

УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ

УДК 534.232

С. Л. ВОЛКОВ, Н. Ф. КАЗАКОВА, С. Д. АСАБАШВІЛІ

МОДЕЛЬ ЕКСПЕРТНОГО ОЦІНЮВАННЯ ЯКІСНОГО СТАНУ ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ

В роботі запропоновано модель експертної системи яка здійснює моніторинг та діагностику якісного стану технічної системи та пропонує рішення щодо усунення причин його зниження. Наведено математичні вирази реалізації продукційної і прецедентної моделей прийняття рішень. У якості прикладу запропоновано параметричне представлення множини прецедентів у вигляді множини кортежів та його вибір методом найближчого сусіда з використанням Евклідової метрики. Запропоновано правило вибору прецеденту.

Ключові слова: модель експертної системи, моніторинг якісного стану технічної системи, діагностика якісного стану технічної системи, експертне оцінювання, продукційна і прецедентна моделі прийняття рішень, правило вибору прецеденту.

В работе предложена модель экспертной системы, которая осуществляет мониторинг и диагностику качественного состояния технической системы и предлагает решения по устранению причин его снижения. Приведены математические выражения реализации производственной и прецедентной моделей принятия решений. В качестве примера предложено параметрическое представление множества прецедентов в виде множества кортежей и его выбор методом ближайшего соседа с использованием Евклидовой метрики. Предложено правило выбора прецедента.

Ключевые слова: модель экспертной системы, мониторинг качественного состояния технической системы, диагностика качественного состояния технической системы, экспертная оценка, производственная и прецедентные модели принятия решений, правило выбора прецедента.

The paper proposes a structural and mathematical model of an expert quality assessment system that monitors the quality of a technical system and provides its diagnostics by identifying a node or element that has lowered its qualitative indicators and proposes solutions to causes that could lead to the occurrence of this event and recommendations for its elimination. A characteristic feature of the model is the use of a production model of knowledge representation and a precedent method, which is used in the event of an unpredictable knowledge base frame of the system. The mathematical expressions of realization of production and precedent models of decision-making are given. As an example, we propose a parametric representation of the set of precedents in the form of a set of tuples and its selection by the neighboring method using the Euclidean metric. The rule of precedent selection is proposed.

Keywords: model of the expert system, monitoring of the qualitative state of the technical system, diagnostics of the qualitative state of the technical system, expert evaluation, production and precedent decision making models, rule of precedent.

Вступ. Основою розвитку технічних систем (ТС), в світі прийняття концепції Індустрії 4.0, є широкомасштабна інтеграція інформаційно-комунікаційних технологій і інтелектуалізація промислового виробництва, через впровадження кіберфізичних систем (Cyber Physical Systems, CPS). Однак, перший досвід впровадження та експлуатації промислових CPS показав відсутність дієвих методів та засобів зведення і обробки великих обсягів різноманітної вимірювальної інформації для ідентифікації та інтерпретації складних подій і критичних станів системи, що призвело до появи потоків локальних відмов технологічного і інфокомунікаційного обладнання [1–4]. «... на даний момент у нас немає комплексної бездротової мережевої взаємодії компонентів, постійного обміну інформацією, зведення воедино різних даних від датчиків для ідентифікації складних подій і критичних станів і їх інтерпретації на основі ситуації, що склалася, а також планування подальших дій, виходячи з отриманих результатів» – це цитата з виступу професора Вольфганг Вольстера директора Німецького дослідного центру штучного інтелекту на церемонії відкриття Ганноверської ярмарки 2011 року (Hannover Messe 2011).

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Можливість застосування експертних систем для діагностування стану автоматизованих систем є одним з провідних досліджень як зарубіжних так і вітчизняних вчених [5]. На сучасному етапі розвитку найбільш дієвою прийнята прогностична модель діагностики (Prognostics and health management, PHM),

яка, на основі статистичних даних історії роботи і відмов системи, оцінює її деградацію і прогнозує потенційні відмови. Однак, існуючі методи ігнорують дані життєвого циклу досліджуваної і ідентичних систем і конфігурацій, що значно знижує її прогностичні можливості [6].

