальними є питання застосування предметних онтологій конкретних галузей знань для підтримки складних і наукоємних ІТ: оцінки концептуальних моделей даних [6], побудови онтологій предметної області на основі моделі нечіткого виведення, також вирішена задача використання неточних знань, отриманих з минулих дослідів (випадків) [7]. В [7] запропонований метод автоматизованої побудови онтології предметної області на основі Стенфордської моделі нечіткого виведення в інформаційно-навчальних Web-системах. Розроблено спеціалізовану ієрархічно-мережеву об'єктно-орієнтовану модель даних і знань. У більшості робіт переважаючим напрямом досліджень є створення, удосконалення і застосування прикладних онтологій в різних сферах ІТ.

В [8] виконані дослідження із розробки онтологічного забезпечення процесів конструктивно-продукційного моделювання (КПМ) для

структурно складних інформаційних технологій. В цілому процеси конструювання досить поширені, виникають на різних етапах розробки інформаційних технологій (ІТ), мають достатньо високу подібність. Серед них – формування архітектур програмних систем, концептуальне моделювання предметної області ОнС, розробка структур баз даних [6] та ін. Численність форм і поширеність, цільова подібність, складність і фактори невизначеності завдань конструювання в сфері ІТ роблять актуальними дослідження, спрямовані на інтелектуальну і технологічну підтримку процесів конструювання. При цьому онтологічне забезпечення (ontological support) конструювання в багатьох додатках стає сполучною ланкою різноманітних ІТ.

Прикладні ОнС грають кілька ролей в задачах представлення знань, представляють таксономічні та інші властивості при концептуалізації, а також можуть реалізувати функції спеціалізованих баз знань. В останньому варіанті онтологічна підтримка ІТ поширюється і на формування моделей понять (окремих концептів, зв'язків, засобів створення екземплярів ін.), на використання спеціалізованих процедур виведення. Такі ознаки мають багато прикладних онтологій для математично і логічно складних додатків ІТ (нечітке управління, багатокритерійний аналіз ін.). Зазначені особливості прикладних онтологій ІТ були використані при формування системи моделей онтології КПМ (ОКПМ). В [2] констатується, що «досі не існує загальноприйнятої методології створення онтологій і залишається відкритим питання появи конструктивної теорії розробки формальних онтологій».

При створенні інтелектуальних засобів ОКПМ врахована потенційна складність і невизначеність прикладних областей застосування методології КПМ. У зв'язку з цим в процедурах онтології головна увага була приділена універсальності моделі понять. Загальною метою засобів ОКПМ є забезпечення формування концептів для структурно складних областей моделювання. Тому тут передбачено формування відмінних від таксономії структур системи концептів.

Результати досліджень та їх огляд. Для встановлення сутностей та проблем онтологічної підтримки АСУ розглянемо питання розвитку автоматизованої системи керування вантажними перевезеннями Укрзалізниці АСК ВП УЗ-Є. Зазначимо що на даному етапі в інформаційні структури АСК ВП УЗ-Є можуть бути «вписані» практич-

но всі технологічні процеси роботи вантажного залізничного транспорту, а також інші технології експлуатації об'єктів Укрзалізниці, включаючи завдання створення інтелектуальних систем транспорту [1]. Система автоматизує завдання, які раніше вирішувалися різними окремими системами на різноманітних технологічних і технічних базах. При цьому реалізується широке коло питань інформатизації перевізного процесу, починаючи від місячного планування, оформлення перевізних документів, перевезення вантажів – до аналізу результатів перевезень. В системі АСК ВП УЗ-Є в режимі «технологічного реального часу» виконуються процедури подієвого моделювання процесів і технологій транспорту, експлуатації, економіки, а також їх інформаційного забезпечення.

Набір інформаційно-аналітичних моделей об'єктів і процесів, пов'язаних з виконанням залізничних перевезень, включає необхідні моделі подій для всіх складових транспортного процесу, такі як локомотивна модель, контейнерна, вагонна і поїзна моделі, моделі відправок та маршрутів слідування, моделі роботи локомотивних бригад і прикордонних станцій.



Рисунок 1 – Основна структура інформаційного забезпечення процесів прийняття рішень в АСК ВП УЗ-Є

Загальна структура системи інформаційного забезпечення процесів прийняття рішень (ППР) і управління представлена на рис. 1. Ієрархія організаційної структури забезпечує ефективність процедур аналізу та управління на різних технологічних рівнях ПАТ УЗ.



Рисунок 2 – Схема технологій інформаційної підтримки процесів ППР

Для реалізації зазначеної на рис. 1 моделі інформаційного забезпечення розроблено технологічну і технічну структуру систем автоматизації, рис. 2. На рисунку вказані завдання що вирішуються на різних рівнях, зв'язки між ними, окремі технології інформаційної підтримки. В системі АСК ВП УЗ-Є реалізований весь спектр завдань управління перевезеннями:

- оперативне управління перевізним процесом; - управління вантажними перевезеннями;
- управління пасажирськими перевезеннями;
- управління ремонтами і технічним обслуговуванням рухомого складу;
- аналіз виробничо-фінансової діяльності тощо.

Основні комплексні завдання щодо управління процесами перевезень вказані на рис. 3. Ці завдання в свою чергу є значними комплексами, розділяючись на численні підзадачі. Наприклад, в комплекс «Оперативне управління перевізним процесом» входять підзадачі:

- контроль дислокації та стану поїздів, вантажних вагонів; - диспетчерське управління рухом поїздів;
- розробка графіка руху поїздів, добове планування;
- управління станцією;
- контроль дислокації та стану контейнерів;

- прикордонна система ін.

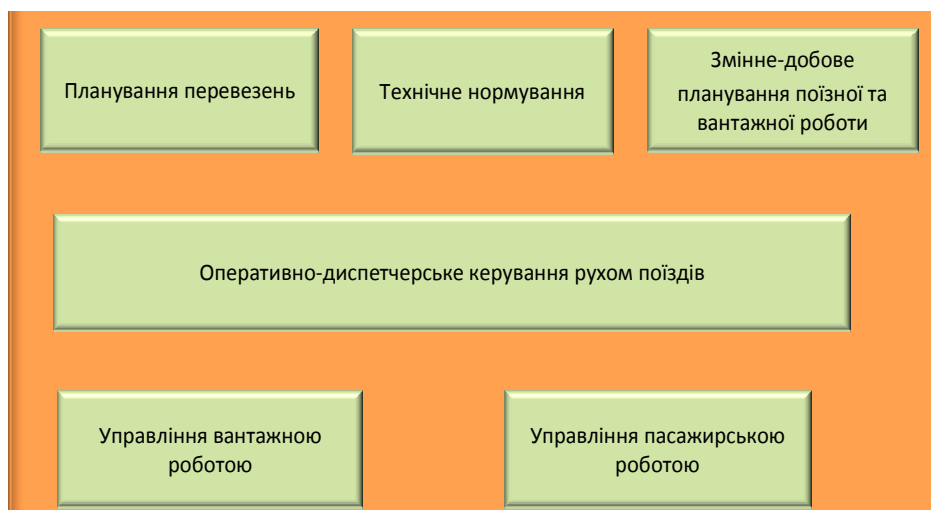


Рисунок 3 – Комплекси задач із управління перевізним процесом

Подібні конкретизації функцій реалізовані для інших сфер діяльності і технологій залізничного транспорту. На рис. 4 вказані деякі комплекси завдань сфери управління ресурсами.



Рисунок 4 – Комплекси задач із управління ресурсами

Надзвичайно висока масштабність, численність і висока складність технологій і систем залізничного транспорту, вимоги щодо їх безперервного вдосконалення і розвитку, тенденції щодо переходу до інтелектуальних технологій управління і ін. роблять актуальними питання ефективного супроводу АСК ВП УЗ-Є, застосування для цьо-

го моделей і методів управління на основі використання знань. Одним з основних напрямків досліджень і розробок в цій галузі є прикладні онтологічні системи.

Задачі онтологічної підтримки АСУ залізничного транспорту на основі конструктивно-продукційної моделі. У дослідженні на даному етапі формування онтологічного забезпечення АСУ Українських залізниць (ОАСУ УЗ) розглянута можливість використання в якості базового засобу розробки системи методів конструктивно-продукційного моделювання (КПМ). Методологія та засоби онтологічної підтримки процесів КПМ представлені в статтях [8, 9, 10]. У них вирішені нові завдання по створенню прикладної онтології КПМ (ОКПМ). Серед завдань відзначимо наступні:

- виявлення і вивчення властивостей структур понять, концептів і основних системоутворюючих відношень при КПМ;
- формулювання вимог до властивостей методології КПМ, а також до спеціалізованих моделей і методів прикладної ОКПМ;
- розробка єдиної, універсальної, такої що розвивається та налаштовується на предметні області інформатизації моделі онтологічної конструктивної структури (ОКС);
- розробка моделі та процедур, які забезпечують в рамках КПМ можливості створення відношень що конструюються, структура яких наперед не відома, в тому числі рекурсивних відношень;
- включення в ОКПМ засобів, які дозволяють формувати і супроводжувати концептуальні моделі, відмінні від таксономії;
- урахування факторів невизначеності при виборі структури концептуальних понять предметних областей і їх ознак.

Зупинимося на розробці онтологічної конструктивної структури ОКПМ. Онтологічна система підтримки ОКПМ задається первинними наборами абстрактних концептуальних категорій, що мають властивість універсальності і визначаються інструментарієм конструювання об'єктів. ОКС є базовим інструментарієм моделювання онтології ОКПМ, задається впорядкованою четвіркою класів носія $\hat{M}$, сигнатури $\hat{\Sigma}$, числення $\hat{\Lambda}$ та виконавців $\hat{Z}$

$$\hat{C} = \langle \hat{M}, \hat{\Sigma}, \hat{\Lambda}, \hat{Z} \rangle. \quad (1)$$

Класи носія і виконавців дозволяють розглядати структуру (1) у визначальному і породжує аспектах. Визначальний аспект характеризує носій структури (*Carr*), як основну визначальну частину,

яка за допомогою виконавців $\hat{Z}_v \subset \hat{Z}$ формує складові частини носія $\hat{M}$, сигнатури Σ , числення Λ і внутрішніх виконавців Z_v

$$Carr \xrightarrow{\hat{Z}_v} C = \langle M, \Sigma, \Lambda, Z \rangle. \quad (2)$$

В (2) позначено $Z = \hat{Z}_v \cup Z_v$.

Аспект породжування ОКС (1) проявляється в структурі довільної предметної області (ПО) C , через конструювання саме її понятійних об'єктів носія, сигнатури, обчислення і внутрішніх виконавців. Розглянемо класи (1), (2) детальніше.

Клас носія M структури C включає вхідний базис простих об'єктів (екземплярів) M_0 , абстрактні поняття додаткових символів D , елементів класів: операторів, відношень, відображень, конструктивних форм; характеристичних понять, їх показників і значень, класів вільних конструкцій довільного рівня. Носій M призначений для формування на ньому понятійних об'єктів. Базисний носій M_0 є основоположним для еволюційного, такого що породжує, формування родовидових конструктивних класів: об'єктів $\mathcal{O}^k$, ознак $\mathcal{L}^k$ і виведених онтологічних об'єктів $\mathcal{O}_*^k$ вищих, k тих рівнів.

Класи сигнатур Σ онтологічної структури визначають дії для формування об'єктів і нових відображень і відношень. Клас складений з системоутворюючої базисної Σ^0 , породжуючої Σ^+ і тої що конструюється Σ^* сигнатур. Утворюча сигнатура складається з класу простих операторів $\mathcal{O}^0 \subset \mathcal{O}$, класу простих відношень і відображень $\mathcal{V}^0 \subset \mathcal{V}$, що включає сполучні підкласи $\mathcal{A}^0$ і $\mathcal{R}^0$, та класу відображень породжуючого вибору $\mathcal{V}^0$ онтологічних об'єктів. Породжує сигнатура Σ^+ включає класи відображень $\mathcal{Q}$ і $\mathcal{M}$, призначені для формування конструкцій-дій класу Σ^* [8]

Класи виконавців Z (2) включають підкласи зовнішніх Z_v , внутрішніх Z_v виконавців і їх гібридизації Z_g . У багатьох випадках в ролі зовнішніх виконавців виступають експерти. Внутрішні виконавці призначені для реалізації операторів-дій класу $\mathcal{O}$, інтерпретацій складових сигнатури Σ і конструюються в структурі (2) алгоритмів-дій.

Клас обчислень є ядром ОКС, відображаючи властивості її системної структуризації. Він складається з постулатів (аксіом), визна-

чень, інструкцій, правил, властивостей компонент структури ін., необхідних для організації конструювання об'єктів і відображень. Правила обчислення Λ конструюють класи структури, $\Lambda : M \times \Sigma \rightarrow \mathfrak{D}^k$, $\Lambda : \Sigma \times \Sigma \rightarrow \Sigma^*$, і $\Lambda : \Lambda_i \times \Lambda_j \rightarrow \Lambda_g$, причому дозвільна характеристика обчислення задає різні галузі аналізу. Зазначені компоненти структури ОКС постулюється, визначаються і перетворюються численнями з класу Λ .

Розглянемо деякі моделі ОКС для окремих класів (2). Базисний носій примірників онтології M_0 , що задає початкові положення породження об'єктів, введений в носій ОКС, щоб уникнути порушення властивостей системності та таксономії онтологічної структури. Породження онтологічних об'єктів виконується сигнатурною компонентою структури ОКС, що містить базову складову Σ^0 . При цьому клас відношень і відображень $\mathfrak{V}^0 \subset \Sigma^0$, $\mathfrak{V}^0 \subset \mathfrak{V} \subset Rf\mathfrak{K}$ на базисному носії $\mathfrak{C}_0 \cup \mathfrak{X}_0 \subset M_0$ задає таксономію онтології $\langle \mathfrak{C}_0 \cup \mathfrak{X}_0, \mathfrak{V}^0 \rangle$ об'єктів нульового рівня $\mathfrak{K}^0$.

В ОКС використовуються прості відношення порівняння, включаючи родові і видові порівняння. Для відношень порівняння $\nu_j, \nu_q \in \mathfrak{R}_\nu^0$ на видовому і родовому класах $\mathfrak{C}_0$ і $\mathfrak{X}_0$ справедливі властивості (наведені для класу $\mathfrak{C}_0$, для родового класу $\mathfrak{X}_0$ вони такі ж):

- вільності, якщо з порівняння $(c_k, c_i)_j$ допустимо порівняльне відношення $\nu'_j : (c_i, c_k)_j$,

- відношення $\nu'_j \in \mathfrak{R}_\nu^0$ зберігає властивості індукування відносини ν_j , – відношення $\nu_j \in \mathfrak{R}_\nu^0$ на родовидових елементах $c_k, c_i \in \mathfrak{C}_0$ визначає конструкцію $(c_k(x_k), c_i(x_i))\nu_j$, з індукують відносинами порівняння φ_j^1 і φ_j^2 такими, що $((c_k, c_i)\varphi_j^1, (x_k, x_i)\varphi_j^2)$.

На основі відношень порівняння виконується породження об'єктів і класів онтології. Нульовий порядок (ранг) відношень або відображень $\beta_j \in Rf\mathfrak{K}$ визначається їх рангами, які не перевищують двох. Об'єкти, сконструйовані на базисному носії M_0 ОКС структури (2) за допомогою відображень і операторів нульового порядку з класів $\mathfrak{V}^0$ і

$\mathcal{D}^0$, називаються об'єктами нульового рівня і нульового порядку конструювання онтології.

Конструювання об'єктів нульового рівня і порядку відношеннями порівняння здійснюється за такими правилами [8]:

- об'єкт онтології нульового рівня b_{kij} , сформований на екземплярах a_k и a_i відношеннями порівняння v_j , задається конструкцією $b_{kij} = (a_k, a_i)_j$, $\forall a_k, a_i \in \mathcal{C}_0 \mid \mathcal{X}_0$; при цьому об'єкти b_{kij} и b_{qrm} – однотипні, якщо відповідні конструкції порівняльних властивостей однотипні; окремими випадками об'єктів b_{kij} є вироджені об'єкти $b_{0kj} = (a_0, a_k)_j = a_k$ і порожній об'єкт $b_{00i} = b_0 = a_0$;

- об'єкти, побудовані на класі $\mathcal{C}_0 \mid \mathcal{X}_0$ за допомогою відношень $v_j \in \mathcal{R}_v^0$, утворюють конструктивну сімейство концептів $\mathcal{F}_{\mathcal{R}_v^0}^0$ нульового рівня таке, що $\mathcal{C}_0, \mathcal{X}_0 \subset \mathcal{F}_{\mathcal{R}_v^0}^0$; – якщо $\mathcal{D}_0^0 \subset \mathcal{D}$ – вільний клас об'єктів нульового рівня и порядку, то $\mathcal{F}_{\mathcal{R}_v^0}^0 \subset \mathcal{D}_0^0$, де символ $\subset \in \mathcal{D}^0$ – визначає оператор включення сімейства в клас; – $S_1^0 \subset S_2^0$, де $S_1^0 = \langle \mathcal{C}_1, \mathcal{R}_{v,1}^0 \rangle$, $S_2^0 = \langle \mathcal{C}_2, \mathcal{R}_{v,2}^0 \rangle$, $\mathcal{C}_1, \mathcal{C}_2 \subset \mathcal{C}_0$ и $\mathcal{R}_{v,1}^0, \mathcal{R}_{v,2}^0 \subset \mathcal{R}_v^0$, якщо: – $\mathcal{C}_1 \subset \mathcal{C}_2$ и $\mathcal{R}_{v,1}^0 \subset \mathcal{R}_{v,2}^0$, – властивості відношень класу $\mathcal{R}_{v,2}^0$ зберігаються для відношень класу $\mathcal{R}_{v,1}^0$.

Наведене обчислення дозволяє за допомогою відношень порівняння і деривативних відповідностей на базисному носії конструювати прості об'єкти-властивості, показники властивостей і їх класи нульового рівня, а також допускає формування простої таксономії онтології ОКПС. Дії операторів виконуються виконавцями певним чином по алгоритмічним вказівкам. В обчисленні наведені загальні дозволяючі можливості операторів і виконавців, необхідні для конструювання алгоритмів, критеріїв тощо. В (2) передбачені прості відношення підпорядкування, і компонента відношень підпорядкування $\mathcal{R}_v^0 \subset \mathcal{R}^0$ виконує зв'язування об'єктів різної природи в єдину понятійну конструкцію підпорядкування – сутність, тим самим задаючи основну визначальну складову і також таку що визначається підпорядковану складову конструкції. Окремим випадком підпорядкованого концепту знань є поняття якості-атрибута. На основі базисних відображень з'єднання з

різних онтологічних примірників утворюють складні конструкції. Результатом відображення можуть бути неоднорідні конструкції наділені діями, що, наприклад, дозволяє формувати ознаки з діями, які необхідні для породження критеріїв виведення знань та ін. Обчислення відображення з'єднання ОКС дозволяє конструювати списки, таблиці та ін. Об'єкти знань з включеними операторами, що важливо для подальшої організації складних знань, складних властивостей, показників, критеріїв і ін.

