

2. Ageev M.S., Gritsuk I.V., Solovikh E.K. Zastosuvannia kombinovanikh tekhnologii vidnovlennia dlia pidvishchennia resursu detalei zasobiv transportu [Application of combined recovery technologies to increase the life of vehicle parts]. *Zbirnik naukovikh prats' Ukrain's'kogo derzhavnogo universitetu zaliznichnogo transportu – Collected scientific works of Ukrainian state university of railway transport*, 2020, vol. 194, pp. 81-92. doi: 10.18664/1994-7852.194.2020.230412. (Ukr.)
3. Vigerina T.V., Ageev M.S., Dan'ko K.A. Otsenka vliianiia parametrov gazotermicheskogo napyleniia pokrytii na ikh svoistva putem ispol'zovaniia metodov matematicheskogo planirovaniia [Evaluation of the influence of the parameters of thermal spraying of coatings on their properties by using methods of mathematical planning]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriia V. Promyshlennost'. Prikladnye nauki. Mashinovedenie i mashinostroenie – Vestnik of Polotsk State University. Part B. Industry. Applied Sciences*, 2017, №1, pp. 35-40. (Rus.)
4. Zhuravlev Iu.V. *Izbrannye trudy* [Selected writings]. Moscow, Magistr Publ., 1998. 420 p. (Rus.)
5. Korn G., Korn T. *Spravochnik po matematike* [Handbook of Mathematics]. Moscow, Nauka Publ., 1977. 832 p. (Rus.)
6. Bulychev S.N. Sootnoshenie mezhdv vosstanovlennoi i nevosstanovlennoi tverdost'iu pri ispytaniakh nanomikro-indentirovaniem [Ratio between recovered and unrecovered hardness in nanomicro-indentation tests]. *Zhurnal tekhnicheskoi fiziki – Technical Physics*, 1999, vol. 69, № 7, pp. 42-48. (Rus.)
7. Kuzin N.O. Upravlenie kontaktnoi prochnost'iu materialov uzlov treniia podvizhnogo sostava s ispol'zovaniem matematicheskikh i komp'iuternykh modelei [Controlling the Contact Strength of Materials of Friction Units of Rolling Stock Using Mathematical and Computer Models]. *Zaliznichnii transport Ukraïni – Railway transport of Ukraine*, 2011, № 2, pp. 55-60. (Rus.)
8. Kragel'skii I.V., Dobychin M.N., Kombalov V.S. *Osnovy raschetov na trenie i iznos* [Fundamentals of Friction and Wear Calculations]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1977. 526 p. (Rus.)
9. Aleksandrov V.A., Zhukovskii A.N., Mechnik V.A. Temperaturnoe pole i iznos neodnorodnogo almaznogo kruga pri konvektivnom teploobmene. Ch. II [Temperature field and wear of an inhomogeneous diamond wheel during convective heat transfer. Part II]. *Trenie i iznos – Journal of Friction and Wear*, 1994, vol. 15, № 2, pp. 196-201. (Rus.)

Рецензент: О.В. Шарко,
д-р техн. наук, проф., Херсонська державна морська академія

Стаття надійшла 08.10.2021

УДК 621.436

doi: 10.32782/2225-6733.43.2021.24

© Грицук І.В.¹, Черненко В.В.²

ОСОБЛИВОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ МОНІТОРИНГУ ДИЗЕЛЬНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ У СКЛАДІ СИСТЕМИ ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ

В статті розглядаються особливості інформаційної моделі моніторингу дизельної електростанції у складі системи прогнозування параметрів технічного стану складної системи транспортного засобу. Запропонований підхід до формування складної систем прогнозування параметрів технічного стану суднової енергетичної установки з урахуванням стану операторів системи і їх режимів роботи. В статті розглядається загальний підхід і саме особливості побудови інформаційної системи дизельної електростанції. Показана побудована інформаційна модель дизельної

¹ д-р техн. наук, професор, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, ORCID: 0000-0001-7065-6820, gritsuk_iv@ukr.net

² ст. викладач, Херсонська державна морська академія, м. Херсон, chernenko.valentyna@ksma.ks.ua