Актуальність вирішуваної проблеми заснована на твердженні, що запропонований єдиний підхід до визначення поточного стану та діагностики технічних, зокрема кіберфізичних систем, якій базується на синтезі та аналізі показників якості досліджуваної системи на всіх етапах її життєвого циклу з урахуванням попередніх етапів, дасть змогу створення уніфікованих діагностичних систем [7].

Ціль та задачі дослідження. Метою даної роботи є створення моделі експертного оцінювання якісного стану технічної системи в складі функціональних систем моніторингу якості та діагностування.

Виклад основного матеріалу. У відповідності до [8] експертна система якості технічної (кіберфізичної) системи – це розподілена експертна система, метою якої є вирішення завдання оцінки поточного стану, діагностики та прогнозування роботи досліджуваної системи на основі аналізу її показників якості. Загальна модель структури експертної системи наведена на рис. 1.

Як видно із наведеної структурної схеми (рис. 1), експертна система складається з наступних функціональних систем:

– Функціональної системи моніторингу якості. Функція – оцінка і фіксація у разі зниження якості одного чи декількох показників якості, поточного стану досліджуваної технічної системи.

– Функціональної системи діагностики. Функція – виявлення вузла чи елемента який знизив свої якісні показники, аналіз причин які могли привести до виникнення цієї події та рекомендації щодо її усунення.

– Функціональної системи прогнозування. Функція – прогноз щодо імовірного зниження якісного стану елемента чи вузла досліджуваної системи та

можливих наслідків щодо працездатності елемента, вузла і системи в цілому.

За основу моделі експертної системи якості ТС приймемо типову структуру динамічної експертної системи з додатковими модулями призначення яких буде описане нижче: Модуль бази даних (БД), Модуль бази знань (БЗ), Модуль бази прецедентів (БП), Модуль логічного висновку, Модуль поповнення БЗ, Модуль пояснень, Модуль діалогу, Модуль зв'язку із зовнішнім оточенням, Модуль моделювання зовнішнього оточення (рис. 2).