Обчислення нульового порядку ОКС і сформований клас об'єктів нульового рівня дозволяють виконати конструювання об'єктів, різних відношень і відображень вищих рівнів. Складні конструктивні сутності онтології передбачають певний порядок подання та виконання, організований за допомогою елементів класу символів D відображеннями з'єднання. В результаті породжується сімейство $\mathfrak{F}_{\eta, D}^k$, яке в сукупності з розглянутими родинami формує гібридне сімейство з'єднаних конструкцій $\mathfrak{F}_{\mathfrak{A}^0}^k = \mathfrak{F}_{\eta, g}^k \cup \mathfrak{F}_{\eta, o}^k \cup \mathfrak{F}_{\eta, D}^k$, $\mathfrak{F}_{\mathfrak{A}^0}^k \subset \mathfrak{D}_0^k$. В ОКС на базисному носії і базисному сигнатурному класі формуються класи сутностей довільного рівня. Породження класом $\mathfrak{D}_0^{k-1}$ класу $\mathfrak{D}_0^k$ виконується відображеннями $\psi_j = (\beta_i, \beta_j)\phi$ за умови, що відображення β_i діє на класі об'єктів $\mathfrak{D}_0^{k-1}$. Об'єкти конструюються на носії за допомогою відображень класу $\mathfrak{R}^0$, властивості якого наведені в табл.1. Клас $\mathfrak{R}^0(v_j, \rho_j, \eta_j \in \mathfrak{R}^0)$ розширюється на основі конструювання за допомогою відображень класу $\mathfrak{D}^0(\varphi \in \mathfrak{D}^0)$ і операторів класу $\mathfrak{D}^0(o_j \in \mathfrak{D}^0)$: все сконструйоване на класі $\mathfrak{D}_0^{k-1}$ відношеннями $(v_j, \rho_j, \eta_j \in \mathfrak{R}^0)$ і операторами $(o_j \in \mathfrak{D}^0)$ включається в $\mathfrak{D}_0^k$.

Процедури ОКС (2) також забезпечують формування структур системи концептів онтології, відмінних від таксономії. Найпростішим природним прикладом необхідності універсальних засобів формування мережових структур є завдання конструювання і концептуального моделювання часткових n -арних відношень при $n > 2$. Такими відносинами є, наприклад, «Поставка» (пов'язує класи «Вантажі», «Власники», «Перевізники»), «Поїзд» («Локомотив», «Локомотивна бригада», «Склад поїзду», «Графік»). Розроблені процедури підтримки ОКПМ, зокрема концептуального моделювання понять області КПМ, забезпечують реалізацію таких вимог, істотно розширюючи сферу інформаційного моделювання систем.

Головні властивості відношень і відображень класу $\mathfrak{R}^0$

Відношення, відображення	Властивості
v	$\forall c_k, c_i \in \mathfrak{C}_0 \cap \mathfrak{X}_0 \neq \emptyset, \exists v_j \in \mathfrak{R}_v^0,$ $(c_k, c_i)v_j; (c_k, c_i)v \Rightarrow (c_i, c_k)v', v' \in \mathfrak{R}_v^0;$ v' зберігає властивості індукціювання відношення v_j ; якщо $v_j = (\varphi_j^1, \varphi_j^2)$, то $(c_k(x_k), c_i(x_i))v_j = ((c_k, c_i)\varphi_j^1, (x_k, x_i)\varphi_j^2).$
ρ	$\forall a_i, a_k \in \mathfrak{C}_0 \cup \mathfrak{X}_0 a_i \in \mathfrak{J}_0, \exists \rho_j \in \mathfrak{R}_v^0, (a_i, a_k)\rho_j = {}^{\rho_j}_{a_i} a_k;$ $\rho_j = (\varphi_j^1, \varphi_j^2), (c_i(x_i), c_k(x_k))\rho_j = ({}^{\varphi_j^1}_{c_i} c_k, {}^{\varphi_j^2}_{x_i} x_k);$ $\forall \rho_i, \rho_j \in \mathfrak{R}_v^0, \rho_i \bullet \rho_j \neq \rho_j \bullet \rho_i;$ не виконується властивість асоціативності композиції відношень; $(a_i, a_k)\rho_j, a_i, a_k \neq a_0$, допустиме інверсне відношення $\rho'_j \in \mathfrak{R}_v^0,$ $(a_k, a_i)\rho'_j; \forall \rho_j \in \mathfrak{R}_v^0, a_0, a_m, a_k \in \mathfrak{C}_0 \cup \mathfrak{X}_0, ({}_{a_k} a_k)_j = a_k$ и $(a_0, a_m) {}^l \rho_j = a_m; \rho_j \in \mathfrak{R}_v^0$ слабкий морфізм.
η	$(a_0, a_i) {}^l \eta = a_i$ и $(a_k, a_0) {}^r \eta = a_k, {}^l \eta, {}^r \eta \in \mathfrak{A}^0,$ $a_0, a_i, a_k \in \mathfrak{C}_0 \cup \mathfrak{X}_0; \forall \eta_j \in \mathfrak{A}^0, (a_0, a_0)\eta_j = a_0;$ сильний морфізм; допустима ітерація відображень

Реалізація цілей ОКПМ стосовно АСУ УЗ виявилася можливою в силу існуючої організації діючих систем, а також за рахунок використання ключових методологічних принципів і стандартів створення онтологій предметних областей [2, 5]. При цьому були використані відомі в даний час досить загальні методи моделювання складних об'єктів і процесів, представлених в АСУ УЗ, що враховують специфіку цілей, завдань і даних, орієнтовані на різних користувачів. Реалізація можливості багаторазово використовуватися ОКПМ в новому оточенні, як і в інших прикладних ОнС, забезпечується завдяки створенню потужних засобів концептуального моделювання КПМ.

Висновки. У статті виконано обґрунтування можливості використання онтологічного методу для підтримки процесів ефективного функціонування АСУ вантажними залізничними перевезеннями, а також їх подальшого розвитку. При цьому запропонована загальна модель створення системи відповідних прикладних онтологій на основі конструктивно-продукційної парадигми. Для розробки системи прикладних онтологій АСУ УЗТ запропонована єдина, універсальна, така що розвивається і настраюється модель онтологічної конструктивної структури. Розроблено

спеціалізовані засоби щодо реалізації ОКПМ, які забезпечують породження і конструювання онтологічних об'єктів нульового і вищих порядків, формування їх властивостей і показників, зв'язування концептів онтології. Розроблені моделі базисного носія екземплярів онтології, класи відношень для формування властивостей класів, конструювання індивідуальних властивостей і зв'язування концептів базисних відображень з'єднання. В даний час проводяться дослідження і розробки по удосконаленню АСУ вантажними перевезеннями України за рахунок створення комплексу аналітичних серверів, що розробляються на основі методології ОКПМ. Вирішення цього завдання вимагає систематизації та уніфікації класів основних аналітичних задач АСУ в численних сферах автоматизації, зазначених в статті раніше, а також вироблення та узгодження концептуальних моделей, їх всебічної апробації на практиці.

ЛІТЕРАТУРА

1. Скалозуб В.В. Интеллектуальные информационные технологии и системы железнодорожного транспорта / Скалозуб В.В., Цейтлин С.Ю., Чередниченко М.С. / Монография «Системные технологии моделирования сложных процессов». – Днепр, НМетАУ – ИВК «Системные технологии». 2016. – С. 560 – 589.
2. Guarino N. Formal ontology and information systems / N. Guarino // *Proceedings of FOIS*. – 1998. – V. 98. – N. 1998. – P. 81-97.
3. Breitsprecher T. Towards Ontological Support for Principle Solutions / T. Breitsprecher, M. Codescu, C. Jucovschi, M. Kohlhasse, L. Schröder, S. Wartack // *Mechanical Engineering. InFOIS*. – 2014. – V.5. – P. 427-432.
4. Gonen B. Ontological support for the evolution of future services oriented architectures / B. Gonen, X. Fang, E. El-Sheikh, S. Bagui, N. Wilde, A. Zimmermann // *Transactions on Machine Learning and Artificial Intelligence*. – 2015. – V. 2(6). – P. 77-90.
5. Grishin M V. Tools ontological support of the design template equipment in the aircraft production/ M. V. Grishin, S. N. Larin, P. I. Sosnin // *In the World of Scientific Discoveries/V Mire Nauchnykh Otkrytiy*. – 2015. –V. 64(4). – P. 10-42.
6. Kazi1 Z. Ontology-Based System for Conceptual Data Model Evaluation / Z. Kazi1, L. Kazi1, B. Radulovic1, M. Bhatt // *International Arab Journal of Information Technology*. – 2016. – V. 13, N. 5. – p. 542-551.
7. Alexopoulos P. Utilizing Imprecise Knowledge in Ontology-based CBR Systems by Means of Fuzzy Algebra / P. Alexopoulos, M. Wallace, K. Kafentzis, D. Askounis // *International Journal of Fuzzy Systems*. – 2010. – V. 12, P. 1 – 15.
8. Skalozub V. Development of ontological support of constructive-synthesizing modeling of information systems / V. Skalozub, V. Ilman, V. Shynkarenko // *Вост.-Европ. журн. передовых технологий*. — Харьков: Технолог. центр, 2017. — № 6/2 (90). — С. 83 — 85.
9. Шинкаренко В. И. Конструктивно-продукционные структуры и их грамматические интерпретации. I. Обобщенная формальная конструктивно-продукционная структура / В. И. Шинкаренко, В. М. Ильман // *Кибернетика и системный анализ*. – 2014. – Том 50, № 5. – С. 8-16.
10. Шинкаренко В. И. Конструктивно-продукционная модель графового представления текста / В. И. Шинкаренко, Е С Куропятник // *Проблеми програмування*. – 2016. – № 2-3. – С. 63-72.

А.Ю. Зимогляд, А.И. Гуда, В.В. Ковтун
**ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК ОТ ДАВЛЕНИЯ
ПОЛУЧЕННЫХ ТЕРМИЧЕСКИМ НАПЫЛЕНИЕМ
В ВАКУУМЕ**

Аннотация. Произведено ряд замеров коэффициента трения металлических пленок, полученных при разном давлении.

Ключевые слова: вакуум, металлические пленки, термическое нанесение в вакууме.

Введение и постановка задачи. Термическое напыление металлических пленок в вакууме применяется для нанесения слоев металлизации. Примером применения металлических пленок может служить металлизированная упаковочная пленка для защиты от статики микросхем. Так же термическое напыление активно применяется в микроэлектронике и оптике. В оптике данным методом делают напыление просветляющих и отражающих покрытий.

Целью данной работы является исследование зависимости механических свойств пленок, нанесенных термическим напылением в вакууме от давления.

Основная часть. При получении металлических пленок методом термического испарения в вакууме, сплав или металл конденсируется на поверхности подложки. Качество и прочность пленки зависит от многих параметров, в большей степени от чистоты поверхности подложки, давления и скорости нанесения, но для некоторых применений бывает нужно неоднородное покрытие. Ярким примером пленок с неоднородным покрытием, может служить ряд датчиков примеси газа серии MQ, в них внутренняя мембрана сделана как раз из неоднородной пленки сульфида олова, такую же неоднородность можно встретить и в промышленных датчиках влажности воздуха серии HIH. Исходя из того, что неоднородность поверхности, влечет за собой изменение механических свойств, тонкие покрытия таких пленок могут применяться, для повышения адгезии, например. Для создания матового напыления на

стекле, то же применяются неоднородные пленки. Способов получения неоднородности покрытия несколько (скорость нанесения, материал, давление в камере, температура подложки и пр.) остановимся пока только на вакууме.

Если произвести процесс напыления при недостаточном вакууме, полученное металлическое покрытие будет, как правило, неоднородным, пористым, возможно из – за газовых включений. Цвет покрытия будет отличаться от чистого металла, и поверхность будет матовой, вне зависимости от качества поверхности подложки. Так же возможно образование оксидов, нитридов и гидроксидов.

Для изучения влияния давления на качество поверхности металлической пленки, было произведено ряд экспериментов по нанесению цинка на стеклянные подложки, с помощью вакуумного поста ВУП – 4. Металлические покрытия получены при фиксированном времени нанесения цинка и разном давлении. Предварительно подложки подверглось очистке в растворе NaOH, с последующей смывкой в дистиллированной воде и сушке, затем подвергались ионному травлению. При ионном травлении происходит удаление вещества с поверхности твердого тела под воздействием бомбардировки ионов инертного газа, обычно им служит аргон. Данный процесс зависит от концентрации ионов в пучке и их энергии. Расход инертного газа контролировался, напряжение между анодом катодом поддерживалось 550 В, ток 50 мА, время травления составило 3 минуты.



Рисунок 1 – Фотографии пленок нанесенных при разном давлении

После очистки было произведено напыление цинка на подложки, при разном давлении. При исследовании полученных поверхностей металлических пленок, было обнаружено отличие в структуре поверхности (поверхность пленок изменялась от зеркальной до матовой) (рис.1). Исходя из этого, было предложено произвести замер коэффициентов трения полученных покрытий.

При замере силы трения для большей точности каждая полученная металлическая пленка мерялась 5 раз, а потом бралось среднее арифметическое. По посчитанным коэффициентам трения был построен график зависимости с давлением (рис.2).

Для дальнейшего изучения были сделаны фотографии структуры поверхности пленок (рис.3). Фотографии делались на металлографическом иммерсионном микроскопе МИМ – 8М. Как из них видно, от давления менялся не только цвет металлических пленок, но и их структура.

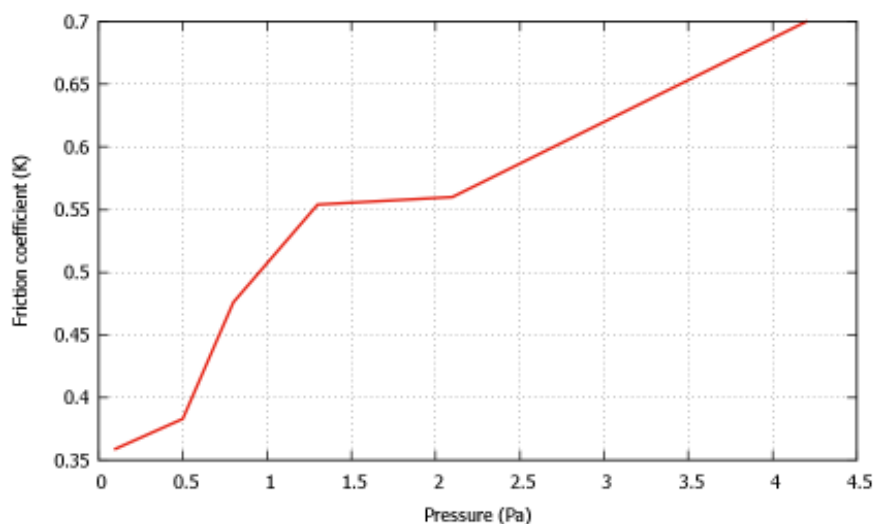


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента трения пленки от давления

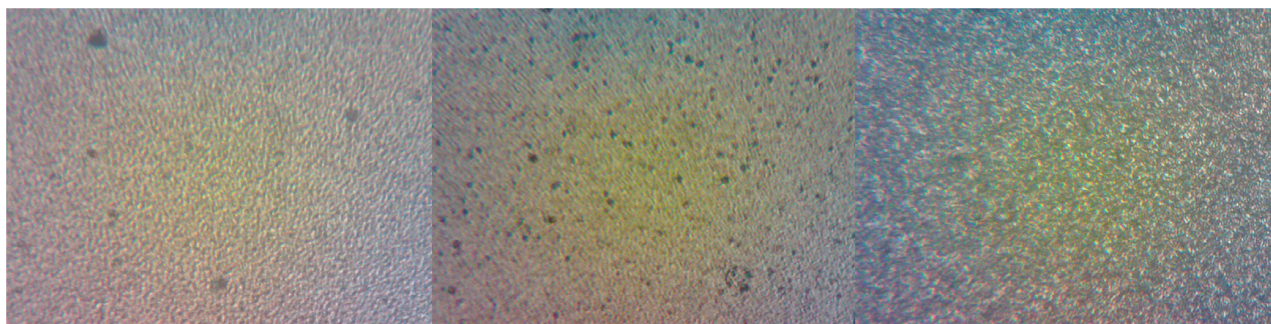


Рисунок 3 – Структура поверхности пленок слева направо при:
0,8 Па, 1,3 Па, 2,1 Па

Вывод. На основании полученных экспериментальных данных было выявлено зависимость коэффициента трения от давления. Чем ниже давление при нанесении пленки, тем ниже коэффициент трения этой пленки. Полученные данные требуют дополнительного изучения, так как, скорее всего данная зависимость лежит в структуре полученных пленок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руденко В.С. Промислова електроніка: підручник / В.С. Руденко, В.Я. Ромашко, В.В. Трифонюк. – К.: Либідь, 1993. 432 с.
2. Хоровиц П. Мистецтво схемотехніки. Частина 2 / П. Хоровиц, У. Хилл. – М.: Мир, 1995. - 371 с.
3. Ю.П. Райзер Физика газового разряда / Ю.П Райзер – М.: Наука, 1992. – 434с.

О.В. Золотухин, Т.В. Коваленко

**ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ВЫБОРУ ПРИЗНАКОВ
ДЛЯ СЕГМЕНТАЦИИ ТЕКСТУРНЫХ ОБЛАСТЕЙ
ИЗОБРАЖЕНИЙ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА**

Аннотация. В статье рассматриваются модели описания и обработки цифровых текстурных изображений. Проведен обзор современного состояния технологии автоматизированной обработки изображений в системах воздушного мониторинга. Рассмотрены два основных подхода к выбору признаков сегментации изображений: статистический и метод на основе дискретного ортогонального преобразования. Проведенный анализ позволяет обоснованно осуществлять выбор признаков для сегментации изображений в зависимости от свойств исходного изображения в целях оперативной обработки визуальных данных в системах аэрокосмического мониторинга.

Введение. Дистанционное зондирование Земли обеспечивает уникальные возможности оперативного сбора данных в глобальном масштабе с высоким пространственным, спектральным и временным разрешением, что и определяет большие информационные возможности этих систем и потенциальную экономическую эффективность [1]. Обработка изображений земной поверхности позволяет эффективно решать научные и прикладные задачи в области картографии, исследования природной среды, океанологии, поиска и освоения полезных ископаемых, сельского и лесного хозяйства и многих других областях [2]. Автоматический анализ изображений наблюдения широко применяется в системах дистанционного зондирования при анализе местности, в лесном хозяйстве, например, для автоматического подсчета площади вырубок, для наблюдения за созреванием урожая, при разведке, в системах противопожарной безопасности, проведении воздушного мониторинга окружающей среды.

Использование изображений аэрокосмического мониторинга в различных сферах деятельности человека ставит задачи не только по созданию средств и способов их получения, но и разработке и применению новых методов и алгоритмов для компьютерной обработки изображений, приведения их к виду, удобному для анализа. Одной из задач, обеспечи-

вающих извлечение из изображений воздушного мониторинга полезной информации, является задача сегментации или выделения однородных областей природных объектов. Текстура (от лат. texture – ткань, строение) – участок поверхности, состоящий из элементарных участков, характеризующихся определенными признаками и связанных друг с другом некоторой связью, параметры которой постоянны и определяют характер данной текстуры [3, 4].

Одной из наиболее сложных и актуальных проблем компьютерной обработки изображений является решение задачи сегментации таких текстурных областей изображения, как природные объекты, в частности областей растительности, которые, как правило, занимают значительную часть аэрофотоснимка (рисунок 1).