електростанції у складі системи прогнозування параметрів технічного стану на основі двигуна Д-246.4, як лабораторної установки. При виконанні формування інформаційної моделі застосована системна декомпозиція дизельної електростанції на складові елементи та інформаційні взаємозв'язки між складовими елементами з метою забезпечення прогнозування параметрів її технічного стану. Показано, що при формуванні предметної області дослідної дизельної електростанції були використані принципи, що орієнтовані на конкретні завдання обробки, аналізу даних і функціональні потреби та особливості роботи обслуговуючого персоналу у складі системи прогнозування. В статті запропоновано механізм реалізації прогнозних моделей, який здійснюється на основі моніторингової системи дизельної електростанції (моніторинг, діагностика, визначення статусу несправностей тощо). В статті показано передбачення в системі моніторингу виконання прогнозу параметрів стану дизельної електростанції як на відповідний прогнозний час, так і до отриманих значень параметрів з найменшим значенням прогнозного часу, при якому відбудеться вихід за встановлені допустимі межі. На основі прогнозуючих алгоритмів реалізовано два різновиди прогнозування: індивідуальне прогнозування для окремого параметру і прогнозування за кількома параметрами. Запропонований механізм реалізації і формування інформаційної моделі моніторингу дизельної електростанції у складі системи прогнозування параметрів технічного стану може бути корисний для роботи з аналогічними системами і механізмами у складі суднових енергетичних установок.

Ключові слова: суднова енергетична установка, дизельна електростанція, двигун, температура, граф, прогнозування, моніторинг, діагностування, інформаційний елемент.

I.V. Gritsuk, V.V. Chernenko. Peculiarities of the information model of diesel power plant monitoring as a part of the technical condition forecasting system. The article considers the features of the information model of monitoring the diesel power plant as part of the system for predicting the parameters of the technical condition of a complex vehicle system. The approach to formation of difficult systems of forecasting of parameters of a technical condition of ship power plant taking into account a condition of operators of system and their operating modes is offered. The general approach and features of construction of information system of diesel power plant are considered in the article. The information model of the diesel power plant as a part of the system of forecasting of parameters of technical condition on the basis of the D-246.4 engine, as laboratory installation is shown. When performing the formation of the information model, the system decomposition of the diesel power plant into its constituent elements and information relationships between the constituent elements were used in order to ensure the forecasting of the parameters of its technical condition. It is shown that in the formation of the subject area of the experimental diesel power plant were used principles focused on specific tasks of data processing, analysis and functional needs and features of the staff in the forecasting system. The article proposes a mechanism for the implementation of forecast models, which is carried out on the basis of the monitoring system of the diesel power plant (monitoring, diagnostics, determination of fault status, etc.). The article shows the prediction in the system of monitoring the forecast of the parameters of the state of the diesel power plant, both for the corresponding forecast time and to the obtained values of the parameters with the lowest value of the forecast time at which the established permissible limits will be exceeded. Based on forecasting algorithms, two types of forecasting are implemented: individual forecasting for a single parameter and forecasting for several parameters. The proposed mechanism for the implementation and formation of an information model for monitoring a diesel power plant as part of a system for predicting the parameters of technical condition can be useful for working with similar systems and mechanisms in ship power plants.

Key words: ship power plant, diesel power plant, engine, temperature, graph, forecasting, monitoring, diagnostics, information element.

Постановка проблеми. У суднових енергетичних установках дизельні двигуни мають основне застосування. Незважаючи на досягнуті високі потужнісні та економічні параметри сучасних дизелів, що ставлять їх поза конкуренцією щодо інших перетворювачів енергії, є ряд недоліків, над усуненням яких слід працювати. Крім цього, двигунобудування та, на його основі, дизель-генераторобудування – основа розвитку сучасних автономних систем електропостачання будь-якого призначення. Сюди, в першу чергу, відносять резервні джерела живлення та аварійні електростанції енергетичного та транспортного призначення. Підвищення технічного рівня сучасних дизель-генераторів виявляється у зростанні їх поодиноких потужностей при одночасному покращенні питомих технічних показників, економічності та підвищенні міжремонтних ресурсів.

Технічний стан суднових двигунів та дизель-генераторів при повсякденній експлуатації, в залежності від її умов, особливостей і виробничої необхідності, вимагає коригування (перегляду) існуючої системи управління технічним станом, технічним обслуговуванням, поточними ремонтами та, взагалі, передрейсовою технічною підготовкою.

Для ефективної експлуатації суднових двигунів та дизель-генераторів потрібно якомога ширше застосовувати інформацію про параметри технічного стану і можливості вбудованих систем технічної діагностики. Оброблені дані моніторингу і діагностування технічного стану складових енергетичної установки, а, особливо суднових двигунів та дизель-генераторів, потрібно використовувати в технологічному процесі сталої експлуатації і передрейсової підготовки.