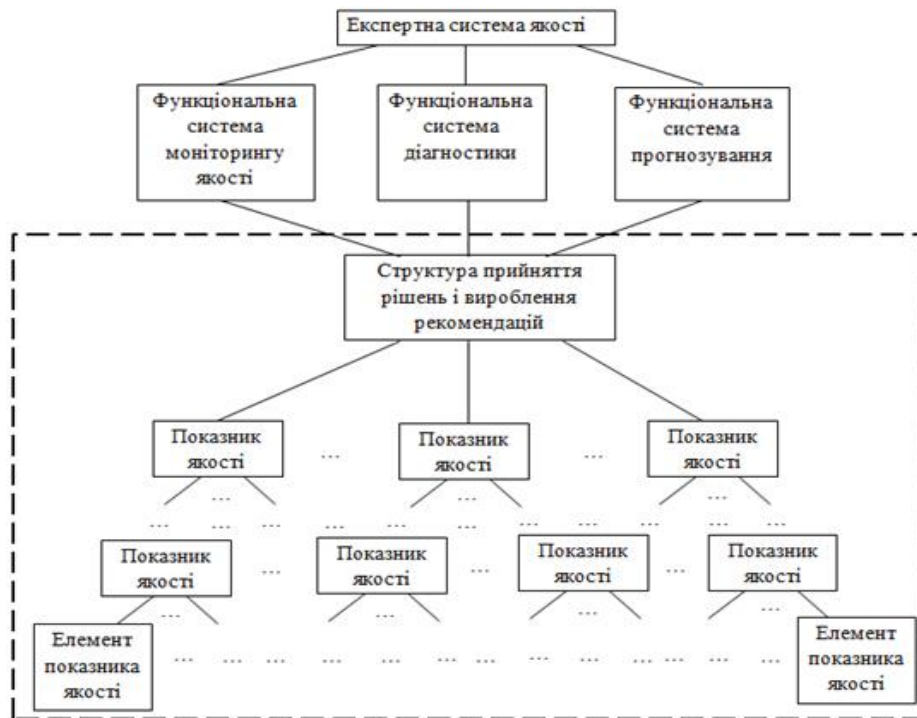


Рис. 1 – Загальна модель експертної системи якості

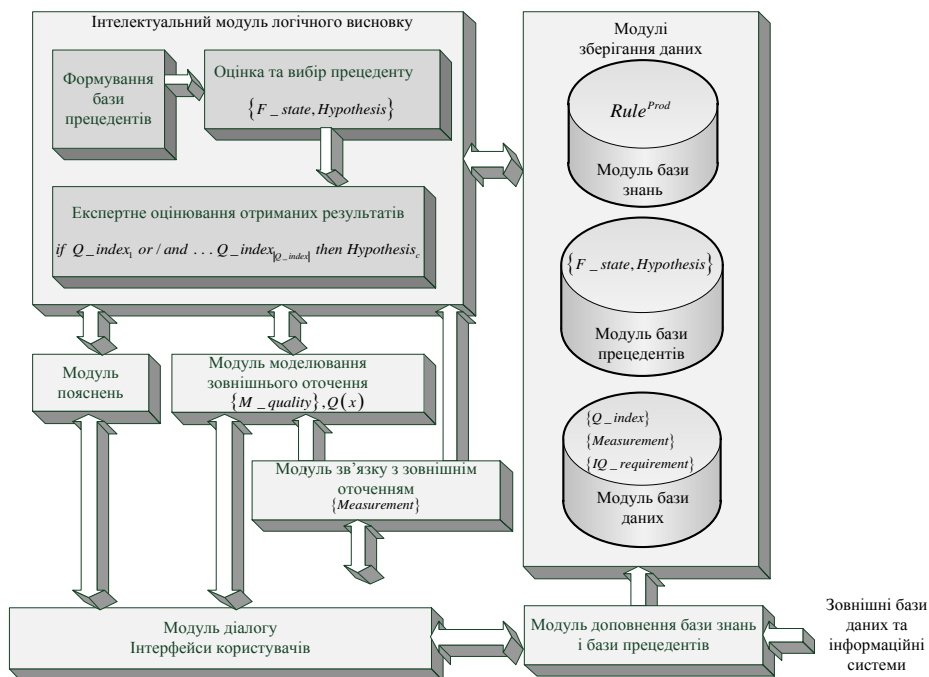


Рис. 2 – Модель експертної системи оцінки якості

Визначимо наведену модель експертної системи наступним набором:

$$ES^{Quality} = \left(\left\{ \begin{array}{l} \{Measurement\}, \{Requirements\}, \\ (\{M_quality\}, Q(x)), D(\{M_decision\}) \end{array} \right\} \right), \quad (1)$$

де $\{Measurement\}$ – множина вхідних значень параметрів отриманих в результаті вимірювань; $\{Requirements\}$ – множина вимог і параметрів обмежень, прийнятих за еталон; $(\{M_quality\}, Q(x))$ – множина моделей і методів $\{M_quality\}$, що реалізують функцію $Q(x)$ оцінки якості; $D(\{M_decision\})$ – функція прийняття рішення, тобто вибору результату експертного оцінювання з множини $\{M_decision\}$, для рішення проблеми пов'язаної з поточним станом (погіршенням якості) ТС.

З огляду на особливості що надходять на вхід експертної системи даних: великий обсяг, різноманітність, чіткість і нечіткість, велика кількість параметрів, і ґрунтуючись на аналізі типових моделей представлення знань в експертних системах проведених в [8, 9, 10] розглянемо продукційну модель представлення знань, як найбільш гнучку і таку, що задовольняє всім вимогам обробки даних.