Рисунок 1 - Изображения воздушного мониторинга, содержащие природные объекты

Текстурные области природных объектов относятся к классу нерегулярных текстур (рисунки 2 и 3).

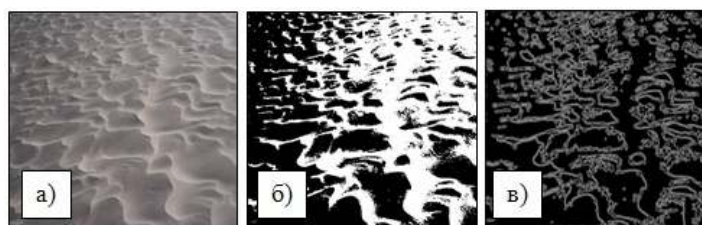


Рисунок 2 - Изображение песчаной поверхности: а) – изображение песчаной поверхности; б) – бинаризованное изображение песчаной поверхности; в) – текстура изображения песчаной поверхности

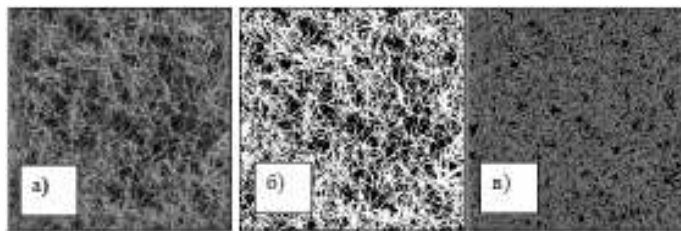


Рисунок 3 - Изображение травяной поверхности: а) – изображение травяной поверхности; б) – бинаризованное изображение травяной поверхности; в) – текстура изображения травяной поверхности

Анализ современного состояния автоматизированной обработки изображений в системах воздушного мониторинга. К основным задачам анализа текстурных областей относятся: выбор и формирование признаков, описывающих текстурные различия; выделение и сегментация текстурных областей; классификация текстурных областей; идентификация объекта по текстуре. Для выделения текстурных областей решается задача сегментации текстуры, которая состоит в разбиении изображения на области с постоянной текстурой, т.е. выделение областей, в пределах которых значения тех или иных текстурных признаков относительно постоянны [4]. Сегментация текстуры – это задача, которая состоит в разбиении изображения на участки с постоянной текстурой. Сегментация является наиболее критической процедурой процесса автоматизации анализа изображений, поскольку ее результаты влияют в дальнейшем на все последующие действия, связанные с анализом изображения: представление выделенных объектов и их текстовое описание, измерение признаков, а также другие задачи более высокого уровня.

В настоящее время существует большой опыт автоматизированной обработки и анализа цифровых изображений. Часть автоматизированных методов реализована и успешно применяется в процессе интерактивного дешифрирования аэрокосмической информации. Автоматизация обработки текстурных изображений является сложным методическим и трудоемким вычислительным процессом, что препятствует разработке универсального метода их распознавания.

В теорию и практику обработки и распознавания текстурных изображений значительный вклад внесли Haralick, Gonzalez, Rosenfeld, Shapiro, Hawkins, Zhang J. и др. Тем не менее, в настоящее время не создано теоретических основ и алгоритмических решений в области обработки текстурных изображений, которые бы удов-

летворяли требованиям практики. Иными словами, под любой вид текстурного изображения можно подобрать метод распознавания, который, при качественной настройке будет выдавать практически стопроцентный результат, тогда как на другом виде текстурного изображения этот метод работать не будет [5]. Применяемые в настоящее время технологии обработки аэрофотоснимков не обеспечивают получения результатов извлечения полезной информации с заданными требованиями точности и достоверности, сопряжены с дополнительными расходами, отличаются низкой производительностью, и кроме того не соответствует современному уровню информационных технологий. В первую очередь это связано со сложностью разработки универсальных алгоритмов автоматического анализа аэрофотоснимков [6]. Таким образом, несмотря на повсеместное присутствие в изображениях и важность текстуры, формального подхода к описанию текстуры и строгого ее определения пока не существует, и методы различения текстур, как правило, разрабатываются отдельно для каждого конкретного случая [5-8]. Из проведенного выше анализа можно сделать вывод: задача автоматизированного выделения областей растительности, близких по значениям цвета и структуре, на аэрофотоизображениях является важной частью в решении задачи автоматической интерпретации данных, получаемых из систем аэрокосмического мониторинга Земли.

Обзор существующих методов анализа текстурных областей изображений. Наиболее распространены методы сегментации, основанные на определении однородных яркостей (цветов) или однородностей типа текстур. Методы текстурной сегментации разрабатываются на основе двух основных подходов: анализ областей и анализ границ. В зависимости от используемых признаков текстурных областей изображений методы сегментации на основе анализа областей делят на статистические, структурные, фрактальные, спектральные и комбинированные методы (рисунок 4).

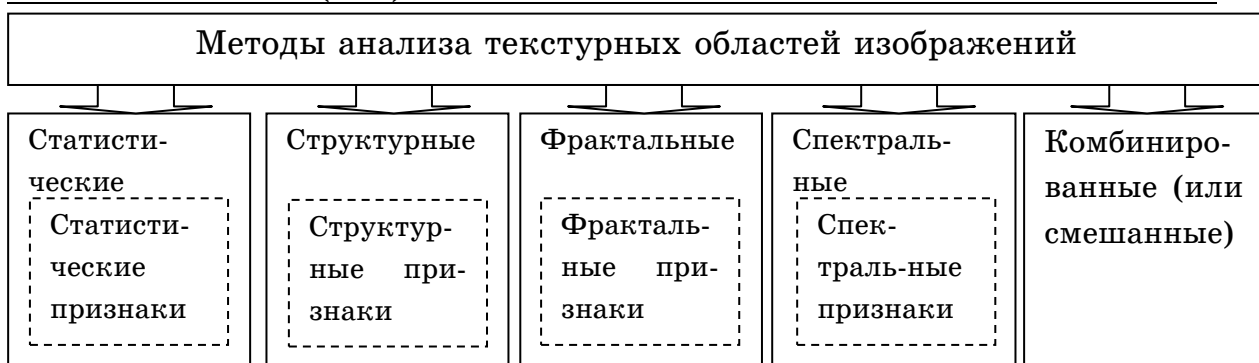


Рисунок 4 - Методы анализа текстурных областей изображений

Статистический текстурный анализ основан на вычислении матриц смежности, которые учитывают как уровни яркости отсчётов, так и относительное расположение отсчетов с определенной яркостью на изображении. Отсчеты двумерной матрицы смежности для изображения показывают оценку вероятности совместного появления на изображении на расстояния друг от друга, задаваемом определенным вектором смещения отсчетов, с соответственными значениями уровней яркости. Аналогично, отсчеты трехмерной матрицы показывают оценку вероятности совместного появления на изображении на заданном расстояния друг от друга тройки отсчётов с соответственными значениями уровней яркости.

С использованием матриц смежности вычисляются текстурные признаки, такие как угловой момент, корреляция, контраст, инерция, энтропия, затенение, и др. Матрица смежности обеспечивает инвариантность признаков к повороту, сдвигу и масштабированию. Признаки, вычисленные на основе двумерной матрицы – 2D признаки, их трёхмерные аналоги – 3D признаки. Таким образом, для каждого изображения можно вычислить вектор признаков – статистическую сигнатуру текстуры. Недостатками методов сегментации по статистическим признакам являются:

- высокая детальность сегментации, что приводит к необходимости использования алгоритмов уменьшения детальности; задача снижения детальности сегментации состоит в снижении числа исходных сегментов путем их слияния. В результате на сегментированном изображении должно остаться небольшое число крупных сегментов, разделенных хорошо заметными границами;

- высокая вычислительная сложность;

– большое разнообразие статистических признаков текстур вызывает необходимость предварительного исследования наиболее информативных признаков в зависимости от типа текстуры.

Структурные методы анализа текстурных областей изображений. Структурные методы анализа текстурных областей изображений основаны на том, что текстура состоит из регулярно или почти регулярно повторяющейся совокупности хорошо разделяемых примитивов (микротекстуры), которые расположены согласно некоторому правилу размещения и иерархически объединяются в пространственные упорядоченные структуры (макротекстуры).

Для описания текстуры структурными методами необходимо определить примитивы и правила их объединения [8]. Возможно применение двух основных подходов к анализу текстуры. При первом подходе вычисляют статистические признаки извлеченных элементов текстуры и используют их как элементарные текстурные признаки. При втором подходе необходимо выделить принцип расположения примитивов, который описывает текстуру. Последний подход может включать в себя геометрический или синтаксические методы анализа текстуры, например анализ диаграмм полигонов Вороного. Метод анализа обычно зависит от геометрических свойств текстурных элементов. Достоинство данных методов состоит в том, что структурные методы хорошо подходят для анализа регулярных текстур, состоящих из простых регулярных примитивов. Недостатком структурных методов является то, что они применимы только для регулярных искусственных образов.

При фрактальном подходе объект представляют фракталом. Большинство естественных поверхностей (облака, земная поверхность) являются пространственно-изотропными фракталами, и двумерные поля интенсивностей от таких поверхностей также являются фракталами. Фрактальные методы анализа текстурных областей изображений основаны на том, что текстура представляет собой фрактал – структуру, состоящая из частей, которые в каком-то смысле подобны целому. Таким образом, при определении фрактала используется свойство самоподобия фрактала. Многие кривые и поверхности статистически самоподобны, то есть каждая часть может считаться изображением целого в уменьшенном виде [9]. Основной особенностью фрактальных характеристик является то, что изображения искус-

венных и природных объектов имеют сильно различающиеся фактальные размерности.

Требования к алгоритмам обработки изображений для оперативной обработки визуальных данных в системах воздушного мониторинга. Под сегментацией текстурных областей изображения понимается процесс пространственного разбиения изображения на области, однородные относительно некоторого набора характеристик или признаков. Процессу сегментации предшествует процесс формирования пространства признаков, основанный на исследовании текстур и, в свою очередь, опирающийся на описание текстур. Под текстурными признаками, как правило, понимают характерные признаки, общие для текстур одного класса.

Основной вопрос при выборе признаков заключается в том, чтобы определить какие и сколько признаков необходимо выделить для надежной сегментации текстурных областей с близкими значениями цвета и текстуры на изображении. Известно, что чрезмерное увеличение исходной системы признаков не приносит положительного эффекта из-за того, что степень представительности выборки одного и того же объема обратно пропорциональна размерности пространства признаков. Наиболее важные требования к признакам, используемым для решения задачи сегментации областей изображений, могут быть сформулированы следующим образом.

Признак должен быть информативным, т.е. содержать информацию, существенную для данного изображения в контексте решаемой задачи, и способствовать точной сегментации объектов.

Признак должен допускать обработку алгоритмом сегментации изображений, т.е. иметь формат, приемлемый для выбранного алгоритма сегментации.

Признак должен входить в минимальный набор признаков (или модель изображения), отражающий специфику сегментируемого объекта в контексте задачи.

Временная сложность вычисления признака не должна превышать выгоды от его использования для решения данной проблемы.

Таким образом, решение задачи построения минимального множества наиболее информативных признаков является одним из главных факторов при разработке алгоритмов и информационной технологии сегментации текстурных областей изображений. Текстур-

ные признаки можно разделить на четыре основных класса: признаки, основанные на статистических характеристиках текстурных изображений; признаки, основанные на измерении спектральных свойствах; модельные признаки, основанные на случайных марковских фрактальных полях; геометрические признаки, основанные на структурных характеристиках.

Исследование статистических признаков для сегментации текстурных областей с близкими значениями цвета и структуре. Статистические свойства текстурных фрагментов изображений, визуально близких по своим свойствам, проанализированы в [9]. Группа статистических признаков базируется на использовании инструментов статистики для описания характеристик структуры текстурной области. При вычислении статистических признаков предполагается, что исследуемое изображение является реализацией некоторого поля случайных чисел. Статистический анализ текстур основан на статистических свойствах гистограмм яркости. Класс таких признаков строится по статистическим моментам.

Формула для нахождения n -го момента для нахождения относительного статистического среднего имеет вид (1):

$$\mu_n = \sum_{i=0}^{L-1} (Z_i - m)^n p(Z_i), \quad (1)$$

где Z_i – это случайная величина, обозначающая яркость, $p(Z_i)$ – гистограмма распределения уровней яркости в данной области, L – обозначает число различных значений яркости, а m задается выражением (2):

$$m = \sum_{i=0}^{L-1} Z_i p(Z_i) \quad (2)$$

и является средней яркостью области.

При подготовке материалов статьи были проанализированы гистограммы 40 изображений земной поверхности четырех классов (травы, грунта, снега и песка). На рисунке 5 представлены примеры изображений и анализируемых гистограмм. Как видно из рисунка, изображения являются достаточно однородными, что позволяет сделать вывод о том, что свойство однородности можно использовать в качестве признака для отделения текстуры травы от фона. Наличие характерных пиков на гистограммах изображений говорит о том, что изображения отличаются наличием контуров различного направления.

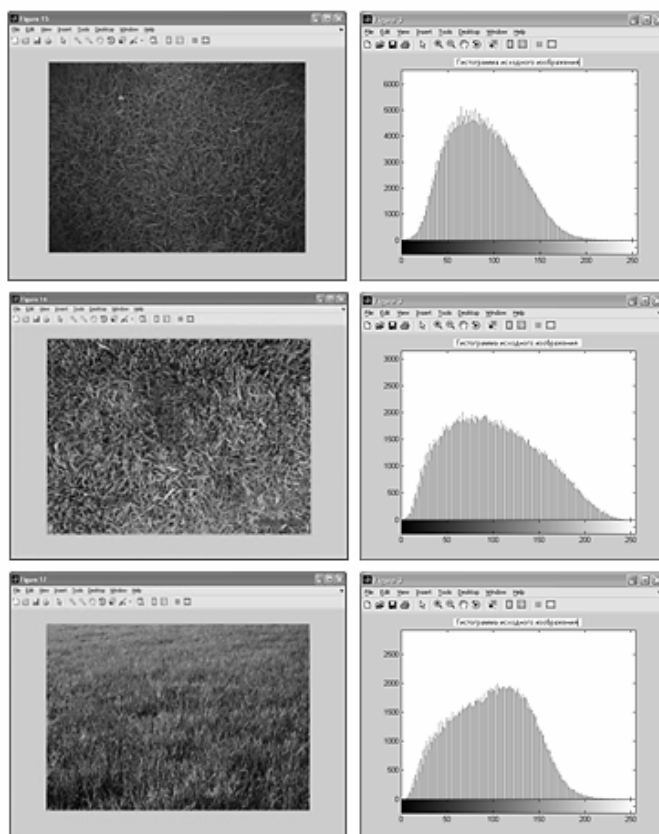


Рисунок 5 - Гистограммы распределения яркостей текстурных изображений одного класса (травы), близких по значениям цвета и структуре

В связи с этим, для первичной сегментации текстурных фрагментов проанализированы статистические признаки текстур, а именно энтропия (3), однородность (4) и средняя яркость. Энтропия является статистической характеристикой случайного процесса. Энтропия выражает неравномерность распределения яркостных свойств элементов изображения. В качестве текстурного признака энтропия как мера случайности имеет вид (3):

$$e = - \sum_{i=0}^{L-1} p(Z_i) \log_2 p(Z_i) \quad (3)$$

Однородность представляет собой меру равномерности. Эта величина максимальна для постоянной яркости (максимальная однородность) (4):

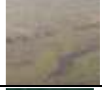
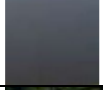
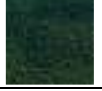
$$U = \sum_{i=0}^{L-1} p^2(Z_i) \quad (4)$$

При расчетах были использованы изображения одинаковых размеров с глубиной цвета 8 бит на пиксель (полутоновые изображе-

ния с 256 градациями яркости). В таблице представлены результаты расчетов статистических свойств текстурных фрагментов изображений (100×100 пикселей), визуально близких по характеристикам яркости и структуре, для пяти изображений.

Таблица 1

Статистические свойства текстурных фрагментов изображений, визуально близких по характеристикам яркости и структуры

№	Фрагмент 1	Фрагмент 2	Энтропия		Разн.	Яркость		Разн.	Однородность		Разн.
			Ф.1	Ф.2		Ф.1	Ф.2		Ф.1	Ф.2	
1.			5,06	5,17	0,11	0,42	0,58	0,16	0,03	0,03	0,00
2.			6,53	7,06	0,53	0,24	0,46	0,22	0,01	0,00	0,01
3.			6,17	5,54	0,63	0,51	0,45	0,06	0,01	0,22	0,21
4.			6,14	6,14	0,00	0,40	0,25	0,15	0,01	0,01	0,00
5.			5,04	5,60	0,56	0,46	0,40	0,06	0,03	0,02	0,01

Анализ таблицы 1 показывает, что чем больше визуально отличаются текстурные фрагменты, тем разница между значениями их свойств больше. Так, например, если фрагмент 1 и фрагмент 2 изображения 1 находятся в одном цветовом диапазоне, то значение их энтропии отличаются на 0,11, в отличие от фрагментов изображения 2, цвет которых заметно различается, и значения энтропии отличаются на 0,56. Аналогичная ситуация наблюдается и в разнице между яркостью и однородностью фрагментов. Чем более отличаются фрагменты, тем более отличаются и их свойства. Очевидно, разница в значениях статистических признаков фрагментов текстуры, близких по цвету и структуре, не является существенно большой величиной (варьируется в диапазоне от 0,0005 до 0,6), которую можно было бы использовать для четкого различения границ текстурных областей.

Анализ текстурных областей на основе дискретного косинусного преобразования (ДКП). В последние годы значительно возрос интерес к изучению ортогональных преобразований [10]. Теоретические исследования ортогональных преобразований проводятся в области обработки изображений и речевых сигналов, отбора признаков

при распознавании образов. В связи с этим, в статье для анализа текстурных областей на аэрофотоснимках исследованы методы дискретного косинусного преобразования (ДКП).

Известно, что дискретное косинусное преобразование представляет собой разновидность преобразования Фурье и представляет изображение в виде суммы синусоид с различной амплитудой и частотой. Графическое изображение рассматривается как совокупность пространственных волн, причем оси X и Y совпадают с шириной и высотой изображения, а по оси Z откладывается значение цвета соответствующего пикселя изображения. Дискретное косинусное преобразование позволяет переходить от пространственного представления изображения к его спектральному представлению и обратно.

Двумерное дискретное косинусное преобразование переводит изображение из области пространственных переменных (из представления набором отсчетов или пикселей) в спектральную область (представление набором частотных составляющих). Процедуру ДКП можно записать также в матричной форме (5):

$$DCT = TC * \text{Im } g * TC^T, \quad (5)$$

где TC – матрица базисных (косинусных) коэффициентов преобразования.

Результаты расчетов контрольного примера (аналогичного данным таблицы 1), говорят о том, что разница между среднеквадратичным отклонением (СКО) матриц изображений до выполнения ДКП и после выполнения ДКП составляет значение, которое существенно превышает разницу между статистическими свойствами исследуемых фрагментов. На рисунке 6 фрагменты 1 (рис. 6б) и 2 (рис. 6в), 3 (рис. 6г) и 4 (рис. 6д) являются близкими по цвету и структуре. Как видно из рисунка, фрагменты 1 и 2, 3 и 4 между собой визуально практически не отличаются. Однако разница СКО матриц изображений фрагментов после применения к ним ДКП составляет 7,98 и 6,30 соответственно.