Прийняття рішення про фактичний стан енергетичної установки як в цілому, так і складових, під час рейсу повинно бути технічно обгрунтованим. Це робиться з метою недопущення відмови суднових двигунів та дизель-генераторів під час рейсу та зменшення витрат, пов'язаних із затримкою судна, позаплановим технічним втручанням та проведенням непланового ремонту.

Аналіз безпеки керування та несправностей основного технологічного обладнання енергетичної установки, а в тому числі і суднових двигунів та дизель-генераторів за останні роки показує, що більшість транспортних подій, при їх виникненні, відбувається через відмову обладнання під час рейсу. Основною причиною відмов вузлів суднових двигунів та дизель-генераторів в експлуатації є те, що при відправленні судна в рейс недостатня увага приділяється визначенню їх фактичного технічного стану. У зв'язку з цим постає задача удосконалення процесів технологічної підготовки суднових двигунів та дизель-генераторів в частині забезпечення моніторингу, визначення їх технічного стану і управління ним, в залежності від урахування додаткових даних про стан операторів.

Одним із основних напрямків удосконалення процесів технологічної підготовки є застосування комплексного підходу із використанням можливостей сучасних інформаційних технологій. Потребує створення інформаційна система, яка могла б допомагати враховувати рівень технічного стану суднових двигунів та дизель-генераторів в процесі передрейсової підготовки, сталої експлуатації, стан операторів, умови їх праці і відпочинку, з метою недопущення відправлення в рейс судна, який може відмовити в експлуатації. Це вимагає пошук альтернативних шляхів збору та узагальнення інформації для покращення контролю посадовими особами за раціональною організацією експлуатації енергетичних установок і транспортних засобів. Об'єкт дослідження полягає в розробці та дослідженні систем моніторингу технічного стану енергетичних установок і, в подальшому, режимів праці та відпочинку її операторів в умовах експлуатації у автономній та транспортній енергетиці і на транспорті.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розробці, створенню, формуванню систем моніторингу складних систем енергетичного призначення присвячено багато робіт численних авторів. При формуванні систем, які одночасно є транспортними і енергетичними, потрібно враховувати особливості підходів до створення аналогічних систем, особливостей їх експлуатації

Аналіз публікацій останніх років показує, що до теперішнього часу роботи, пов'язані зі зменшенням викидів і токсичності газів, що відпрацювали, виходять на перший план, залишаючи на досягнутому рівні економічні показники. Аналіз прогнозів розвитку дизелебудування та дизель-генераторобудування показує, що всі вони сприятливо оцінюють його перспективи. Принаймні, до кінця поточного століття прогнозується інтенсивне зростання попиту на дизельну продукцію різних класів та призначень. Прогнозуються високі темпи зростання попиту на електроенергію, отриману від автономних дизель-електричних станцій [1-12].

Найважливішим завданням виробників дизель-генераторів залишається вдосконалення

конструкції та технології їх виготовлення з метою максимального зниження вартості таких установок та зниження експлуатаційних витрат на обслуговування.

Актуальність дослідження зумовлена тим, що керування складними системами, які пов'язані з фізичним та розумовим станом працівників, має прояв у застосуванні комплексів автоматизованого управління та контролю. Облік та ведення технічної документації в сфері експлуатації стаціонарних енергетичних засобів і транспортних засобів спонукає до пошуку альтернативних шляхів збору та узагальнення інформації, для покращення контролю посадовими особами за належною організацією експлуатації транспортних засобів, планування режимів праці та відпочинку працівників, а також своєчасного прийняття рішення щодо визначення потреби в обслуговуванні чи ремонті транспортних засобів [1-20]. Тому в дослідженні виникає потреба проаналізувати наявні методи, засоби і системи інформаційного забезпечення моніторингу технічного стану складових суднових енергетичних установок в умовах експлуатації. Зробити аналіз існуючих способів і методів моніторингу режимів праці і відпочинку працівників в умовах експлуатації. Удосконалити та систематизувати існуючі шляхи збору та узагальнення інформації щодо покращення контролю посадовими особами за раціональною організацією режимів праці і відпочинку працівників в умовах експлуатації та моніторингу технічного стану складових енергетичних установок в умовах експлуатації.