Продукційні правила для (1) у загальному вигляді можна представити в наступному виді

$$Rule^{Prod} = \left\{ \left\{ \begin{array}{l} \{IQ_sys\{IQ_subsys\{IQ_dev\{IQ_sen\}\}\}\}, \\ \{IQ_requirement\}, \{Q_index\}, \\ (F_state_a \Rightarrow Hypothesis_c), H_trust \end{array} \right\} \right\}, \quad (2)$$

де $\{IQ_sys\{IQ_subsys\{IQ_dev\{IQ_sen\}\}\}\}$ – множина ідентифікаторів якісного стану (показників якості) технічної системи, підсистем, пристроїв та датчиків відповідно;

$$\{IQ_requirement\} \supset \left\{ \left\{ \begin{array}{l} \{IQ_requirement_{subsys}\} \\ \{IQ_requirement_{dev}\} \\ \{IQ_requirement_{sen}\} \end{array} \right\} \right\}$$

– множина ідентифікаторів (показників якості) вимог; $\{Q_index\}$ – множина досліджуваних показників якості; $F_state_a \Rightarrow Hypothesis_c$ – оцінка стану системи, $\{F_state\}$ – множина кадрів якісного стану ТС, $F_state_a \in \{F_state\}$, $(a = \{1:|F_state|\})$, $\{Hypothesis\}$ – множина гіпотез для логічного висновку, $Hypothesis_c \in \{Hypothesis\}$, $(c = \{1:|Hypothesis|\})$; H_trust – міра довіри.

Як видно з рис. 2 запропонована модель заснована на прецедентному методі [11] оцінки поточного кадру стану системи, тобто до типової структури динамічної ЕС добавляється модуль бази прецедентів, який по суті є частиною бази знань. Виділимо додаткові модулі:

– Модуль моделювання зовнішнього оточення разом з модулем зв'язку з зовнішнім оточенням за-

безпечує прийняття та формування набору вхідних даних (результатів вимірювань *Measurement*), аналізує прийняті дані, і у разі погіршення якісного стану системи проводить: оцінювання показників якості відповідно до існуючих моделей, формування кадру якості системи і передає кадр якості в інтелектуальний модуль логічного висновку.

– Інтелектуальний модуль логічного висновку забезпечує прийняття рішення щодо причин та наслідків погіршення якості системи на основі реалізації моделей та методів $ES^{Quality}$. Експертне оцінювання якості здійснюється за продукційними правилами:

$$\text{if } Q_index_1 \text{ or / and } \dots Q_index_{|Q_index|} \text{ then Hypothesis}_c \quad (3)$$

Результатом оцінювання є гіпотеза. У разі виникнення непередбачуваного базою знань кадру стану проводиться діагностування на основі прецедентів $P = \{F_state_a \Rightarrow Hypothesis\}$ за максимальною мірою подоби кадру якості до еталонів з урахуванням задаваної міри довіри H_trust до прецеденту.

Відповідно моделі експертної структури рис. 2, визначення додаткових модулів та виразів (1, 2, 3), завдання експертного оцінювання покладено на інтелектуальний модуль логічного висновку який складається з двох взаємопов'язаних і взаємодіючих структур:

1. Експертного оцінювання отриманих результатів, який оцінює кадр якісного стану системи на збіг з кадром що зберігається в БЗ.

Модель цієї структури, відповідно до викладеного матеріалу і виразу для експертного оцінювання кадру стану системи (3), з урахуванням (2) може бути представлена в наступному вигляді:

$$\text{if } \left\{ \begin{array}{l} \{IQ_sys_\alpha(\{Q_index_\alpha\}) \\ \text{or / and } \left\{ \bigcup_{\beta} IQ_subsys_{\alpha\beta}(\{Q_index_{\alpha\beta}\}) \right\} \\ \text{or / and } \left\{ \bigcup_{\gamma} IQ_dev_{\alpha\beta\gamma}(\{Q_index_{\alpha\beta}\}) \right\} \\ \text{or / and } \left\{ \bigcup_{\zeta} IQ_sen_{\alpha\beta\gamma\zeta}(\{Q_index_{\alpha\beta\zeta}\}) \right\} \end{array} \right\} \text{ then Hypothesis}_c \quad (4)$$

де $\alpha, \beta, \gamma, \zeta$ – індекси системи, підсистеми, пристрою та датчику, відповідно.