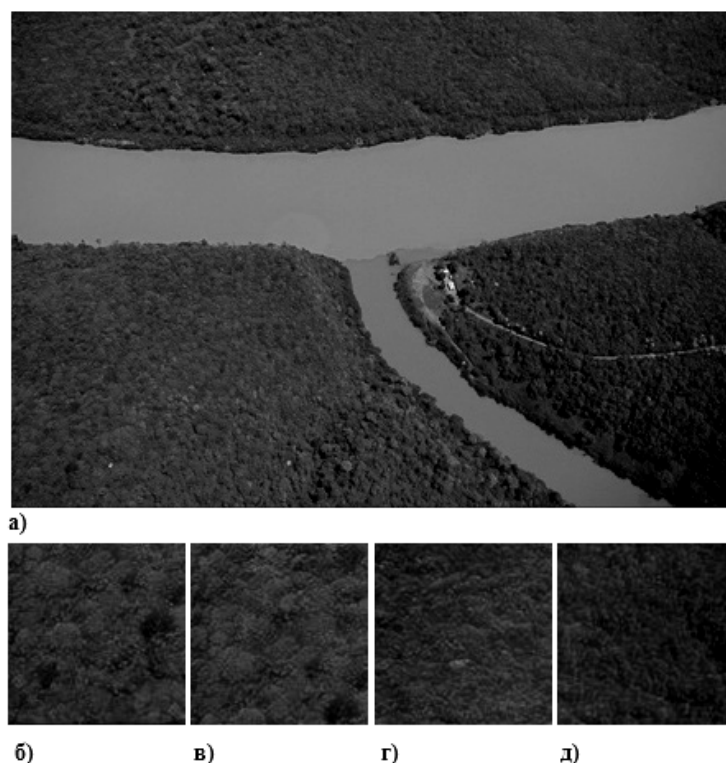


Рисунок 6 - Изображение, содержащее текстурные фрагменты, близкие по цвету и структуре: а) – исходное изображение; б) – текстурный фрагмент 1; в) – текстурный фрагмент 2; г) – текстурный фрагмент 3; д) – текстурный фрагмент 4

Проведенные эксперименты показали, что с увеличением процента смещения фрагментов увеличивается разница СКО матриц текстурных фрагментов, что еще раз подтвердило целесообразность применения предложенного признака для сегментации текстурных областей изображения, близких по цвету и структуре.

Выводы. Экспериментальные исследования процесса сегментации текстурных областей по статистическим признакам показали, что результатом сегментации являются только яркие области изображения с одинаковой энтропией, однородностью или яркостью, которые не обязательно принадлежат одной и той же текстуре. Исходя из этого, можно сделать вывод, что сегментация текстурных областей только по статистическим признакам не дает достоверных результатов и соответственно, не может быть окончательной. На основании изложенного выше, можно сделать вывод: сегментацию по статистическим признакам целесообразно использовать только на первом этапе метода – этапе первичной сегментации.

Применение ДКП к матрицам полутонных изображений текстурных фрагментов, близких по значениям цвета и структуре, позволяет получить разницу (порог сегментации), позволяющую применять ее для решения задачи сегментации текстурных областей с близкими значениями цвета и текстуры. Данный порог предложено использовать в качестве признака для сегментации текстурных областей изображения, близких по цвету и структуре. При настройке параметров сегментации для каждой конкретной задачи (сегментация текстур различных классов) необходимо более детально исследовать статистику распределения значений признаков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: [в 2-х томах]. / У. Прэтт. – М.: Мир, 1982. – Т. 1. – 312с. – Т. 2 – 480с.
2. Абламейко С. В. Обработка изображений: технология, методы, применение / С.В. Абламейко, Д.М. Лагуновский. – Минск: Ин-т технической кибернетики НАН Беларуси, 1999. – 300 с.
3. Визильтер Ю.В. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения: курс лекций и практических занятий / Ю.В. Визильтер, С.Ю. Желтов и др. – М.: Физматкнига, 2010. – 672 с.
4. Gonzalez R.R. Woods Digital Image Processing. Second Edition / Gonzalez R.R. – Prentice Hall, 2002. – 793 p.
5. Коваленко, Т. В. Метод обработки цифровых текстурных изображений в информационных системах аэрокосмического мониторинга // Теоретичні і прикладні аспекти комп'ютерних наук та інформаційних технологій: Матеріали II міжнародної науково-практичної конференції TACSIT-2017, 12-13 травня 2017 р. / За ред. Скарги-Бандурової І.С. – Сєверодонецьк : Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, 2017. – С. 10-13.
6. Коваленко, Т.В. Модели и методы обработки цифровых текстурных изображений в системах аэрокосмического мониторинга // Наукові праці : Науково-методичний журнал. – Вип. 275. Т.287. Комп'ютерні технології. – Миколаїв : ЧДУ ім. П. Могили, 2016. – С. 132-137.
7. Протасов А.П. Непараметрический алгоритм распознавания объектов подстилающей поверхности земли по данным аэрокосмической съемки / А. П. Протасов, А. И. Рюмкин // Вестник Томского государственного университета: Сибгеоинформатика, вып. 275, 2002. – с. 43 – 46.
8. Коваленко, Т.В. Метод оцінки якості сегментації цифрових зображень в системах аерокосмічного моніторингу // Проблеми інформаційних технологій № 01 (21) травень 2017. – Херсон : ХНТУ, 2017. – С. 29-34.
9. Howarth P., S. Ruger. Robust texture features for still image retrieval. In Proc. IEEE Vis. Image Signal Processing, vol. 152, No. 6, December 2006.
10. Деревянченко А.Г. Распознавание текстур зон износа режущих инструментов на основе анализа энергетических спектров Фурье их изображений / А.Г. Деревянченко, О.Ю. Бабилунга и др. // – Одесса: Астропринт, 1999. – с. 250- 257.

В.В. Скалозуб, Л.О. Панік

ПАРАЛЕЛЬНІ СИНХРОННІ АЛГОРИТМИ АНАЛІЗУ ТА ПЛАНУВАННЯ НЕОДНОРІДНИХ ПОТОКІВ У ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖАХ

Анотація. У статті досліджено питання розвитку алгоритмів аналізу та планування неоднорідних потоків у транспортних мережах. Запропоновано новий паралельний синхронізований алгоритм для розрахунку максимальних одно- та багатопродуктових потоків. Приведено приклади застосування алгоритму.

Ключові слова: транспортні мережі, максимальний потік, паралельні алгоритми, неоднорідні потоки, компромісні моделі планування потоків.

Вступ. Завдання аналізу, планування та керування потоками являються надзвичайно широко поширеними у різних сучасних сферах діяльності. Розвиток мережевих технологій також потребує удосконалення методів управління потоками. У більшості транспортні та інші потоки неоднорідні, вони містять складові з різними властивостями за функціональним призначенням, вимогами до процесу транспортування щодо часу, сервісів ін. При плануванні і раціональній організації транспортних потоків, перевезень тощо враховують і формують однорідні або багатопродуктові в певному сенсі процеси, виходячи із потреб до головних характеристик і вимог [1 - 4]. Розроблені різноманітні математичні моделі транспортних та інших потоків у мережах, в тому числі як задач оптимального або раціонального планування [1, 3, 4, 7]. Безперервний розвиток методів і засобів аналізу властивостей елементів потоків, а також створення сучасних інформаційно-комунікаційних технологій і систем, дають можливість для все більш повного врахування вимог і ознак окремих категорій об'єктів транспортних потоків, а також їх взаємодії. Одним з глобальних рішень проблем організації та управління транспортними потоками є створення інтелектуальних транспортних систем (ІТС) [3]. Урахування та облік специфічних категорій вимог або властивостей об'єктів транспортних потоків істотно впливає на зміст і складність відповідних моделей і методів їх аналізу і планування [5, 8]. В [3] та

інших дослідженнях зокрема розглянуто один з підходів до моделювання та дослідження транспортних потоків, заснований на теорії конкурентної безкоаліційної рівноваги. У дослідженнях [2, 3] представлено широке коло алгоритмів аналізу та планування потоків у транспортних та інших мережах, серед них зазначені також алгоритми розрахунку максимальних потоків. Указані дослідження все ж у більшості розглядають однорідні потоки. Разом з тим питання удосконалення та розвитку методів аналізу та планування неоднорідних потоків в мережах стають все більше актуальними.

Завдання із визначення максимальних потоків являється одним із головних при формуванні та аналізі транспортних мереж, його результати широко застосовуються на практиці [1, 5, 6]. У зв'язку із сучасним всебічним розвитком мережевих технологій, створенням та функціонуванням ІТС [4], формуванням при цьому нових завдань оптимального планування неоднорідних транспортних потоків (багатопродуктові, багатокритеріальні, з урахуванням індивідуальних потреб елементів-носіїв потоків ін.) [4, 7, 8], що все повніше ураховують вимоги окремих учасників таких потоків, вирішення яких базується на кількісних та якісних оцінках властивостей мереж. Реалізація багатопродуктових, а також багатокритеріальних моделей планування потоків у мережах [1, 7] використовує розрахунки максимальних потоків, параметрів мінімального розрізу, а також розподіляючих множин ребер транспортних мереж [2].

Метою цієї роботи є розробка та дослідження можливостей нового паралельного синхронного алгоритму розрахунку максимальних неоднорідних потоків у транспортних мережах. При цьому створюваний алгоритм має бути придатним для розрахунку однопродуктових, багатопродуктових, а також компромісних потоків, в яких застосовуються методи раціонального вибору при формуванні неоднорідних потоків, які протікають по дугах мережі.

Матеріали та методики дослідження. Базовими для визначення максимальних потоків (МП) у транспортних мережах являються відповідна теорема та метод Форда-Фалкерсона, що призначені для аналізу однопродуктових цілочисельних потоків [1, 2]. На теперішній період існує більше двадцяти алгоритмів для розрахунку максимальних потоків у мережах, серед яких одними із перших та найбільш поширеними є алгоритми Форда-Фалкерсона, Едмондса-Карпа [6], Дініца [5]. Про-

ведений аналіз особливостей, переваг і недоліків алгоритмів, відомі оцінки складності таких алгоритмів, наведені у роботах [2, 5, 6] та ін. Розроблена значна кількість програмних реалізацій цих алгоритмів, у тому числі їх паралельних версій. Необхідно зазначити, що завдання розрахунку максимального потоку є досить ресурсовитратним, при цьому існують структури мереж, для яких алгоритми мають слабку збіжність [2, 3]. При аналізі багатопродуктових (неоднорідних) потоків у транспортних та інших мережах складності побудови та реалізації алгоритмів оцінки параметрів максимальних потоків суттєво зростають [1, 2].

Формально транспортна мережа це орієнтований граф $G=(V,E)$, в якому кожне ребро $(u,v) \in E$ має позитивну пропускну здатність $c(u,v)>0$ і потік $f(u,v)$ [2]. Виділяють дві вершини: виток s та стік t такі, що люба інша вершина мережі лежить на шляху із вершини s до вершини t . Позначимо через

$$G=\{(V,E),c,s,t\} \quad (1)$$

транспортну мережу (далі також мережу), в якій $c(u,v)$ – пропускна здатність, а $f(u,v)$ – потік через ребро (u,v) , V – множина вузлів, E – множина ребер.

Для порівняльного аналізу алгоритмів визначення МП коротко наведемо схему алгоритма Едмондса-Карпа (А-ЕК). Визначимо поняття залишкової мережі (ЗМ), що формується за ітераціями, як мережі, пропускні здатності ребер якої модифікуються на основі величин визначених та збільшуваних потоків. А-ЕК складають такі етапи.

1. Вважають що всі потоки дорівнюють нулю. При цьому ЗМ співпадає із заданою транспортною мережею.

2. В ЗМ на підставі дерева маршрутів знаходять найкоротший шлях (НКШ) з витoku до стоку. Якщо такого шляху не існує – МП знайдено, зупинитися.

3. Пускають через НКШ (збільшувачий шлях) максимально можливий потік:

3.1. На НКШ у мережі ЗМ знаходять ребро з мінімальною пропускну здатністю $C_{\min}$

3.2. Для кожного ребра на НКШ збільшують потік на $C_{\min}$, а на протилежному йому ребрі зменшують на $C_{\min}$.

3.3. Модифікують ЗМ: для всіх ребер НКШ, а також для них протилежних, розраховують нову пропускну здатність, змінюючи на $C_{\min}$.

Якщо така пропускна здатність дорівнює нулю, ребро вилючається із графу мережі, якщо ж здатність стала позитивною – додають ребро до ЗМ.

4. Перехід до п2.

Складність алгоритму Едмондса-Карпа дорівнює $O(VE^2)$ [2, 6].

Для оцінки властивостей алгоритму А-ЕК, виходячи з наших потреб відзначимо наступне. Задача розрахунку максимальних потоків у мережах (1), а також багато інших поточкових задач [1 - 3], представляються за допомогою певних математичних моделей (в більшості лінійного програмування), система обмежень яких містить рівняння неперервності потоків у вузлах, а також інші змістовні обмеження, що відповідають вимогам постановок задач. З наведеної схеми А-ЕК зрозуміло, що обмеження неперервності потоків у вузлах (1) виконуються автоматично за рахунок процедури пропуску однакового потоку по усіх ребрах НКШ п3. Наступне, у дереві кожний вузол зустрічається у відповідності до числа можливих шляхів, які проходять через нього, рис. 1, а кожну появу вузла у дереві можна вважати викликом відповідної процедури. Зміст вузлових процедур полягає у підрахунку довжини маршрутів, а також у організації (паралельного) звернення до всіх процедур, що відповідають вихідним вузлам, нащадкам поточного вузла мережі ЗМ для (1). Зрозуміло, що всі вузли з однаковими номерами мають однакові піддерева. При викликах процедур вузла-стоку визначається довжина певного маршруту, рис. 1. Тотожність піддерев для одноіменних вузлів графу шляхів дозволяє організувати синхронну, узгоджену щодо етапу алгоритму, обробку окремих потоків, які проходять через вузли мережі.

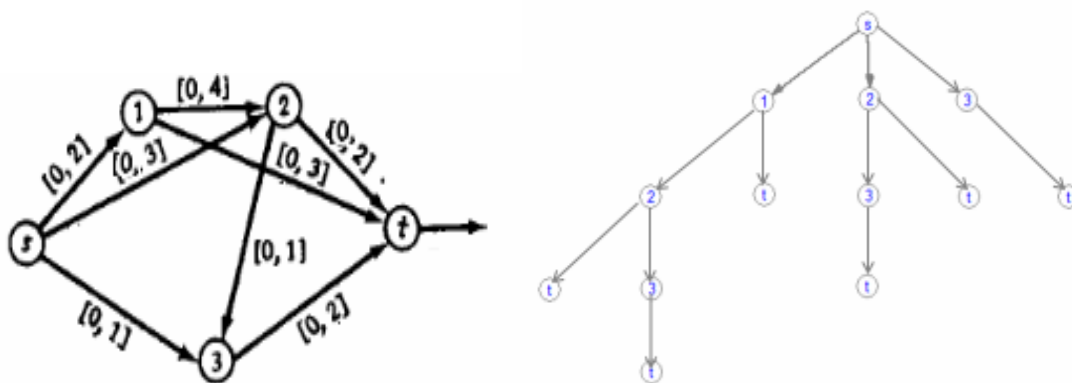


Рисунок 1 - Схема транспортної мережі для визначення максимального потоку та дерево можливих маршрутів (формування пошуком у ширину)

При розрахунку МП на основі математичних моделей, як правило, число змінних у оптимізаційних задачах дорівнює кількості

ребер у мережі (1), а для урахування рівнянь неперервності потоків застосовуються спеціальні методи [1, 2, 4]. У алгоритмах розрахунку максимального багатоподуктового потоку (МБП) припускається, що у потоків різних продуктів можуть бути неоднакові витoki і стоки [1], а також ураховують додаткові обмеження на величини загального потоку всіх продуктів по ребрах мережі. При цьому також у рішеннях МБП структури потоків окремих продуктів можуть залежати від нумерації та послідовності урахування потоків продуктів, але із постійними значеннями загального потоку. При певних умовах такі рішення щодо МБП не можуть бути застосовані на практиці, наприклад, за умов конкуренції окремих потоків продуктів, моделі яких наведено у [4, 7, 8] тощо.

Результати досліджень та їх огляд. Розроблений і представлений у статті паралельний синхронний алгоритм аналізу параметрів максимальних потоків у мережах (ПСАП), подібно до алгоритму Едмондса-Карпа (А-ЕК) [2, 6], використовує стратегію пошуку у ширину при одночасному визначенні можливих шляхів потоків через мережу з відомими на певному кроці ЗМ пропускними спроможностями дуг (ребер). В А-ЕК, як реалізації методу Форда-Фалкерсона, на кожній ітерації у побудованому дереві можливих шляхів обирається найкоротший за числом ребер шлях, по якому пропускається додатковий збільшуючий потік. На рис. 1 представлено дерево можливих шляхів через мережу, сформоване методом пошуку у ширину, яке містить три шляхи довжини три. За А-ЕК на ітерації обирається один із них для подальшого аналізу. Це викликано тим, що при первинному формуванні дерева визначаються лише довжини шляхів.

На відмінність від А-ЕД та подібних інших алгоритмів у пропонуваному ПАСП за рахунок синхронізації процесів формування вузлів дерева в цих вузлових процедурах також одночасно виконується аналіз можливих значень додаткових, збільшуючих, потоків, що можуть розповсюджуватися (за рахунок паралельного виклику відповідних вузлових процедур) по наступних визначених ребрах мережі ЗМ. При цьому виникає можливість паралельно (на одній ітерації) виконувати аналіз декількох збільшуючих потоків через мережу ЗМ. Наприклад, на рис. 1 – одночасно трьох. Інша суттєва перевага алгоритму ПАСП полягає у придатності оцінювати максимальні багатопродуктові потоки, при незначних «технічних»

змінах структури алгоритму, необхідних для забезпечення типового оброблення декількох складових багатоподуктового потоку через мережу ЗМ (1).

У роботі прийнято, що вузлові процедури можуть виконуватися, якщо до них за схемою мережі (1) надійшли всі вхідні потоки. Для керування процесами синхронізації вузлових процедур вводиться кроковий параметр послідовності виконання процедур і надходження потоків (t). Значення параметру указує «довжину» шляху від витoku до відповідного вузла у мережі ЗМ. Якщо на кроці (t) до вузла-процедури надійшов вхідний потік, процедура переходить у стан активності, а при надходженні всіх вхідних параметрів – стає готовою і паралельно виконує виклик всіх вихідних вузлів-процедур, передаючи їм розраховані нею параметри можливих потоків за цими шляхами. При цьому сама переходить до стану «виконано», а число активних вузлів $N_a(t)$ зменшується на одиницю. Система синхронізації контролює число активних процедур на кроках (t). За параметром $N_a(t) > 0$ також виконується контроль можливого блокування процесів формування маршрутів через ЗМ, а саме – коли немає жодного вузла, до якого на кроках (t) надійшли усі вхідні потоки. У такому випадку передбачено передачу синхронізуючого «нульового» потоку. Вибір вузла-процедури для розблокування обирається за такими ознаками: мінімальна кількість відсутніх вхідних потоків, при рівності – мінімальність номеру кроку активізації процедури (t), при рівності цих параметрів – менша кількість вихідних вузлів. Виникнення відзначених процесів блокування може бути можливе при аналізі багатопродуктових потоків. У подальших процедурах синхронізуючий потік ураховується у алгоритмі як і всі інші.