Метою дослідження є реалізація принципів системного підходу до задач формування інформаційної моделі моніторингу дизельної електростанції у складі системи прогнозування параметрів технічного стану [1-20].

Виклад основного матеріалу. Для того, щоб збирати, зберігати, розповсюджувати і аналізувати інформацію, необхідно знати її кількість. Процес переробки інформації, за аналогією з процесами переробки матеріальних ресурсів, можливо сприймати як технологію [1-20]. Органічне поєднання основних відомих методів і підходів (статистичний, семантичний, прагматичний, структурний) дає найбільш повне представлення про технічний об'єкт або сукупність предметів, як про складну систему інформаційної технології [1-20].

Для визначення предметної області дизельної електростанції, для роботи у складі системи прогнозування параметрів технічного стану, використовуються принципи, орієнтовані на конкретні задачі обробки, аналізу даних їх моніторингу і функціональні потреби обслуговуючого персоналу [1-20]. Початковий аналіз предметної області дизельної електростанції, для роботи у складі системи прогнозування параметрів технічного стану використовували діаграму потоків даних (*DFD* – *Data Flow Diagramm*) [1-20], що показана на рис. 1. З точки зору побудови інформаційної системи на *DFD*-діаграмі, джерелами первинної інформації про стан дизельної електростанції, для роботи у складі системи прогнозування параметрів технічного стану, є пристрої і засоби збирання і передачі інформації в системі, учасників процесу експлуатації, умови процесів експлуатації дизельної електростанції при виконанні виробничих задач і бази даних системи моніторингу і прогнозування параметрів технічного стану дизельної електростанції в умовах експлуатації. До функціональних завдань «Інформаційної системи моніторингу і прогнозування параметрів технічного стану дизельної електростанції в умовах експлуатації» відносимо ідентифікацію, моніторинг стану технічних параметрів дизельної електростанції, діагностування та прогнозування параметрів технічного стану дизельної електростанції. У зв'язку із тим, що джерела первинної інформації (рис. 2) є пристроями з одночасним збиранням і передачею (трансляванням) інформації в системі прогнозування параметрів технічного стану, то їх можливо вважати «зовнішніми сутностями». До пристроїв і засобів збирання і передачі інформації в системі відносимо штатні датчики дизельної електростанції, штатний контролер (блок керування) дизельної електростанції, додаткове оснащення контролера, додаткові датчики дизельної електростанції, інтелектуальний програмно-діагностичний комплекс тощо.