2. Вибору прецедентів, заснованих на оцінці кадру стану системи.

Пошук рішення з використанням прецедентів можна представити у вигляді наступного алгоритму:

– Отримання кадру стану якості досліджуваної системи.

– Вибір з бази прецедентів одного чи декілька прецедентів, найбільш близьких до отриманого кадру стану.

– Повторне використання обраного прецеденту для рішення проблеми.

– Адаптація, в разі необхідності, отриманого рішення.

– Запис інформації про застосоване (перевірене) рішення в базу знань (модифікація бази знань).

– Запис перевіреного рішення як частини нового прецеденту.

Результатом виконання алгоритму є вибір прецеденту P .

Існує декілька способів представлення прецедентів: параметричні, об'єктно-орієнтовні, спеціальні (дерева, графи, логічні вирази тощо). У якості прикладу розглянемо параметричне представлення множини прецедентів у вигляді множини кортежів:

$$\{P\} = \{(F_state_1, Hypothesis_{11}), \dots, (F_state_a, Hypothesis_{ac})\}. \quad (5)$$

З метою вибору прецеденту з БП розглянемо найбільш застосований метод найближчого сусіда з використанням Евклідової метрики (методу мінімуму Евклідової відстані).

Запишемо кадр якісного стану системи як множину показників якості та їх значень

$$F_state = \{(Q_index, f(Q_index))\} \quad (6)$$

і представимо його як μ -мірний вектор, де осями будуть Q_index_i , а довжинами векторів $f(Q_index_i)$, i -індекс показника якості. Близькість кадрів між собою можна визначити як мінімальну евклідову відстань між векторами поточного кадру і кадру прецеденту відповідно до теореми Піфагора для багатовимірних просторів:

$$d_p = (F_state^{FP}, F_state) = \sqrt{(F_state - F_state_a^{FP})^2}, \quad (7)$$

де F_state^{FP} – кадр стану прецеденту.

Таким чином, відповідно до (5), (6), (7) правило вибору прецеденту може бути представлено виразом:

$$\text{if min} \left[\left(\sum_{i=1}^{\mu} (Q_index_i, f(Q_index_i)) \right) - \left(\sum_{i=1}^{\mu} (Q_index_{ai}^{FB}, f(Q_index_{ai}^{FB})) \right) \right] \text{ then Hypothesis}_{ac}.$$

Висновки. В роботі запропоновано структурну та математичну модель експертної системи оцінки якості яка здійснює моніторинг якісного стану технічної системи і забезпечує її діагностику шляхом виявлення вузла чи елемента який знизив свої якісні показники та пропонує рішення щодо причин які могли привести до виникнення цієї події та рекомендації щодо її усунення. Характерною рисою моделі є використання продукційної моделі представлення знань і прецедентного методу, який застосовується при виникненні непередбачуваного базую знань кадру стану системи. Наведено математичні вирази реалізації продукційної і прецедентної моделей прийняття рішень. Як приклад, запропоновано параметричне представлення множини прецедентів у вигляді множини кортежів та його вибір методом найближчого сусіда з використанням Евклідової метрики. Запропоновано правило вибору прецеденту.