Базовий паралельний синхронний алгоритм розрахунку максимального потоку. Приведемо якісне, змістовне, описання ПСАП, достатнє для однозначного відображення його сутності та створення програмної реалізації. Головним елементом побудови алгоритму (як і в А-ЕК) являється вузлова процедура $Pr_k(t)$, де k – номер вузла із множини E (1), t – крок виконання ПСАП. Процедури $Pr_k(t)$ мають множини вхідних $Ein_k(t)$ та вихідних $Eout_k(t)$ ребер, пропускні здатності яких для ЗМ відомі (1). Всі $Pr_k(t)$ працюють у двох режи-

мах: прямий, спуск ($up(0)$), – формування можливих маршрутів потоків через ЗМ (паралельний пошук у ширину); зворотний, підйом ($up(1)$), – паралельне формування збільшуючих потоків через мережу ЗМ. Функції процедур $Pr_k(t)$ крім вузлів витоку $Pr_s(t)$ та стоку $Pr_t(t)$ визначаються наступним:

- очікування надходження всіх потоків від $Ein_k(t)$ (режим $up(0)$) або від $Eout_k(t)$ (режим $up(1)$), фіксація величин та послідовності (t) надходження потоків $\{V_{ik}(t) : i \in Ein_k(t)\}; \{V_{kj} : j \in Eout_k(t)\}$, розрахунок діючих вхідних потоків $\{\hat{V}_{ik}(t) = \min(c_t(i, k), V_{ik}(t))\}$, де $c_t(i, k)$ – пропускна здатність на етапі (t) ;

- при $up(0)$ і надходженні всіх потоків від $Ein_k(t)$ процедура $Pr_k(t)$ виконує паралельний виклик всіх процедур, які відповідають вузлам $Eout_k(t)$, пересилаючи до всіх із них $V_{kj}(t) = \max(\hat{V}_{ik}(t), i \in Ein_k(t))$, номер вузла що відповідає $\max(\hat{V}_{ik}(t))$ запам'ятовується $-i_k \max(t)$;

- при підйомі, $up(1)$, та надходженні всіх потоків від $Eout_k(t)$ процедура $Pr_k(t)$ виконує розрахунок та пересилку величини $V_{ik}(t) = \min(V_{kj}(t) > 0, j \in Eout_k(t))$ до вхідного вузла $i_k \max(t)$, також запам'ятовується номер вузла $i_k \min(t)$ із збільшуючим потоком $V_{ik}(t)$, а до всіх інших $i \in Ein_k(t)$ передається $V_{ik}(t) = 0$.

Функція вузла витоку $Pr_s(t)$ полягає у наступному:

- при умові $up(1)$ вузлам $Eout_s(t)$ паралельно пересилається $V_{sj}(t) = c_t(s, j)$ що дорівнює поточним пропускним здатностям ребер;

- при умові $up(1)$ позитивні надходження всіх потоків від вузлів $Eout_s(t)$ представляють величини збільшуючих потоків, і використовуються для коригування максимального потоку МП і мережі ЗМ, як і в алгоритмі А-ЕК. Якщо відсутні позитивні потоки від $Eout_s(t)$, тоді максимальний потік розраховано.

Функція вузла стоку $Pr_t(t)$ полягає у наступному:

- при $up(0)$ і надходженні всіх потоків від $Ein_k(t)$ процедура $Pr_t(t)$ відбувається зміна режиму аналізу мережі – $up(1)$;

- виконує паралельний виклик всіх процедур, які відповідають вхідним вузлам $Ein_k(t)$, пересилаючи до них ті ж величини відповідних діючих вхідних потоків $\{\hat{V}_{it}(t) = \min(c_t(i, t), V_{it}(t))\}$, де $c_t(i, t)$ - пропускна здатність на етапі (t) .

Наведемо окремі функції процедур $Pr_t(t)$ детальніше, урахувавши можливості неоднозначності даних розрахунків. А саме, умови щодо рівності величин декількох максимальних вхідних або мінімальних збільшуючих потоків за маршрутами. Якщо величину $V_{kj}(t) = \max(\hat{V}_{ik}(t), i \in Ein_k(t))$ мають кілька вхідних вузлів, у якості $i_k \max(t)$ виступає вхідний вузол з меншим (t) (відповідає найкоротшому шляху до вузла за числом кроків), при рівності параметрів (t) береться вузол із меншим числом вихідних ребер. При рівності кількох мінімальних збільшуючих потоків, режим $up(1)$, у якості $i_k \min(t)$ також вибирається вузол із меншим (t) , при рівності (t) – вузол із меншим числом вихідних ребер.

З урахуванням встановлених процедур $Pr_k(t)$ схематично базовий ПСАП складається із наступного:

1. Вважати всі потоки транспортної мережі (1) рівними нулю. Мережа ЗМ співпадає із заданою.

2. Встановити режим спуску $up(0)$, лічильник етапів $(t = 0)$. Виконати процедуру витоку Pr_s .

3. На основі паралельної реалізації методу пошуку у ширину сформувати вузли дерева маршрутів для мережі ЗМ, використовуючи $Pr_k(t)$.

4. Якщо відсутні позитивні збільшуючі потоки від $Eout_s(t)$, тоді максимальний потік розраховано. Інакше, паралельно коригуються потоки та ЗМ:

4.1. На кожному із маршрутів для позитивних потоків від $Eout_s(t)$ збільшують потоки на ребрах на визначену із $Eout_s(t)$ величину.

4.2. Модифікувати мережу ЗМ: для всіх ребер збільшуючих потоків розрахувати нову пропускну здатність, змінюючи на величини із $Eout_s(t)$. Якщо нова пропускна здатність дорівнює нулю, ребро вилючається із графу мережі ЗМ.

5. Перехід до п2.

Приклади розрахунків максимальних потоків. Наведемо приклади застосування алгоритму ПСАП для аналізу одно- та багатопро-

дуктових, а також компромісних потоків у транспортних мережах. На рис.1 представлена схема транспортної мережі, для якої необхідно визначити максимальний потік одного продукту з [2]. Також на рисунку показане первинне дерево маршрутів, побудоване пошуком у ширину, за алгоритмом А-ЕК. На рис. 2 указані схеми збільшуючих потік маршрутів на 2 та 3 ітераціях алгоритму ПСАП. У табл. 1 відображене представлення покрокового по (t) виконання паралельного алгоритму, ураховуючи режими $up(0/1)$ прямого та зворотного процесів. Кроки відповідають параметру (t) , у стовпцях указані номери вузлів, останній стовпець містить величини потоків за маршрутами (М-Потік) та результуючі розрахункові (Р-Потік). Покроково указані вузли, які отримали вхідні значення (величина/номер вузла), а також умова готовності (N/Y) до синхронної передачі потоку (виклику процедур-нащадків). Таблиця показує, що на першій ітерації отримано три збільшуючих потоки, представлені пунктирними лініями.

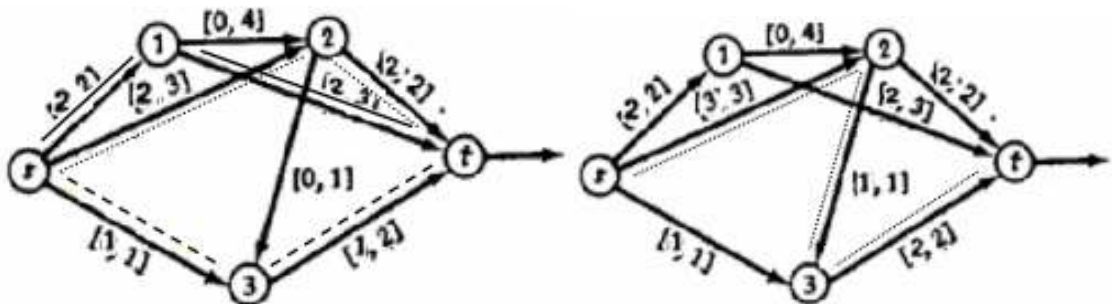


Рисунок 2 - Схеми збільшуючих потік шляхів на послідовних ітераціях алгоритму

Максимальний потік дорівнює 6, отриманий за дві ітерації, рис. 2.

Наступний приклад аналізу однопродуктового потоку, рис. 3 – рис.4, демонструє що алгоритм ПСАП не завжди дозволяє отримати кілька збільшуючих потоків на одній ітерації, що представлено у табл. 2. Хоча на першій ітерації сформовано два можливих потоки через вузли (q) та (r), через конкуренцію цих потоків (крок 4, виклик вузла «r» із «q») виявилось можливим отримати лише один збільшуючий потік. Відповідно ПСАП у зворотному проході у вузлі q вибирається вихідна дуга з мінімальним потоком, у даному випадку це дуга «q». По одному збільшуючому потоку також було визначено на на-

ступних ітераціях, табл. 2. Максимальний потік для мережі рис. 3, рис. 4 дорівнює 5, отриманий за три ітерації.

Таблиця 1

Покрокове представлення виконання паралельного синхронного алгоритму розрахунку максимального однопродуктового потоку у мережі

Up(0) Формування маршрутів (перша ітерація)						
Крок	s	1	2	3	t	М-Потік
1		2(s) Y	3(s) N	1(s) N		
2			2(1) Y	1(s) N		
3				1(2) Y		
4					2(1)	2
5					2(2)	2
6					1(3)	1
Up(1) Визначення величин множини збільшуючих потоків						
Крок	s	1	2	3	t	Р-Потік
1		2(t) N	2(t) N	1(t) Y		
2	1(3)	2(t) N	0(3) Y			1
3	2(2)	0(2) Y				2
4	2(1)					2
Up(0) Формування маршрутів (друга ітерація)						
Крок	s	1	2	3	t	М-Потік
1			1(s) Y			
2				1(2) Y		
3					1(3)	1
Up(1) Визначення величин множини збільшуючих потоків						
Крок	s	1	2	3	t	Р-Потік
1				1(t) Y		
2	1(2)		1(3) Y			1

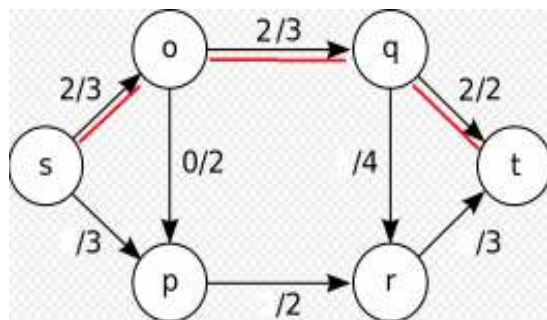
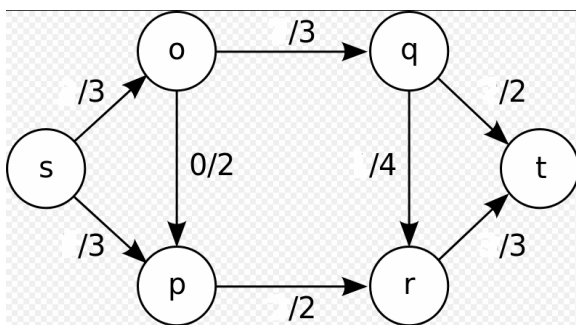


Рисунок 3 - Схема транспортної мережі для визначення однопродуктового максимального потоку та збільшуючий потік першої ітерації

Представлення виконання паралельного синхронного алгоритму розрахунку максимального однопродуктового потоку у мережі рис. 3

Up(0) Формування маршрутів (перша ітерація)							
Крок	s	o	p	q	r	t	М-Потік
1		3(s) Y	3(s) N				
2			2(o) Y	3(o) Y			
3					2(p) N		
4					3(q) Y		
5						2(q)	2
6						3(r)	3
Up(1) Визначення величин множини збільшуючих потоків							
Крок	s	o	p	q	r	t	Р-Потік
1					3(t) Y		
2			0(r) Y				
3				3(r) N			
4				2(t) Y			
5		2(q) N					
6		0(p) Y					
7	2(o)						2
8	0(p)						
Up(0) Формування маршрутів (друга ітерація)							
Крок	s	o	p	q	r	t	М-Потік
1		1(s) Y	3(s) N				
2			1(o) Y	1(o) Y			
3					2(p) N		
4					1(q) Y		
5						2(r)	
Up(1) Визначення величин множини збільшуючих потоків							
Крок	s	o	p	q	r	t	Р-Потік
1					2(t) Y		
2			2(r) Y	0(r) Y			
3		0(q) N					
4		0(p) Y					
5	0(o)						
6	2(p)						2
Up(0) Формування маршрутів (третя ітерація)							
Крок	s	o	p	q	r	t	М-Потік
1		1(s) Y	1(s) N				
2			1(o) Y	1(o) Y			
3					1(q) Y		
4						1(r)	
Up(1) Визначення величин множини збільшуючих потоків							
Крок	s	o	p	q	r	t	Р-Потік
1					1(t) Y		
2				1(r) Y			
3		1(q) Y					
4	1(o)						1

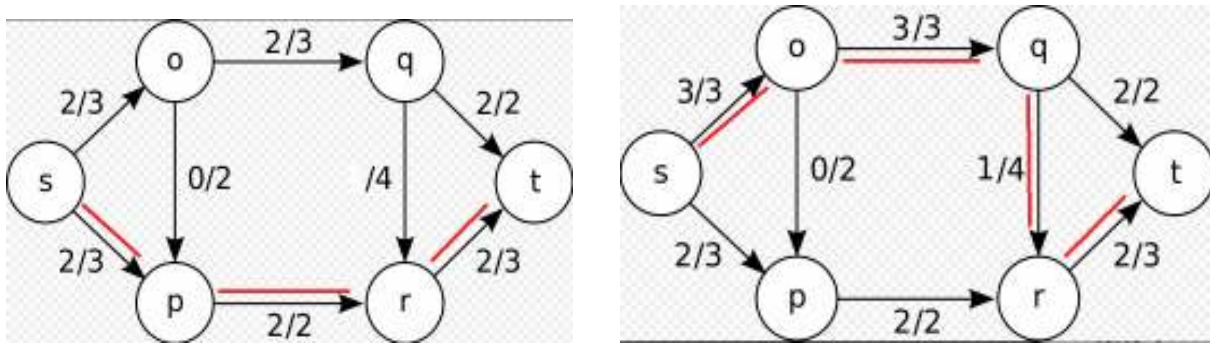


Рисунок 4 - Схема збільшуючих потоків мережі
для другої і третьої ітерацій

Паралельний синхронний алгоритм аналізу багатопродуктових потоків. Як зазначалося раніше, алгоритм ПСАП з невеликими доповненнями придатний для аналізу багатопродуктових (р) потоків (БПСАП). Зміст додаткових функцій полягає у наступному. Через можливість існування окремої мережі для передачі кожного потоку $ЗМ(p)$, на ітераціях всі продукти (р) незалежно і паралельно аналізують базовим алгоритмом ПСАП. При цьому використовують однакові обмеження на пропускні здатності дуг. Після попереднього визначення збільшуючих потоків кожного продукту (р) аналізують розділяючу множину ребер (РМ) всіх продуктів. На приналежних множині РМ дугах контролюють граничні умови щодо величини загального потоку. У разі невиконання обмежень, зменшують величини потоків кожного продукту (р), з подальшим незалежним коректуванням параметрів потоків продуктів на усіх дугах маршрутів. Причому для коректування параметрів потоків продуктів на дугах множини РМ можуть застосовуватися певні моделі вирішення компромісів у багатокритеріальних задачах [4, 8]. Після коректування параметрів названих дуг та відповідних потоків, виконується остаточний розрахунок збільшуючих потоків кожного продукту (р), а також формування нових $ЗМ(p)$ продуктів. Подальший цикл відповідає схемі алгоритму ПСАП.

Приклад щодо реалізації БПСАП завдання із розрахунку трьох продуктового потоку через транспортну мережу [1] наведено на рис. 5, де пропускні здатності всіх дуг дорівнюють 1. На рисунку через Sp та tp позначені витoki та стоки потоків продуктів (р). Якщо по дугах мережі може протікати цілочисельний потік, тоді максимальний багатопродуктовий потік дорівнює 1. У разі можливості дробових

потоків маємо наступне рішення. Відповідно ПСАП по кожному із ребер множини КМ, яка складається із дуг (1, 2), (2, 3), (2, 4), при незалежному застосуванні алгоритму можуть протікати по два потоки величиною 1. У разі визнання продуктів (р) рівнозначними встановлюється, що по цих дугах протікають дробові потоки величини $(1/2)$, а максимальний потік у мережі дорівнює $3/2$. Рисунок 5 демонструє максимальний потік для трьох продуктів.

За допомогою БПСАП можуть вирішуватися завдання формування компромісних багатопродуктових потоків через транспортну мережу. Зупинимось на особливості таких завдань планування неоднорідних потоків. Компромісними будемо називати потоки, в яких конкурують окремі складові. Зокрема, такими можна вважати потоки кількох продуктів, якщо при визначенні величин потоків кожного продукту явно розглядати моделі розв'язання компромісів щодо пропускних здатностей дуг. У класичних завданнях окремі продукти вважають рівноцінними (неявне застосування моделі компромісі у формі абсолютної поступки [7, 8]). Алгоритми розрахунку багатопродуктових потоків часто дають рішення шляхом по чергового формування загального потоку через мережу [1], при цьому окремі продукти отримують суттєво непорівнянні величини у складі загального максимального потоку через мережу, рис. 6 – рис. 8.

Приклад компромісного потоку двох продуктів рис. 6 – рис. 8 показує додаткові можливості застосування БПСАП, які на відміну від інших алгоритмів аналізу багатопродуктових потоків виконують одночасний аналіз потоків всіх продуктів. За рахунок цього можна застосовувати різні моделі компромісного аналізу та вибору величин кожного продукту на ребрах РМ транспортної мережі. На рис. 6 наведено вихідну схему мережі для пропуску двох продуктів, з указаними величинами пропускних здатностей дуг.

На рис. 7 та рис. 8 наведено результати планування максимальних потоків продуктів у залежності від черговості розподілу за алгоритмами [1, 2].

Рис. 7 подає максимальний потік продуктів при початку аналізу від вузла S1, рис. 8 – при початку від S2. У обох варіантах максимальний потік через мережу має значення 35.