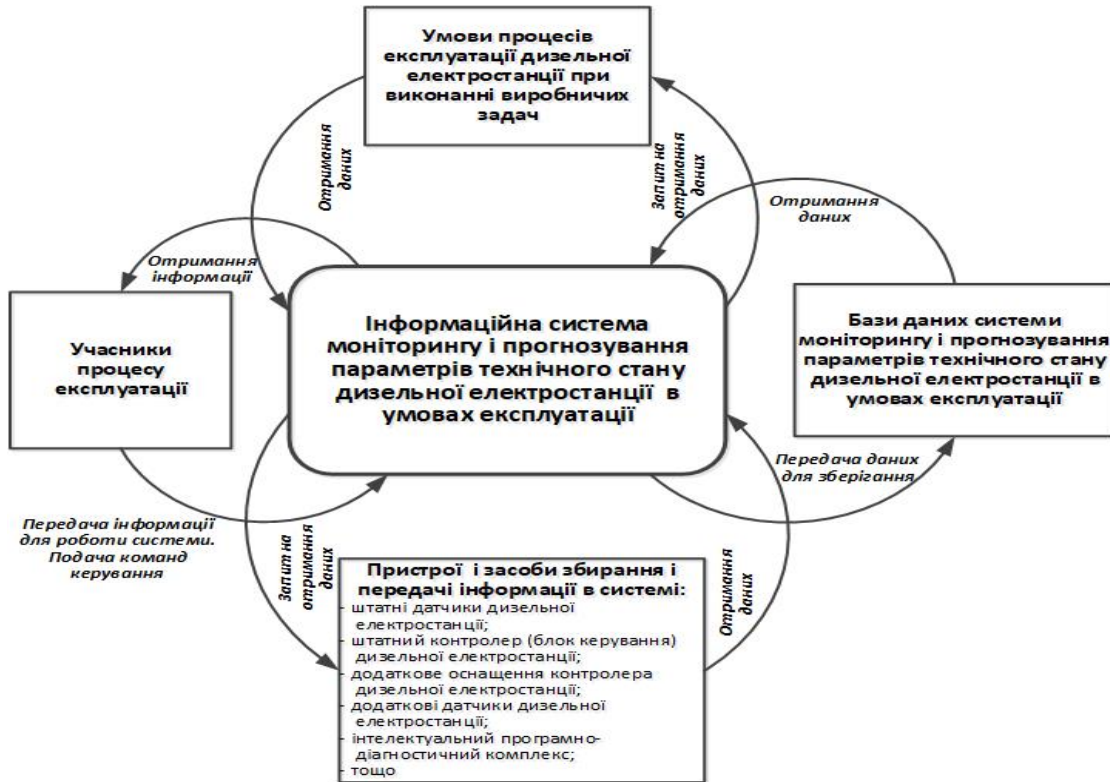


Рис. 1 – DFD-діаграма інформаційної моделі дизельної електростанції, для роботи у складі системи прогнозування параметрів технічного стану

Модель предметної області ДЕС в роботі представлена у вигляді множини:

$$M_{np.o.} = \langle F, H, P, O, V_{ex}, V_{vix}, R \rangle, \quad (1)$$

де: $F = \{f_i / i = 1, I\}$ – функції, що автоматизуються, саме які виконуються системою моніторингу та прогнозування параметрів; $H = \{h_j / j = 1, J\}$ – завдання обробки даних системи моніторингу та прогнозування параметрів; $P = \{p_k / k = 1, k\}$ – множина системи, що характеризує кількість, особливості та склад персоналу, що працює зі системою моніторингу та прогнозування параметрів; $O = \{o_m / m = 1, M\}$ – об'єкти автоматизації, які можливо представити властивими самостійними частинами, в частині двигуна, в частині генератора та в частині шини навантаження; $V = \{v_l / l = 1, L\}$ – інформаційні елементи (саме вхідні та вихідні параметри системи); $R = \{r_y / y = 1, Y\}$ – множина системи у вигляді відносин (взаємозв'язків) між компонентами.

При формуванні системи моніторингу саме для аналітичного опису семантики системи складові були описані за допомогою булевих матриць суміжності, які описують відповідні відносини R між компонентами і складовими предметної області. Види відносин між розглянутими множинами показані у функціоналі множинами $\{F, H, P, O, V_{ex}, V_{vix}, R\}$: $FH = \|fh_{ij}\|$, $FP = \|fp_{ik}\|$, $FO = \|fo_{im}\|$, $FV = \|fv_{il}\|$, $HP = \|hp_{jk}\|$, $HO = \|ho_{jm}\|$, $HV = \|hv_{il}\|$, $OV = \|ov_{ml}\|$. Таким чином була отримана аналітико-множинна модель предметної області ДЕС. Дана модель дозволяє виявити повноту та несуперечність компонентів щодо всіх множин предметної області, а також взаємозв'язки між ними.