Список літератури:

1. Lee, E. A. Introduction to Embedded Systems, A Cyber-Physical Systems Approach [Text] / E. A. Lee, S. A. Seshia. – 2-nd ed. – MIT Press, 2017.
2. Colombo, A. W. Towards the Next Generation of Industrial Cyber-Physical Systems [Text] / A. W. Colombo, S. Karnouskos, T. Bangemann // Industrial Cloud-Based Cyber-Physical Systems. – 2014. – P. 1–22. doi: [10.1007/978-3-319-05624-1_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-05624-1_1)
3. Киселев, М. И. «Индустрия 4.0»: некоторые проблемные вопросы [Текст] / М. И. Киселев, С. В. Новиков // Станкоинструмент. – 2016. – № 2/2016. – С. 42–46. – Режим доступа: http://www.stankoinstrument.ru/files/article_pdf/5/article_5301_277.pdf
4. Lee, J. Recent Advances and Trends of Cyber-Physical Systems and Big Data Analytics in Industrial Informatics [Text] / J. Lee, B. Bagheri, H.-A. Kao // Proceeding of Int. Conference on Industrial Informatics (INDIN) 2014. – 2015. doi: [10.13140/2.1.1464.1920](https://doi.org/10.13140/2.1.1464.1920)
5. Syrotkina, O. Evaluation to determine the efficiency for the diagnosis search formation method of failures in automated systems [Text] / O. Syrotkina, M. Alekseyev, O. Aleksieiev // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 4, Issue 9 (88). – P. 59–68. doi: [10.15587/1729-4061.2017.108454](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.108454)
6. Волков, С. Л. Теоретичні засади побудови моделі структури експертної системи якості кіберфізичних систем [Текст] / С. Л. Волков // Збірник наукових праць 6-ої Міжнародної науково-практичної конференції «Метрологія, технічне регулювання, якість: досягнення та перспективи». – 2016. – С. 139–141.
7. Burstein, F. Handbook on Decision Support Systems 1 [Text] / F. Burstein, C. Holsapple. – Springer, 2008. – 854 p. doi: [10.1007/978-3-540-48716-6](https://doi.org/10.1007/978-3-540-48716-6)
8. Chiang, S. Decision Support Systems [Text] / S. Chiang. – InTech, 2010. – 420 p. doi: [10.5772/3453](https://doi.org/10.5772/3453)
9. Giarratano, J. C. Expert Systems: Principles and Programming, Fourth Edition [Text] / J. C. Giarratano, G. D. Riley. – Course Technology, 2004. – 288 p.
10. Aamodt, A. Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches [Text] / A. Aamodt, E. Plaza // Artificial Intelligence Communications. – 1994. – Vol. 7, Issue 1. – P. 39–52.
11. Бородин, А. Ф. Эксплуатационная работа железнодорожных направлений [Текст] / А. Ф. Бородин // Труды ВНИИАС. – 2008. – Вып. 6. – С. 307–314.

Bibliography (transliterated):

1. Lee, E. A., Seshia, S. A. (2017). Introduction to Embedded Systems, A Cyber-Physical Systems Approach. MIT Press.
2. Colombo, A. W., Karnouskos, S., Bangemann, T. (2014). Towards the Next Generation of Industrial Cyber-Physical Systems. Industrial Cloud-Based Cyber-Physical Systems, 1–22. doi: [10.1007/978-3-319-05624-1_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-05624-1_1)
3. Kiselev, M. I., Novikov, S. V. (2016). «Industriya 4.0»: nekotorye problemnye voprosy. Stankoinstrument, 2/2016, 42–46. Available at: http://www.stankoinstrument.ru/files/article_pdf/5/article_5301_277.pdf
4. Lee, J., Bagheri, B., Kao, H.-A. (2014). Recent Advances and Trends of Cyber-Physical Systems and Big Data Analytics in Industrial Informatics. Proceeding of Int. Conference on Industrial Informatics (INDIN) 2014. doi: [10.13140/2.1.1464.1920](https://doi.org/10.13140/2.1.1464.1920)
5. Syrotkina, O., Alekseyev, M., Aleksieiev, O. (2017). Evaluation to determine the efficiency for the diagnosis search formation method of failures in automated systems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (9 (88)), 59–68. doi: [10.15587/1729-4061.2017.108454](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.108454)
6. Volkov, S. L. (2016). Teoretychni zasady pobudovy modeli struktury ekspertnoi systemy yakosti kiberfizychnykh system. Zbirnyk naukovykh prats 6-oi Mizhnarodnoi nauково-praktychnoi konferentsiyi «Metrolohiya, tekhnichne rehuliuвання, yakist: dosiahnennia ta perspektyvy», 139–141.
7. Burstein, F., Holsapple, C. (2008). Handbook on Decision Support Systems 1. Springer, 854. doi: [10.1007/978-3-540-48716-6](https://doi.org/10.1007/978-3-540-48716-6)
8. Chiang, S. (2010). Decision Support Systems. InTech, 420. doi: [10.5772/3453](https://doi.org/10.5772/3453)