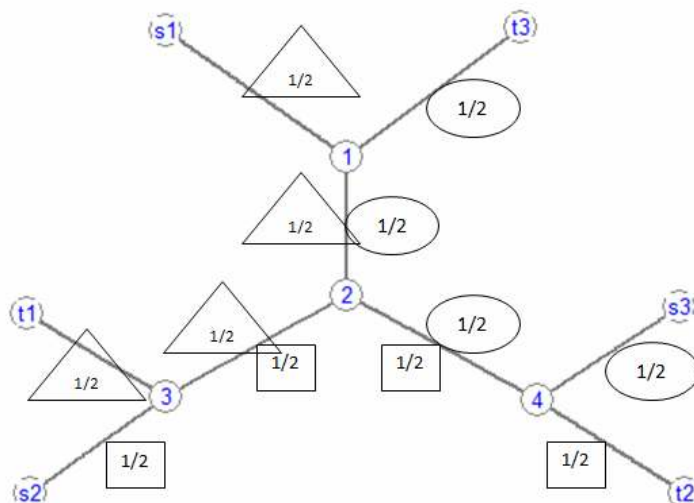


Рисунок 5 - Схема мережі та величини максимальних потоків трьох продуктів (трикутники – продукт 1, квадрат – продукт 2, коло – потік продукту 3)

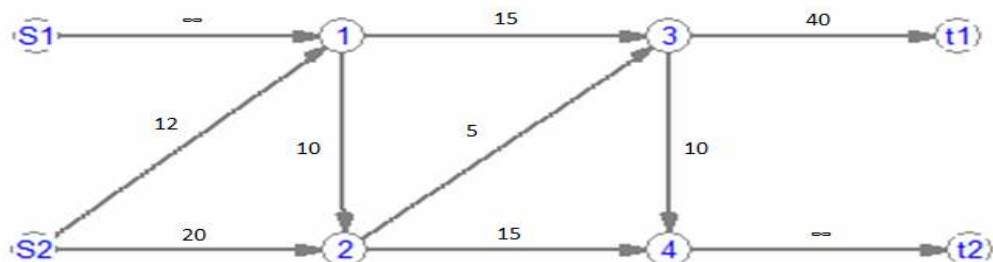


Рисунок 6 - Схема мережі для розрахунку максимального потоку двох продуктів

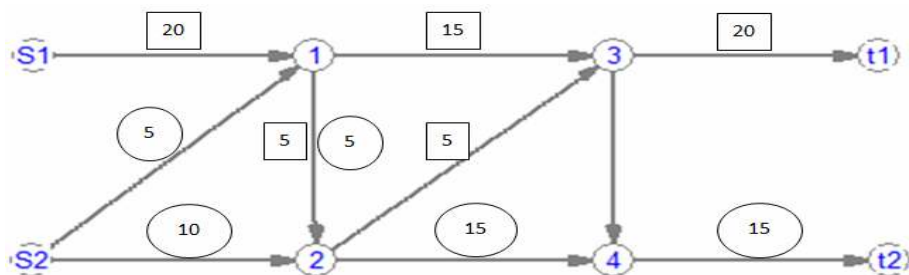


Рисунок 7 - Максимальний потік двох продуктів при розрахунку від S1

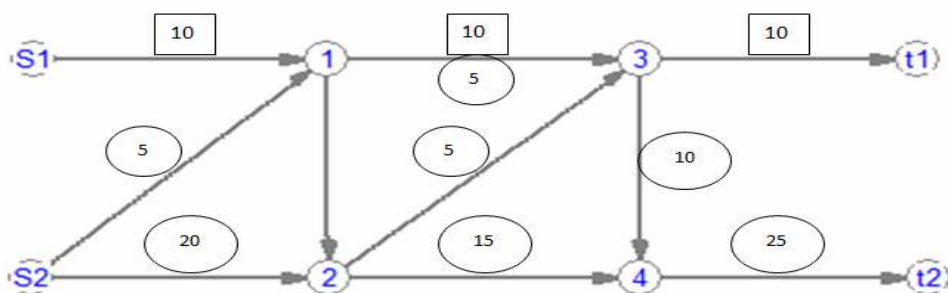


Рисунок 8 - Максимальний потік двох продуктів при розрахунку від S2

Як показують рішення рис. 7 та рис. 8, навіть для двох продуктів застосування відомих алгоритмів за умов моделі компромісу як рівноцінності дає суттєво різні, багатозначні, рішення. Такі варіанти можуть бути не прийнятними за умов конкуренції потоків продуктів. Пропоновані алгоритми БПСАП дозволяють одночасно формувати рішення для всіх продуктів окремо, а при аналізі компромісної множини ребер застосовувати необхідні моделі вибору рішень.

Висновки. У статті розроблено та досліджено можливості паралельного синхронного алгоритму розрахунку максимальних неоднорідних потоків у транспортних мережах, який являється придатним для розрахунку однопродуктових, багатопродуктових та формування компромісних потоків за рахунок застосування моделей раціонального вибору. Наведені приклади демонструють придатність, ефективність і широкі можливості застосування паралельного алгоритму для вирішення завдань аналізу та оптимального планування неоднорідних потоків у транспортних мережах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Филлипс Д.И., Гарсиа-Диас А. Методы анализа сетей/–М.:Мир,1984. – С. 496.
2. Кормен, Томас Х., Лейзерсон, Чарльз И., Ривест, Рональд Л., Штайн Клиффорд. Алгоритмы: построение и анализ, 2-е издание. Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2010. – 1296 с.: ил. – Парал. тит. англ. – ISBN 978-5-8459-0857-5
3. Гасников В.А. Введение в математическое моделирование транспортных потоков: Учебное пособие/А.В. Гасников и др.М.:МЦНМО,2013.–428 с.
4. Скалозуб В.В. Интеллектуальные информационные технологии и системы железнодорожного транспорта / Скалозуб В.В., Цейтлин С.Ю., Чередищенко М.С. / Монография «Системные технологии моделирования сложных процессов». – Днепр, НМетАУ – ИВК «Системные технологии». 2016. – С. 560 – 589.
5. Yefim Dinitz. Dinitz' Algorithm: The Original Version and Even's Version // Theoretical Computer Science: Essays in Memory of Shimon Even / Oded Goldreich, Arnold L. Rosenberg, and Alan L. Selman. – Springer, 2006. – P. 218–240. – ISBN 978-3540328803.
6. В.Н. Korte, Jens Vygen. 8.4 Blocking Flows and Fujishige's Algorithm // Combinatorial Optimization: Theory and Algorithms (Algorithms and Combinatorics, 21). – Springer Berlin Heidelberg, 2008. – P. 174–176.
7. Скалозуб В.В. Развитие многопродуктовых и многокритериальных моделей потоковых задач с учетом специализации носителей потоков / В.В. Скалозуб, Л.А. Паник, Є.С. Блохін. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2011, – №4. – С.7–11.
8. Скалозуб В.В. О построении обобщенных моделей планирования неоднородных транспортных потоков /В.В. Скалозуб, Л.А. Паник // Системные технологии, 5(106), 2016. – С. 94–101.

В.У. Григоренко, Т.М. Кадильникова, Е.Д. Лазарева
**МЕТОДОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ
ПРОЕКТОВ И ФОРМИРОВАНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ
ПРИЗНАКОВ**

Аннотация. В статье разработана методология систем контроля текущего состояния проектов и даются рекомендации по оценочным критериям обследования проектов с учетом их количественных и качественных показателей. Приводится методика выбора диагностических параметров проекта, основанная на математическом моделировании его состояния.

На основании сравнения текущих и эталонных диагностических признаков, хранящихся в базе данных ПЭВМ, производится операция принятия решения.

Информация, полученная на основе анализа математических моделей, позволяет на фазе проектирования системы мониторинга оценить затраты и принять решение о целесообразности мониторинговых исследований и их объеме для получения адекватных выводов о состоянии проекта.

Актуальность. В современных условиях при развивающихся рыночных отношениях реализация любых стратегий может осуществляться как проект, ведущий к ожидаемому результату, формализуемому в виде экстремального критерия эффективности. В процессе проектирования мы формулируем конечный образ, изменения, которых мы хотим достигнуть, т.е. цель, механизм достижения цели, ресурсы и сроки. Для того чтобы понять, достигли ли мы цели, уже на стадии проектирования необходимо понимать, что мы будем замерять до начала проекта и в конце проекта. Другими словами, какие параметры, какие характеристики нашего объекта проектирования нужно измерять до проекта, в ходе проекта и в конце проекта, и возможно после него, т.е. разработать системы контроля и оценки. Таким образом, все этапы жизненного цикла проекта, то ли это инициация, планирование, реализация, завершение, отчетность подчинены, явно или неявно, системам оценивания. Все это обуславливает необходимость решать теоретические и прикладные проблемы в рамках проектов и оптимизации решений по различным критериям с применением современных методов прогнозирования и исследования операций.

Анализ публикаций. Как показывает анализ исследований в этой области [1-4], в настоящее время отсутствуют методики, которые бы на современном уровне рассматривали теоретические и методические вопросы контроля и оценки проектов, особенно на стадии предварительного построения и в режиме реального времени. В лучшем случае такие исследования лишены системности и носят фрагментарный характер, оценивая только конечный результат [5].

Основные исследования. Контроль является одной из функций управления проектом и инструментом для получения новой информации и улучшения последующей работы. Оценка, анализ и интерпретация изменений помогает:

- определить, насколько мы достигли запланированных целей;
- понять, насколько верны были предположения относительно того, что произошло;
- судить об эффективности, результативности и устойчивости результатов работы.

Контроль в общем виде представляет процесс, в ходе которого пытаются определить, как можно более рационально и объективно осуществлять проект, а также установить ценность или значение проекта с точки зрения воздействия на проблему. Этот процесс основывается на таких общих критериях, как уместность, эффективность, результативность, влияние и устойчивость [6]. Контроль проекта должен обеспечить достоверную и полезную информацию, чтобы полученный опыт был учтен при принятии решений партнерами по программе и инвесторами проекта. Следует учитывать, что термин «объективно» использован для того, чтобы указать на необходимость соблюдения равновесия при проведении анализа, учитывающего различные подходы, точки зрения заинтересованных сторон, источники информации и методы. Контроль проекта преследует следующие цели:

- повысить качество проекта или программы, улучшить методы и результаты;
- приобрести знания, особенно об опыте, который можно использовать в других проектах, программах и ситуациях;
- доказать, что результаты проекта или программы действительно были получены.

Достичь поставленных целей можно, проводя комплексный мониторинговый контроль проекта. Здесь под термином мониторинг подразуме-

меваются непрерывный и методичный процесс сбора данных и информации в течение всего жизненного цикла проекта. Собранные данные используются для регулярной оценки проекта; таким образом, можно корректировать ход проекта без остановки работы. Мониторинг также используется для систематического отслеживания ситуации и для выявления тенденций изменений.

Здесь включаются два вида мониторинга [7]:

- мониторинг исполнения - предполагает измерение хода реального процесса относительно изначального плана вмешательства в ситуацию (например, программы, стратегии) и степени достижения конкретных целей;

- мониторинг ситуации - предполагает измерение того, как изменяется или не изменяется определенный параметр или набор параметров в ходе проекта.

Основные задачи, которые должны быть решены с помощью мониторинга, состоят в следующем:

- соблюдать контроль, чтобы работы выполнялись согласно плану проекта;
- улучшить выполнение проекта;
- определить, когда нужно быстро адаптировать проект, особенно в условиях кризиса и нестабильности;
- обеспечить источник информации для оценки;
- собрать информацию для обоснования необходимости изменить стратегию и программы.

Проведение оценки, не важно, промежуточной, финальной или оценки воздействия, всегда является весьма сложным мероприятием, требующим тщательной подготовки и достаточных ресурсов (управленческих, финансовых, человеческих и технологических). Поэтому планирование является важным этапом, который включает следующие шаги [8].

1. Определение цели оценки.
2. Определение уже имеющейся в проекте информации и выявление информационных пробелов.
3. Разработка вопросов, ответы на которые предполагается получить в ходе оценки.
4. Определение возможных подходов к проведению оценки, сбору и анализу данных, новым источникам информации и т.п.

5. Принятие решения о том, будет ли это внутренняя или внешняя оценка.

6. Составление примерного графика и сметы работ.

Анализ собранных данных является процессом изучения, извлечения полезной информации и предложения выводов. Для этого существуют статистические программы, облегчающие анализ количественных данных, в частности такие программы, как SPSS и Excel.

С качественными данными работают по-другому, извлекая и классифицируя информацию из текстовых источников. Независимо от характера и объема данных, общая схема анализа при проведении оценки проекта выглядит следующим образом.

- Что обнаружено? Излагаются факты, данные наблюдения.
- Как это можно объяснить? Эти факты и взаимосвязи между ними обсуждаются, интерпретируются, наполняются смыслом.
- Какой из этого следует вывод? На основании интерпретаций делаются выводы, выносятся суждения: хорошо или плохо, много или мало, в нужном ли направлении развивается проект или нет и т.п.
- Что теперь делать? На основании выводов даются рекомендации.

Существует много способов сообщить и распространить результаты оценки различным заинтересованным сторонам. Каждая организация ищет свои форматы отчетов для разных уровней мониторингового контроля. Одни отчеты могут просто описывать, какие действия были совершены в проекте. Другие отчеты могут содержать сложные аналитические данные, которые обеспечивают информацией всех участников программы. Какой бы ни была цель отчета, он должен быть хорошо систематизирован, описывать и анализировать совершенные действия и достигнутые результаты. В каждом отчете должны содержаться:

- список совершенных действий или достигнутых результатов;
- интерпретация значимости действий или мероприятий;
- оценка фактов или результатов представленной информации;
- обсуждение результатов решений или выбранной стратегии реализации проекта;
- выводы;
- рекомендации.

Отчет должен быть точным, кратким, ясным, хорошо структурированным. Значимая часть многих отчетов – это описание изменений, ко-

которые произошли в рамках проекта. Список, приведенный ниже, описывает некоторые моменты, описывающие произошедшие изменения:

- изменилась ли ситуация?
- что произошло с проблемой, на решение которой был направлен проект?
- насколько значительным было изменение?
- скольких людей затронуло изменение?
- какие именно целевые группы затронули изменения?
- в чем состоит долгосрочный результат для групп или подгрупп?
- благодаря чему произошли изменения?

В рамках создания после оценочной концепции проекта (рис.1) формируется общая схема развития проекта и график реализации проекта (предварительный, укрупненный вариант сетевого графика проекта) [9].

Предварительная концепция проекта в результате многократных уточнений, производимых на допроектном и предпроектном этапах, будет преобразована в итоге в общую концепцию (стратегию) развития проекта.



Рисунок 1 - После оценочная концепция проекта

В ходе комплексного мониторингового контроля также осуществляется перерасчет экономики проекта, подготовленной при первичной оценке. Перерасчет экономики проекта дает уточненные показатели эффективности проекта и укрупненные показатели бюджета, в том числе, рисковый бюджет - размер затрат инвестора до момента фиксации его прав в проекте (табл.1) [10].

Кроме того, важно, чтобы приобретаемый проект имел на максимальном отрезке периода своего развития текущую капитализацию (в данном случае разницу между рыночной стоимостью проекта и понесенными затратами по его развитию) большую «0». В таком случае компания минимизирует свои риски при возникновении необходимости выхода из проекта.

Результаты исследований. На любом из этих уровней ведущим принципом обоснования количественных показателей исследований является их роль и важность в итоговой характеристике состояния

проекта. Измеряемые диагностические параметры проекта выбираются из множества принципиально возможных параметров некоторого ограниченного количества (множества) для исследования информативности признаков, сформулированных на этих параметрах. На основании информативности признаков определяется окончательный состав измеряемых параметров, которые используются в дальнейшем для контроля состояний.

Таблица 1

Показатели эффективности проекта

NP (Net Profit)	Чистая прибыль проекта	Разность между выручкой проекта и всеми вложенными средствами (полный объем затрат проекта, включая налоги и затраты по финансированию).
ROI (Return On Investment)	Рентабельность проекта	Отношение чистой прибыли проекта ко всем вложенным средствам (полный объем затрат проекта, включая налоги и затраты по финансированию)
ROE (Return On Equity)	Рентабельность проекта на собственные средства	Отношение чистой прибыли проекта ко всем собственным средствам, вложенным в проект.
PBP (PayBack Period)	Срок окупаемости	Период времени, по истечении которого общее сальдо проекта приобретает положительное значение
IRR (Internal Rate of Return)	Внутренняя норма доходности	Соответствует ставке дисконтирования проекта, при которой NPV проекта обращается в «0».
NPV (Net Present Value)	Чистый дисконтированный доход	Арифметическая разность между дисконтированными потоками выручки и затрат проекта
PI (Profitability Index)	Индекс прибыльности	Отношение дисконтированной выручки к дисконтированным затратам

Для этого путем анализа предварительных результатов моделирования выбираются наиболее информативные индикационные показатели, совокупность которых репрезентативно фиксирует состояние исследуемого объекта. Для наблюдений выбираются также индикационные (контрольные) участки, то есть области наиболее динамичного (или наоборот стабильного) изменения состояния.

Информативность признака $I(u_j)$, т.е. количество информации, которую получает система контроля при измерении признака u_j определяется как разность значений энтропии начального и текущего состояний:

$$I(u_j) = H_0 - H(u_j).$$

Множество диагностических признаков формируется с учетом их информативности и ограничений на ресурсы (массовые, временные, стоимостные и др.).

Пусть задано множество классов $W = \{W_1, W_2, \dots, W_n\}$, априорное множество признаков $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$, априорные вероятности состояний $P(W_i)$, а также плотности распределения признаков i -го класса $\rho_i(u_1, u_2, \dots, u_n)$. Исходная энтропия такой системы равна:

$$H_0 = - \sum_{i=1}^m P(W_i) \ln P(W_i).$$

После измерения признака u_j энтропия в системе принимает значение:

$$H(u_j) = - \sum_{i=1}^m P\left(\frac{W_i}{u_j}\right) \ln P\left(\frac{W_i}{u_j}\right),$$

где $P\left(\frac{W_i}{u_j}\right)$ – условная вероятность отнесения распознаваемого состояния проекта к классу W_i , определяемого по формуле:

$$P\left(\frac{W_i}{u_j}\right) = \frac{P(W_i) \rho_i(u_j)}{\sum_{i=1}^m P(W_i) \rho_i(u_j)}.$$

Информативность такого признака вычисляется по формуле:

$$I_j = \frac{(U_j^T - U_j^H)}{U_j^H},$$

где U_j^T , U_j^H – значения диагностических признаков в текущем и первоначальных состояниях проекта.

При проектировании реальной системы контроля состояния проекта целесообразно оценивать информативность каждого признака в предположении, что он определен первым. Такая процедура позволяет предварительно определить, какие из признаков множества U целесообразно исключить из дальнейшего рассмотрения.

Для каждого проекта формируются эталоны – определенным образом аппроксимированные и усредненные внутри проекта значения диагностических признаков, а также формируются их пороговые значения, соответствующие предельным значениям диагностируемых параметров состояния.

На основании сравнения текущих и эталонных диагностических признаков, хранящихся в базе данных ПЭВМ, производится операция принятия решения, т.е. ставится диагноз, на основании которого осуществляется операция управления проектом.

Выводы. Использование результатов математического моделирования позволяет сократить стоимость натурных мониторинговых исследований путем ограниченного изучения в заранее определенных диапазонах пространства варьируемых параметров на предварительной фазе исследований.