9. Giarratano, J. C., Riley, G. D. (2004). Expert Systems: Principles and Programming, Fourth Edition. Course Technology, 288.
10. Aamodt, A., Plaza, E. (1994). Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches. Artificial Intelligence Communications, 7 (1), 39–52.
11. Borodin, A. F. (2008). Ekspluatatsionnaya rabota zheleznodorozhnykh napravleniy. Trudy VNIAS, 6, 307–314.

Надійшла (received) 12.12.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Модель експертного оцінювання якісного стану технічної системи/ Волков С. Л., Казакова Н. Ф., Асабашвілі С. Д. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.157–161. – Bibliogr.:11. – ISSN 2079-5459

Модель экспертной оценки качественного состояния технической системы/ Волков С. Л., Казакова Н. Ф., Асабашвили С. Д. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.157–161. – Bibliogr.:11. – ISSN 2079-5459

Model of expert evaluation of the qualitative state of the technical system/ Volkov S., Kazakova N., Asabashvili S. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 44 (1266).– P.157–161. – Bibliogr.:11. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Волков Сергій Леонідович – кандидат технічних наук, доцент, Кафедра комп’ютерних та інформаційно-вимірювальних технологій, Одеська державна академія технічного регулювання та якості, вул. Ковальська, 15, м. Одеса, 65020. E-mail: greyw@ukr.net.

Казакова Надія Феліксівна – Доктор технічних наук, доцент, Кафедра комп’ютерних та інформаційно-вимірювальних систем, Одеська державна академія технічного регулювання та якості, вул. Ковальська, 15, м. Одеса, Україна, 65020. E-mail: kaz2003@ukr.net.

Асабашвілі Суліко Дмитрович – викладач, Кафедра комп’ютерних та інформаційно-вимірювальних систем, Одеська державна академія технічного регулювання та якості, вул. Ковальська, 15, м. Одеса, Україна, 65020, E-mail: as.sulico@gmail.com.

Волков Сергей Леонидович – кандидат технических наук, доцент, Кафедра компьютерных и информационно-измерительных технологий, Одесская государственная академия технического регулирования и качества, ул. Кузнечная, 15, г. Одеса, 65020, E-mail: greyw@ukr.net.

Казакова Надежда Феликсовна – Доктор технических наук, доцент, Кафедра компьютерных и информационно-измерительных технологий, Одесская государственная академия технического регулирования и качества, ул. Кузнечная, 15, г. Одеса, 65020. E-mail: kaz2003@ukr.net.

Асабашвили Сулико Дмитриевич – преподаватель, Кафедра компьютерных и информационно-измерительных технологий, Одесская государственная академия технического регулирования и качества, ул. Кузнечная, 15, г. Одеса, 65020, E-mail: as.sulico@gmail.com.

Volkov Sergey – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of computer, information and measurement technologies, Odesa State Academy of Technical Regulation and Quality, Kovalska str., 15, Odesa, Ukraine, 65020. E-mail: greyw@ukr.net.

Kazakova Nadiia – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Department of computer, information and measurement technologies, Odesa State Academy of Technical Regulation and Quality, Kovalska str., 15, Odesa, Ukraine, 65020, E-mail: kaz2003@ukr.net.

Asabashvili Suliko – postgraduate student, Department of computer, information and measurement technologies, Odesa State Academy of Technical Regulation and Quality, Kovalska str., 15, Odesa, Ukraine, 65020, r. E-mail: as.sulico@gmail.com.