Информация, полученная на основе анализа математических моделей, позволяет на фазе проектирования системы мониторинга оценить затраты, которые необходимо будет понести для достижения целей экспериментов. Это позволит принять продуманное решение о целесообразности мониторинговых исследований и их возможном (необходимом) объеме для получения адекватных выводов о состоянии проекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бланк И.А., «Основы финансового менеджмента». Т.2. — К.: «Ника-Центр, Эльга», 2001. — 512 с.
2. Виленский П.Л., Лившиц В.Н., Смоляк С.А. «Оценка эффективности инвестиционных проектов. Теория и практика». — М.: «Дело», 2004. — 888 с.
3. Дюбуа Д., Прад А. «Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике:» Пер. с фр.-М: «Радио и связь». 1990.-288с.: ил.
4. Ендовицкий Д.А. «Комплексный анализ и контроль инвестиционной деятельности: методология и практика». Под ред. проф. Л.Т. Гиляровской. — М.: Финансы и статистика, 2001. — 400 с.: ил.
5. Кельтон В., Лоу А. «Имитационное моделирование». — «Классика CS». 3-е изд.—СПб.: «Питер»; Киев: Издательская группа BHV, 2004.—847 с.
6. «Количественные методы в экономических исследованиях» / Под ред. М.В. Грачевой и др. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. — 791 с.
7. «Руководство по мониторингу и оценке», ИНТРАК, 2013, <http://www.intrac.org/sitemap.ru>.
8. Kahraman C., Ruan D., Tolga E. Capital Budgeting Techniques Using Discounted Fuzzy versus Probabilistic Cash Flows // Information Sciences, 2002, № 142, pp. 57-76.
9. Li Calzi M. Towards a General Setting for the Fuzzy Mathematics of Finance // Fuzzy Sets and Systems, 1990, № 35, pp. 265-280.
10. Ward T.L. Discounted Fuzzy Cashflow Analysis // Proceedings of Fall Industrial Engineering Conference, 1985, pp. 476-481.

СОДЕРЖАНИЕ

АНТОНЕНКО С.В., БЕГАРЬ М.А., МАЩЕНКО Л.В.

Информационная технология планирования испытаний на основе
сплайн-распределений 3

VOLKOVSKYI O.S., KOVYLIN Y.R.

Computer system of automatic determination of the text coherence11

HNATUSHENKO V.V., SHEDLOVSKA Y.I.

Visual search algorithm for high resolution satellite imagery.....18

БІЛОЗЬОРОВ В.Є., БОЛІЛИЙ І.О.

Порівняння методів хвиль Еліота та рекурентного аналізу для
прогнозування ціни нафти марки WTI на світових ринках26

HNATUSHENKO V.V., SIERIKOVA K.Y., SIERIKOV I.Y.

Generation of a landsat 8 mosaic for online visualization.....36

БАНДУРА Н.С., РИБКА Ю.М.

Дослідження швидкодії браузерів Інтернет41

СИМАНЕНКОВ А.Л.

Статистичний аналіз теплових режимів суднового двигуна
внутрішнього згоряння46

ПОГОРЕЛОВ В.В.

Дослідження нейромережових засобів розпізнавання кібератак на
мережеві ресурси інформаційних систем61

ТАЧИНІНА Е.Н.

Условия оптимальности ветвящейся траектории носителя при
размещении десантируемого груза в зоне чрезвычайной ситуации ...70

СТЕНИН А.А., ПАСЬКО В.П., ЛЕМЕШКО В.А.

Информационно-логическая модель управления процессом разработки
инновационных программных продуктов.....79

YASEV A.G.

Estimation of conformity of model and the original86

ALEKSEYEV M., UDOVYK I., SYROTKINA O.

Space reduction method for the scada diagnostic model91

БЕЙГУЛ О.О., ЯЦУК А.Л.

Системний підхід до визначення розподілу тисків у пористому
матеріалі та повітряному прошарку в матриці формувального
обладнання97

KUTSOVA V.Z., STETSENKO A.P., MAZORCHUK V.F.

Phase transformations in semiconductor silicon by the influence of
magnetic field 103

СГОРОВ О.П., ЗВОРИКІН В.Б., МИХАЛЬОВ О.І., КУЗЬМЕНКО М.Ю. Автоматичне управління режимом прокатки з натягом на основі зміни струму якоря двигунів приводу валків.....	108
САФАРОВ О.О. Калібрування сцен супутників Landsat-8 та Sentinel-2.....	119
ВОЛКОВСЬКИЙ О.С., ДМИТРЕНКО А.О. Методика розробки складних програмних систем	125
ГРИГОРЕНКО В.У., МАЗУРКЕВИЧ О.І., АНТОНЕНКО С.В. Формальна модель оцінювання рівня якості проектно-орієнтованої організації.....	133
ТЯНЬИ ЛЮ, ВЕЛИЧКО А.Г., ГРИШИН В.С., МЕЛЬНИЧУК А.В. Моделирование процесса штамповки венца и корпуса наконечников кислородных фурм	146
СКАЛОЗУБ В.В., ШИНКАРЕНКО В.И., ЦЕЙТЛІН С.Ю., ЧЕРЕДНИЧЕНКО М.С. Моделі онтологічної підтримки автоматизованих систем керування вантажними залізничними перевезеннями в Україні.....	153
ЗИМОГЛЯД А.Ю., ГУДА А.И., КОВТУН В.В. Зависимость коэффициента трения металлических пленок от давления полученных термическим напылением в вакууме	166
ЗОЛОТУХИН О.В., КОВАЛЕНКО Т.В. Об одном подходе к выбору признаков для сегментации текстурных областей изображений в информационных системах аэрокосмического мониторинга	170
СКАЛОЗУБ В.В., ПАНІК Л.О. Паралельні синхронні алгоритми аналізу та планування неоднорідних потоків у транспотних мережах.....	183
ГРИГОРЕНКО В.У., КАДИЛЬНИКОВА Т.М., ЛАЗАРЕВА Е.Д. Методология построения систем контроля проектов и формирование диагностических признаков	198

РЕФЕРАТЫ

УДК 519.242

Антоненко С.В., Бегарь М.А., Машченко Л.В. **Інформаційна технологія планування випробувань на основі сплайн-розподілів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (112). - Днепр, 2017. - С.3 - 10.

Пропонується технологія планування іспитів технічних систем на основі послідовного аналізу для сплайн-розподілу Вейбулла з двома вузлами. Наведено приклад реалізації розробленого методу на виробі авіаційної техніки.

Бібл. 2, іл. 1.

УДК 004.738.52

Волковський О.С., Ковилін Є.Р. **Комп'ютерна система автоматичного визначення зв'язності тексту** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (112). - Днепр, 2017. - С.11 - 17.

Розглянута реалізація системи автоматичного визначення зв'язності тексту і методика комп'ютерного представлення структури тексту на природній мові. Проведено тестування створеної програмної системи, що підтверджує адекватність створеного підходу.

Бібл.4, табл. 1, рис. 5.

УДК 004.932.72'1

Гнатушенко В.В. **Алгоритм візуального пошуку для супутникових знімків високої просторової роздільної здатності** / В.В. Гнатушенко, Я. І. Шедловська // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (112). - Днепр, 2017. - С.18 - 25.

У статті було запропоновано алгоритм візуального пошуку для супутникових знімків високої просторової роздільної здатності. Розроблено метод опису зображень, який базується на розподілі класів зображення. Було досліджено різні групи властивостей для опису зображень. Для інтерпретації об'єктів на зображенні, було обрано геометричні, статистичні, просторові, текстурні та спектральні властивості. Також, було розроблено алгоритм класифікації супутникових знімків.

Бібл. 11, іл. 2

УДК 681. 3.06

Білозьоров В.Є., Болілий І.О. **Порівняння методів хвиль Еліота та рекурентного аналізу для прогнозування ціни нафти марки WTI на світових ринках** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (112). - Днепр, 2017. - С.26 - 35.

В роботі досліджуються два підходи до прогнозування ціноутворення нафти марки WTI на світових ринках: хвилі Еліота та рекурентний аналіз. Продемонстровано розбіжність між прогнозами, що ґрунтуються на кожному з цих методів, які викликані зовнішніми факторами.

Бібл. 7.

УДК 004

Гнатушенко В.В. **Побудова мозаїки супутникових знімків Landsat 8 для онлайн візуалізації** / В.В. Гнатушенко, К.Ю. Серікова, І.Ю. Серіков // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (112). - Днепр, 2017. - С.36 - 40.

У роботі запропонований метод автоматичної побудови мозаїки з різночасових супутникових знімків Landsat 8 для онлайн візуалізації в веб інтерфейсі. Метод реалізований у вигляді API для генерації растрових тайлів мозаїки. В якості джерела вхідних даних використовується сервіс WMS, встановлений користувачем.

Бібл. 11, іл. 3

УДК 681.3.07

Бандура Н.С., Рибка Ю.М. **Дослідження швидкодії браузерів Інтернет** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (112). - Днепр, 2017. - С.41 - 45.

У роботі описані результати досліджень щодо порівняльного аналізу продуктивності роботи популярних браузерів мережі Інтернет.

Табл. 7, Бібл. 3.

УДК 629.12.066(076)

Симаненков А. Л. **Статистический анализ тупловых режимов судового двигателя внутреннего сгорания** /А. Л. Симаненков // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (112). - Днепр, 2017. - С.46 - 60.

Анализ работы систем охлаждения судового двигателя внутреннего сгорания (СДВС), с помощью показателя Херста, позволил установить связь между подсистемами управления температурой и давлением. По матрицам параметров температуры и давления в системах охлаждения и подготовки топлива. В дальнейшей перспективе это позволяет использовать полученные результаты в определении необходимой задачи управления агрегатным энергетическим комплексом.

Библ. 13, ил. 9

УДК 004.056.5

Погорелов В.В. **Исследование нейросетевых средств распознавания кибератак на сетевые ресурсы информационных систем** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (112). - Днепр, 2017. - С.61 - 69.

Рассмотрены современные нейросетевые методы построения систем распознавания кибератак на сетевые ресурсы информационных систем. Отмечено, что для разработки математической модели работы нейросетевой системы распознавания необходимо учитывать параметры эффективности, оперативности и ресурсоемкости системы. Показаны алгоритмы применения целевой функции эффективности при отображении приспособленности нейросетевой модели распознавания к конкретному классу задач и при вычислении оптимальных параметров системы путем поиска максимумов функции. Определены особенности использования при решении задачи распознавания сигнатуры кибератаки концепции глубинного обучения: применения глубинных сетей убеждений и сверточных нейросетей.

Библ. 17, илл. 5.

УДК 621.396.4

Тачиніна О.М. **Умови оптимальності розгалуженої траєкторії носія при розміщенні десантованого вантажу в зоні надзвичайної ситуації** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (112). - Днепр, 2017. - С.70 - 78.

Запропоновано математичну постановку і рішення задачі пошуку умови оптимальності траєкторії руху носія, а також оптимальних моментів часу і фазових координат, в які відбуваються відділення десантованого вантажу.

Запропонований підхід до побудови оптимальної траєкторії має ту особливість, що тільки приведення задачі оптимізації розгалуженої траєкторії носія до оптимізації траєкторії розривної системи зі змінним розміром вектора стану та управління дозволяє виконувати оптимізацію траєкторії носія з довільною схемою розгалужень.

Бібл.3, іл. 2.

УДК 004.415.2

Стенін О.О. **Інформаційно-логічна модель управління процесом розробки інноваційних програмних продуктів** / Стенін О.О., Пасько В.П., Лемешко В.А. // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (112). - Днепр, 2017. - С.79 - 85.

В даній статті запропонована інформаційно-логічна модель процесу управління розробкою ІПП. Суть запропонованого підходу полягає в тому, що розробка ІПП інтерпретується, як інформаційний об'єкт, який змістовно і структурно змінюється у процесі його створення.

Бібл.8.

УДК 669.02.001.57 (007)

Ясев О.Г. **Оцінка відповідності моделі и оригінала** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (112). - Днепр, 2017. - С.86 - 90.

Проведено порівняльний аналіз и надані рекомендації щодо використання різних непараметричних критеріїв при перевірці однорідності двох вибірок як різновиду проблеми оцінки відповідності математичної моделі та оригіналу

Бібл.6.

УДК 681.518.5

Алексеев М.О. **Метод зменшення простору для моделі діагностики працездатності SCADA системи** / М.О. Алексеев, І.М. Удовик, О.І. Сироткіна // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (112). - Днепр, 2017. - С.91 - 96.

Розглянуто питання перевірки адекватності імітаційної моделі діагностики працездатності SCADA системи. Запропоновано метод зменшення простору станів, що аналізуються на основі дослідження виведених аналітичних залежностей допустимої зміни стану контролюваного параметра в процесі його проходження за рівнями ієрархії SCADA системи.

Бібл. 6, іл. 2, табл. 1.

УДК 664.61

Яцук А. **Системний підхід до визначення розподілу тисків в пористому матеріалі та повітряному прошарку в матриці формувального обладнання** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (112). - Днепр, 2017. - С.97 - 102.

Визначений розподіл тиску в повітряному прошарку при безконтактному формуванні виробів з тіста. Отримано диференціальне рівняння тиску шляхом розв'язання задачі сумісного перебігу повітря в пористому середовищі і повітряному прошарку.

Бібл. 5, іл. 2.

УДК 621.315.592.3

Куцова В.З., Стеценко Г.П., Мазорчук В.Ф. **Фазові перетворення в напівпровідниковому кремнії під впливом магнітного поля** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (112). - Днепр, 2017. - С.103 - 107.

В роботі досліджувався вплив магнітної обробки на фазовий склад напівпровідникового кремнію, вирощеного методом Чохральського. За допомогою рентгеноструктурного аналізу зразків, що пройшли магнітну обробку, зареєстровано розщеплення дифракційних ліній, а також поява нових піків на кутах розсіювання 90-92 градусів, що викликано викривленням кристалічної решітки SiГЦК та формуванням поряд з нею

SiPOMБ. Це свідчить про протікання в зразках напівпровідникового кремнію фазового перетворення в процесі магнітної обробки.

Бібл. 8, рис. 4.

УДК 621-83 681.51

Егоров О.П., Зворикін В.Б., Михальов О.І., Кузьменко М.Ю. **Автоматичне управління режимом прокатки з натягом на основі зміни струму якоря двигунів приводу валків** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (112). - Днепр, 2017. - С.108 - 118.

Запропоновано схему управління швидкісним режимом прокатки з програмним управлінням натягу прокату в чорновій групі клітей.

Отримано оригінальне вираження, для обчислення натягу прокату, засноване на законах пружною деформації смуги. Частина параметрів цього виразу визначається за таблицями калібрування, частина - прямим виміром. Виконання системи автоматичного управління на основі запропонованої методики дозволяє здійснювати прокатку з контролем натягом.

Бібл. 5.

УДК 004

Сафаров А.А. **Калибровка сцен спутников Landsat 8 и Sentinel-2** / А.А. Сафаров // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (112). - Днепр, 2017. - С.119 - 124.

В работе проведён анализ процессов предварительной обработки спутниковых снимков Landsat 8 и Sentinel-2 уровня Level-1 и рассмотрены существующие возможности осуществления калибровки с использованием данных в режиме открытого доступа. Результаты исследования свидетельствуют о применимости информации из метаданных сцены для проведения необходимой калибровки.

Библ. 9, ил. 1

УДК 004.41.42

Волковський О.С., Дмитренко А.О. **Методика розробки складних програмних систем** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (112). - Днепр, 2017. - С.125 - 132.

Розглянуті сучасні проблеми розробки складних програмних систем та раціональні підходи до їх вирішення. На основі виявлених проблем розробки складних програмних систем була запропонована методика, використання якої дозволить контролювати та продовжувати життєвий цикл системи, зменшити витрати на її модифікацію та супроводження, а також гнучко адаптувати її до нових потреб користувача, наглядно відображаючи структуру системи.

Бібл. 6, іл. 2.

УДК 658.26.03

Григоренко В.У., Мазуркевич А.И., Антоненко С.В. **Формальная модель оценивания уровня качества проектно- ориентированной организации** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (112). - Днепр, 2017. - С.133 - 145.

В работе предложена модель оценки уровня качества организации, построенная исходя из уровня организационной зрелости предприятия, общих принципах TQM и закономерностях развития систем. А также предложена математическая модель оценивания качества продукта проекта реструктуризации, что, в отличие от существующих моделей, позволяет получать количественные оценки качества продукта проекта, исходя из основ теории нечетких логик и идеально-матричного моделирования.

Библ.10.

УДК 621.658.512

Тяньи Лю, А.Г. Величко, В.С. Гришин, А.В. Мельничук **Моделирование процесса штамповки венца и корпуса наконечников кислородных фурм** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (112). - Днепр, 2017. - С.146 - 152.

С использованием моделирования процесса штамповки венца и корпус наконечников кислородных фурм, были проанализированы конструкции разработанных штампов, заданы режимы обработки и их влияние на пластическую деформацию меди и стали.

Показано, что изготовление медного венца и стального корпуса из штампованных заготовок позволяет сберечь материальные ресурсы, сохранить технологическое время на изготовление деталей сложной формы.

Разработанная геометрия штампа позволяет безподналадки на протяжении всего хода ползуна обеспечить надежную работу выталкивающих устройств, свободный и безопасный доступ в зону штамповки и удобство обслуживания штампа.

Библ. 6.

УДК 656.225.073: [004.942:681.5]

Скалозуб В.В., Шинкаренко В.І., Цейтлін С.Ю., Чередниченко М.С. **Моделі онтологічної підтримки автоматизованих систем керування залізничними вантажними перевезеннями в Україні** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (112). - Днепр, 2017. - С.153 - 165.

У статті досліджено питання удосконалення автоматизованих систем керування залізничного транспорту України шляхом створення спеціалізованого прикладного онтологічного забезпечення на основі моделі конструктивно-продукційного моделювання.

Библ. 10, ил. 4.

УДК 004.681.2.08

Зимогляд А.Ю. **Залежність коефіцієнта тертя металевих плівок від тиску отриманих термічним напиленням у вакуумі** / Зимогляд А.Ю., Гуда А.И., Ковтун В.В. // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (112). - Днепр, 2017. - С.166 - 169.

Досліджено залежність механічних властивостей плівок, нанесених термічним напиленням у вакуумі від тиску. Чим нижче тиск при нанесенні плівки, тим нижче коефіцієнт тертя цієї плівки.

Бібл. 3.

УДК 623618:77 058

Золотухин О.В., Коваленко Т.В. **Об одном подходе к выбору признаков для сегментации текстурных областей изображений в системах аэрокосмического мониторинга** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (112). - Днепр, 2017. - С.170 - 182.

Рассматриваются модели обработки цифровых текстурных изображений. Проведен обзор современного состояния технологии автоматизированной обработки изображений в системах воздушного мониторинга. Дано определение модели текстурного изображения. Рассмотрены два основных подхода к выбору признаков сегментации изображений: статистический и метод на основе дискретного ортогонального преобразования. Проведенный анализ позволяет обоснованно осуществлять выбор признаков для сегментации изображений в зависимости от свойств исходного изображения в целях оперативной обработки визуальных данных в системах аэрокосмического мониторинга.

Библ. 10, илл. 6, табл. 1.

УДК 004.421.2:519.17

Скалозуб В.В., Панік Л.О. **Паралельні синхронні алгоритми аналізу та планування неоднорідних потоків у транспортних мережах** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (112). - Днепр, 2017. - С.183 - 197.

У статті досліджено питання розвитку алгоритмів аналізу та планування неоднорідних потоків у транспортних мережах. Запропоновано новий паралельний синхронізований алгоритм для розрахунку максимальних одно- та багатопродуктових потоків. Приведено приклади застосування алгоритму.

Бібл. 8, іл. 8.

УДК 658.26.03

Григоренко В.У., Кадильникова Т.М., Лазарева Е.Д. **Методология построения систем контроля проектов и формирование диагностических признаков** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 5 (112). - Днепр, 2017. - С.198 - 205.

В статье разработана методология систем контроля текущего состояния проектов и даются рекомендации по оценочным критериям обследования проектов с учетом их количественных и качественных показателей. Приводится методика выбора диагностических параметров проекта, основанная на математическом моделировании его состояния.

На основании сравнения текущих и эталонных диагностических признаков, хранящихся в базе данных ПЭВМ, производится операция принятия решения.

Информация, полученная на основе анализа математических моделей, позволяет на фазе проектирования системы мониторинга оценить затраты и принять решение о целесообразности мониторинговых исследований и их объеме для получения адекватных выводов о состоянии проекта.

Библ.10.

UDK 519.242

Antonenko S.V., Begar M.A., Mashchenko L.V. **Information technology of planning tests based on spline distributions** // System technologies. N 5(112) - Dnipro, 2017.- P.3 - 10.

The article suggest the technology of planning testing of the technical systems on the basis of sequential analysis for Weibull spline-distribution with two nodes. The example of the implementation of the developed method on an aircraft product is given.

Refs.2, ill. 1.

UDK 004.738.52

Volkovsky O.S., Kovylin E.R. **Computer system of automatic determination of the text coherence** // System technologies. N 5(112) - Dnipro, 2017.- P.11 - 17.

The implementation of the system for automatic determination of the connectivity of text and the methodology for computer representation of text structure in natural language are considered. Testing of the created software system was conducted, that confirming the adequacy of the created approach.

Lib. 4, tab. 1, fig. 5.

UDC 004.932.72'1

Hnatushenko V.V. **Visual search algorithm for high resolution satellite imagery** / V.V. Hnatushenko, Y.I. Shedlovska // System technologies. N 5(112) - Dnipro, 2017.- P.18 - 25.

In the paper we propose an image visual search algorithm for high resolution satellite imagery. An image description method which is based on the distribution of image object classes is developed. Different categories of image features for the description of satellite imagery are considered. Appropriate geometrical, statistical, texture, spatial and spectral features are selected for an accurate interpretation of objects at images. A satellite imagery classification algorithm is developed.

Bibl. 11, ill. 2.

UDC 681. 3.06

Belozarov V.E., Boliliy I.A. **The comparison of the elliott wave principle and the recurrent analysis methods for the wti oil market prices on the world markets prevalence** // System technologies. N 5(112) - Dnipro, 2017.- P.26 - 35.

The paper examines two approaches to forecast WTI oil pricing on world markets: Elliot's waves and recurrent analysis. Difference between predictions based on each of the methods caused by external factors is demonstrated.

Bibl. 7.

UDC 004.931

Hnatushenko V.V. **Generation of a Landsat 8 mosaic for online visualization**/ V.V. Hnatushenko, K.Y. Sierikova, I.Y. Sierikov // System technologies. N 5(112) - Dnipro, 2017.- P.36 - 40.

The method of automatic generation of a mosaic from multitemporal Landsat 8 satellite imagery for online visualization on the web is being proposed. The method is implemented as an API for generating raster tiles of a mosaic. The input raster data are requested from the user-defined WMS server.

Bibl. 11, ill. 3.

UDC 681.3.07

Bandura N.S., Rybka Yy. M. **Studies speed Internet browsers** // System technologies. N 5(112) - Dnipro, 2017.- P.41 - 45.

The paper describes the results of studies on comparative performance analysis of popular browsers network Internet.

Tabl. 7, Bibl. 3.

UDC 629.12.066(076)

Simanenkov A. L. **Ship internal combustion engine thermal conditions statistical analysis** / A.L. Simanenkov // System technologies. N 5(112) - Dnipro, 2017.- P.46 - 60.

The internal combustion engine (SICE) cooling systems operation analysis, using the Hurst index, made it possible to establish a connection between the temperature and pressure control subsystems. By matrices of temperature and pressure parameters in the cooling and fuel preparation systems. In long term it's allows us to use obtained results in determining the necessary task of managing the aggregate energy complex.

Bibl. 13, ill. 9.

UDC 004.056.5

Pogorelov V.V. **Research of neural network tools for recognizing cyber attacks on network resources of information systems** // System technologies. N 5(112) - Dnipro, 2017.- P.61 - 69.

Modern neural network methods for constructing systems for recognizing cyber attacks on the network resources of information systems are considered. It is noticed that in order to develop a mathematical model for the operating regime of a neural network recognition system, it is necessary to take into account the parameters of efficiency, responsiveness and resource intensity of the system. The algorithms for applying the efficiency objective function for analysis of the neural network recognition model to a specific class of problems and calculating of optimal system parameters by searching for function maxima are shown. The specifics of adoption of the deep learning concept for solving the problem of recognizing of the cyberattacks signature (the use of deep belief networks and convolutional neural networks) are defined.

Lit. 17, fig. 5, tab 0.

UDC 621.396.4

Tachinina O.M. **The vehicle branching path optimality conditions for cargo dropping in the area of emergency situation** // System technologies. N 5(112) - Dnipro, 2017.- P.70 - 78.

It is hereby proposed the mathematical formulation and solution of the optimality search task for the path of carrier motion, as well as optimal instants and phase coordinates when and where a cargo drops.

The proposed approach for optimal path definition is particular as solely the reduction of the optimization task of carrier branching path to the path optimization of a discontinuous system with variable dimension of state and control vector allows optimizing the carrier path with free branch scheme.

Ref. 3, pic. 2.

UDC 004.415.2

Stenin A.A. **Information-logical model of managing the process of developing innovative software products** / Stenin A.A, Pasko V.P, Lemeshko V.A. // System technologies. N 5(112) - Dnipro, 2017.- P.79 - 85.

This article proposes an information-logical model of the process of managing the development of ISP. The essence of the proposed approach is that the development of an innovative software product is interpreted as an information object that is meaningfully and structurally changes in the process of its creation

Bibl. 8.

UDC 669.02.001.57 (007)

Yasev A.G. **Estimation of conformity of model and the original** // System technologies. N 5(112) - Dnipro, 2017.- P.86 - 90.

The comparative analysis is lead and recommendations on using of various nonparametric criteria with reference to a problem of checking uniformity of two samples as versions of a problem of estimation of conformity of mathematical model and the original are resulted.

Bibl. 6.

UDK 681.518.5

Alekseyev M. **Space Reduction Method for the SCADA Diagnostic Model** / M. Alekseyev, I. Udovik, O. Syrotkina // System technologies. N 5(112) - Dnipro, 2017.- P.91 - 96.

We considered the issues of assessing the imitation model adequacy for SCADA operability diagnostics. We proposed a method to reduce the space of analysed states. It is based on the investigation of the derived analytical dependencies of permissible state changes for a controlled parameter when passing through SCADA hierarchy levels.

Ref. 6, fig. 2, Tab. 1.

UDC 664.61

Yatsuk A. **System approach to the approximate method for determining the distribution of pressures in a porous material and an air layer in a matrix of forming equipment** // System technologies. N 5(112) - Dnipro, 2017.- P.97 - 102.

Distributing of pressure in an air layer at the uncontact shaping of dough products is definite. Differential equalization of pressures by the decision of task of joint flow of air in a porous environment and air layer is got.

Bibl. 5, ill. 2.

UDK 621.315.592.3

Kutsova V.Z., Stetsenko A.P., Mazorchuk V.F. **Phase transformations in semiconductor silicon by the influence of magnetic field** // System technologies. N 5(112) - Dnipro, 2017.- P.103 - 107.

The magnetic processing influence on the semiconductor silicon phase composition grown by the Czochralski method was investigated at present work. The processing has registered splitting of diffraction lines, as well as the emergence of new peaks at the angles of scattering 90-92 degrees due to the curvature of the SiFCC crystal lattice and the formation of SiROMB along with it. This indicates the occurrence of phase transformations in semiconductor silicium samples in the process of magnetic processing.

Bibl. 8, Fig.4.

UDC 621-83 681.51

Egorov A.P., Zvorykin V.B., Mikhalyov A.I., Kuzmenko M.Y. **Automatic control of the rolling regime with tension based on the change in armature current of the roll drive motors** // System technologies. N 5(112) - Dnipro, 2017.- P.108 - 118.

A scheme for controlling the speed regime of rolling with a program control of the rolling tension in the roughing group of stands was proposed.

An original expression to calculate the rolling tension, based on the laws of elastic deformation of the strip was obtained. Part of the parameters of this expression is determined by the calibration tables, the part - by the direct measurement. The automatic control system based on the proposed method allows rolling with a controlled tension.

Bibl. 5.

UDC 004

Safarov A.A. **Calibration of Landsat-8 and Sentinel-2 satellite scenes** / A.A. Safarov // System technologies. N 5(112) - Dnipro, 2017.- P.119 - 124.

The analysis of the preliminary processing of Landsat 8 and Sentinel-2 Level 1 satellite images is conducted. Possibilities of performing calibration using open access data are considered. The results of the study indicate the applicability of information from the scenes metadata for performing the necessary calibration.

Bibl. 9, ill. 1.

UDC 004.41.42

Volkovsky O.S., Dmitrenko A.A. **Methodology for the development of complex software systems** // System technologies. N 5(112) - Dnipro, 2017.- P.125 - 132.

The modern problems of the development of complex software systems and rational approaches to their solution are considered. On the basis of the revealed problems of the development of complex software systems, a technique was proposed that would allow monitoring and prolonging the life cycle of the system, reducing the costs of its modification and maintenance, and flexibly adapting it to the new needs of the user, visually showing the structure of the system.

Bibl. 6, ill. 2.

UDC 658.26.03

Hrygorenko V.U., Mazurkievich A. I. Antonenko S.V. **The formal model of enterprise quality level of project-oriented organization** // System technologies. N 5(112) - Dnipro, 2017.- P.133 - 145.

The model of enterprise quality level estimation, which is based on the organization maturity level of the enterprise, common principles of TQM and patterns of system development, is proposed. And a mathematical model for assessing the quality of the project restructuring that unlike existing allows obtaining a quantitative assessment of the quality of the project, based on the principles of fuzzy logic and perfectly-matrix modelling was elaborated.

Bibl.10.

UDC 621.658.512

Tianyi Liu, A.G. Velichko, V.S. Grishin, A.V. Melnichuk **Modeling of the process of stamping the crown and the body of the tips of oxygen tuyeres** // System technologies. N 5(112) - Dnipro, 2017.- P.146 - 152.

There were analysed designed die stamps construction, operation modes and their influence on plastic deformation of copper and steel with use of die-stamping process modelling of top and body frame of oxygen tuyere crown. The analysis proved that producing of copper top and steel body frame allowed us to save material resources and technological time for producing complicated shape parts. The developed shape of the die stamp during whole press stroke designed geometry of die stamp allows us to provide trouble-free operational cycling of strip-off device without corrective adjustment, free and safe access in die stamping area and die stamp serviceability.

Bibl.6.

UDK 656.225.073: [004.942:681.5]

Skalozub V.V., Shynkarenko V.I., Tseitlin S.Yu., Cherednichenko M.S. **Models of ontological support of automated control systems for freight rail traffic in Ukraine** // System technologies. N 5(112) - Dnipro, 2017.- P.153 - 165.

In the article the problems of the Ukrainian railway transport automated control systems' improvement are present. As basic approach is used creation of the specialized applied ontological support which is based on the constructive-productive modeling.

Bibl. 10, fig. 4.

UDC 004.681.2.08

Zimoglyad A.Y. **Dependence of metal films friction coefficient on pressure during thermal spraying in vacuum** / Zimoglyad A.Y., Guda A.I., Kovtun V.V. // System technologies. N 5(112) - Dnipro, 2017.- P.166 - 169.

The dependence of the mechanical properties of films deposited by thermal deposition in vacuum on pressure is studied. The lower the pressure when applying the film, lower the coefficient of friction of this film.

Bibl. 3.

УДК 623618:77 058

Zolotuhin O.V., Kovalenko T.V. **On one approach to the selection of features for the segmentation of textured image areas in aerospace monitoring systems** // System technologies. N 5(112) - Dnipro, 2017.- P.170 - 182.

The models of digital textural image processing are considered. The modern state of the technology of automated image processing in air monitoring systems is reviewed. A definition of the texture image model is given. Two main approaches to the selection of the signs of image segmentation are considered: statistical and method based on the discrete orthogonal transformation. The analysis allows to make a reasonable choice of features for segmentation of images depending on the properties of the original image for the purpose of operative processing of visual data in aerospace monitoring systems.

Bibl. 3.

UDK 004.421.2:519.17

Skalozub V.V., Panik L.A. **Parallel synchronous algorithms for analysis and planning of heterogeneous flows in transport networks** // System technologies. N 5(112) - Dnipro, 2017.- P.183 - 197.

The article explores the development of algorithms for analysis and planning of heterogeneous flows in transport networks. A new parallel synchronized algorithm for calculating the maximum single-product and multicommodity flows is proposed. Examples of the application of the method are given.

Bibl. 8, silt. 8.

UDC 658.26.03

Hrygorenko V.U., Kadilnikova T.M., Lazareva E.D. **Methodology of construction of project control systems and formation of diagnostic signs** // System technologies. N 5(112) - Dnipro, 2017.- P.198 - 205.

The methodology of the monitoring systems for the current status of projects is developed in the article and recommendations are given on the evaluation criteria for the survey of projects taking into account their quantitative and qualitative indicators. The method of choosing the diagnostic parameters of the project, based on the mathematical modeling of its state, is given.

Based on a comparison of current and reference diagnostic features stored in the PC database, a decision making operation is performed.

The information obtained on the basis of the analysis of mathematical models makes it possible to estimate the costs in the design phase of the monitoring system and to decide on the feasibility of monitoring studies and their scope in order to obtain adequate conclusions about the status of the project.

Bibl. 10.

АВТОРЫ ВЫПУСКА

Антоненко Світлана Валентинівна - доцент кафедри математичного забезпечення ЕОМ факультету прикладної математики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Бегарь Максим Олександрович - аспірант кафедри математичного забезпечення ЕОМ факультету прикладної математики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Мащенко Леонід Володимирович - старший викладач кафедри математичного забезпечення ЕОМ факультету прикладної математики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Oleh Stepanovych Volkovsky - assistant professor of the ASIP Department of the Faculty of Physics, Electronics and Computer Systems. O. Honchar Dniprovsk National University.

Egor Romanovych Kovylin - a graduate student of the specialty "Information Technologies" of the ASIP Department of the Faculty of Physics, Electronics and Computer Systems. O. Honchar Dniprovsk National University.

Hnatushenko Volodymyr - doctor of technical science, professor, head of department of computer science and information technologies, Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine.

Shedlovska Yana - postgraduate student of department of computer science and information technologies, Oles Honchar Dnipro National University.

Білозьоров В.Є. - д.ф.-м.н., професор Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Болілій І.О. - Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара.

Sierikova Kateryna Ju. - postgraduate student of department of computer science and information technologies, Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine.

Sierikov Ivan Ju. - postgraduate student of department of computer science and information technologies, Oles Honchar Dnipro National University.

Бандура Н.С. – студентка-магістр кафедри ЕОМ Дніпровського національного університету ім. Олеся Гончара.

Рибка Ю.М. – асистент кафедри ЕОМ Дніпровського національного університету ім. Олеся Гончара.

Сіманенков Андрій Леонідович – магістр, Херсонська державна морська академія, аспірант кафедри Експлуатації суднового електрообладнання та засобів автоматики, м. Херсон.

Погорелов Володимир Володимирович – аспірант і асистент кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем і системного програмування, факультет прикладної математики, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського».

Тачинина Елена Николаевна – к.т.н., доцент кафедри автоматизации и энергомменеджмента Национального авиационного университета (НАУ).

Стенін Олександр Африканович – д.т.н., професор кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Пасько Віктор Петрович - к.т.н., доцент кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Лемешко Вячеслав Анатолійович – аспірант кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Yasev Aleksandr Georgievich - professor of department applied mathematics and computer facilities National metallurgical academy of Ukraine.

Алексеев Михайло Александрович - Декан факультету інформаційних технологій, д.т.н., професор ДВНЗ «Національний гірничий університет».

Удовик Ірина Михайлівна - Завідувач кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, к.т.н., доц. ДВНЗ «НГУ».

Сироткіна Олена Ігорівна - Асистент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, ДВНЗ «Національний гірничий університет».

Бейгул О.О. – завідувач кафедри машинобудування Дніпровського державного технічного університету, доктор технічних наук, професор.

Яцук А.Л. – старший викладач кафедри машинобудування Дніпровського державного технічного університету.

Valentina Z. Kutsova - Doct. Sc. (Tech.), Prof. Department of material science, National metallurgical academy of Ukraine.

Hanna P. Stetsenko - Cand. Sc. (Tech.), Ass. Department of material science, National metallurgical academy of Ukraine.

Volodymyr F. Mazorchuk - Cand. Sc. (Tech.), Ass. of Prof. Department of casting production National metallurgical academy of Ukraine.

Егоров Александр Петрович - доцент, канд. техн. наук, НМетАУ.

Зворыкин Владимир Борисович - доцент, канд. техн. наук, НМетАУ.

Михалев Александр Ильич – д.т.н., професор, НМетАУ.

Кузьменко Михаил Юркевич - асистент, НМетАУ.

Сафаров Олександр Олександрович – к.т.н., доцент кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара (м. Дніпро).

Дмитренко Анна Олегівна - магістр «Комп'ютерні науки та інформаційні технології», Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара.

Григоренко В.У. - доктор технічних наук, професор кафедри управління проектами Національної Металургійної академії України

Мазуркевич О.І. - кандидат технічних наук, асистент кафедри Управління та реконструкції в будівництві Придніпровської державної академії будівництва та архітектури.

Антоненко С.В. - старший викладач кафедри управління проектами Національної Металургійної академії України.

Тяньи Лю – аспірант, НМетАУ.

Величко Александр Григорьевич - член-кор. НАНУ, д.т.н., проф., НМетАУ.

Гришин Владимир Сергеевич - к.т.н., доцент, НМетАУ.

Мельничук Александр Владимирович – аспірант, НМетАУ.

Скалозуб Владислав Васильович – д.т.н., професор, декан факультету «Технічна кібернетика» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Шинкаренко Віктор Іванович - доктор технічних наук, професор, зав. кафедри комп'ютерних інформаційних технологій, ДНУЗТ.

Цейтлін Семен Юлійович – к.т.н., доцент, генеральний конструктор АСК ВПУЗ, ПКТБ ІТ, Укрзалізниця.

Чередниченко Михайло Семенович – к.ек.н., головний інженер ПКТБ ІТ, Укрзалізниця.

Зимогляд А.Ю. – аспірант . каф ІТС НМетАУ.

Гуда А.І. – к.т.н, доц. каф ІТС НМетАУ.

Ковтун В.В. – лаборант, каф ІТС НМетАУ.

Золотухин Олег Викторович - доцент, к.т.н., кафедра искусственного интеллекта, Харьковский национальный университет радиоэлектроники.

Коваленко Тарас Васильевич - младший научный сотрудник, Институт проблем регистрации информации НАНУ.

Панік Леонід Олександрович - ст. викл. кафедри КІТ Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. ак. В. Лазаряна.

Кадильникова Т.М. - д.т.н., проф., завідувача кафедрою вищою математики та інформаційних технологій Поліського державного університету.

Лазарева Е.Д. - студентка Національної металургійної академії України.