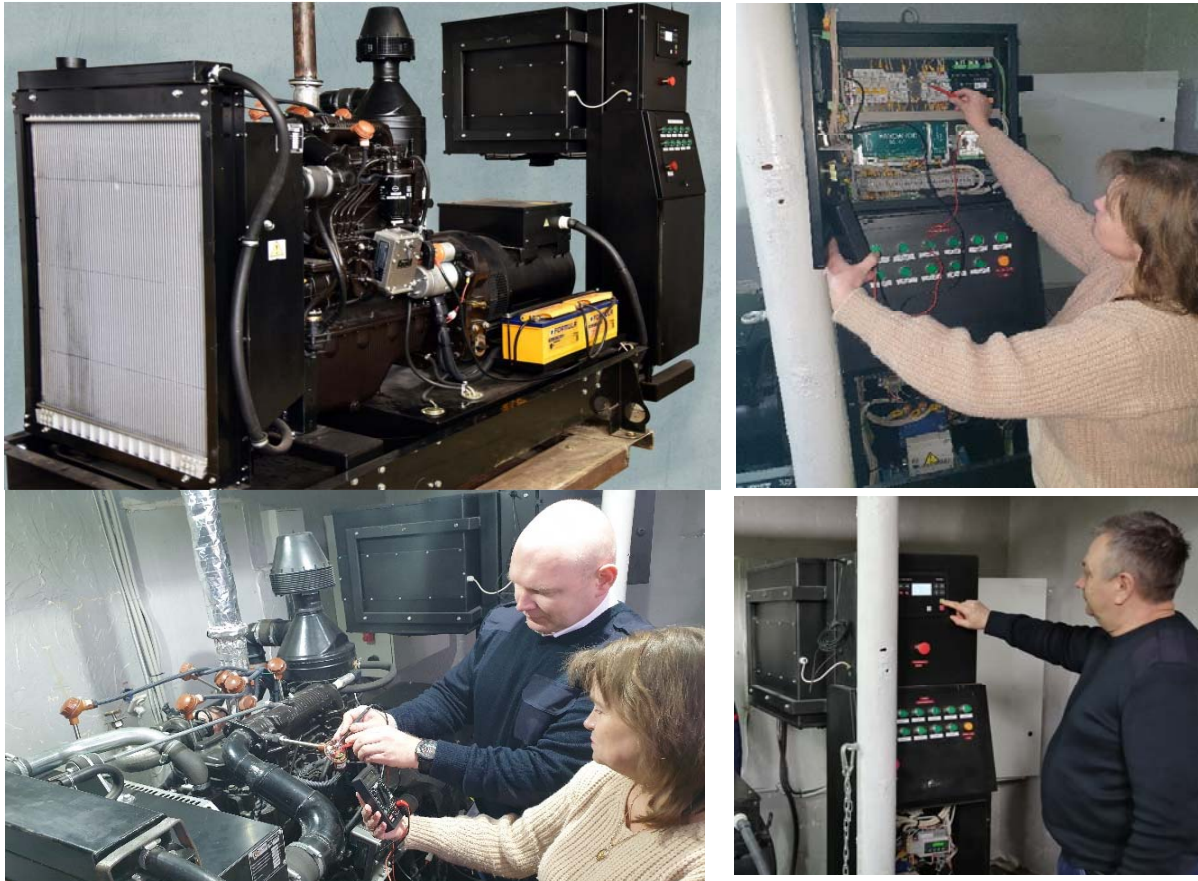


Рис. 2 – Стенд для дослідження і моніторингу робочих процесів та параметрів дизельної електростанції на основі дизеля Д-246.4 з елементами первинної інформації при проведенні випробувань

Процес формування та аналізу графів інформаційних структур моделі системи моніторингу та прогнозування контрольованих параметрів ДЕС включає в себе: побудову множини структурних елементів і складових на основі моделі предметної області ДЕС, формування матриці семантичної суміжності на множині структурних елементів та побудова орієнтованого графа інформаційної структури ДЕС, формування матриці семантичної досяжності елементів, визначення інформаційних та групових елементів структурної множини ДЕС, упорядкування груп структурних елементів за рівнями властивої ієрархії, виділення та формування множини відповідних ключів та атрибутів у групах даних системи моніторингу ДЕС, побудова канонічної моделі БД системи моніторингу ДЕС.

Основними структурними елементами моделі системи моніторингу та прогнозування параметрів ДЕС на основі дизельного двигуна Д-246.4 є елементи вказаних множин O та V : $D = \{d_i \mid i = 1, 66\}$, $P(D) = 66$. Під матрицею семантичної суміжності $B = \|b_{ij}\|$ розглядається квадратна бінарна матриця, що була проіндексована по (обидві) осі множини структурних елементів D . Отриманій матриці системи відповідає оргграф інформаційної структури. Вершини оргграфу (відповідають) структурним елементам, а дуги відображають наявність або відсутність зв'язку між ними. Зображення орієнтованого оргграфу G представлено на рис. 3.

Для отримання матриці досяжності, отриману матрицю послідовно зводили в цілі позитивні ступені $n(n = 2, 3, \dots, L - 1)$, що утворювали деяку кількість матриць шляхів доступу. У дослідному випадку, другий ступінь отриманої матриці є виродженою матрицею. Саме тому матриця семантичної досяжності збігається з матрицею семантичної суміжності. В дослідженні отримана матриця дає можливість визначення множини передування $C(d_i)$ та досяжності $F(d_i) \forall d_i \in D$. Множина $C(d_i)$ формується з елементів, які відповідають одиничним записам в i -му стовпці, а множина $F(d_i)$ – з елементів, відповідних одиничним записам у i -му рядку отриманої

матриці. Аналіз множини $C(di)$ дозволяє виділити базові типи структурних елементів – інформаційні елементи та групи. Інформаційним елементам відповідають ті структури, яким $C(di)=0$. На отриманому графі їм відповідають висячі вершини.

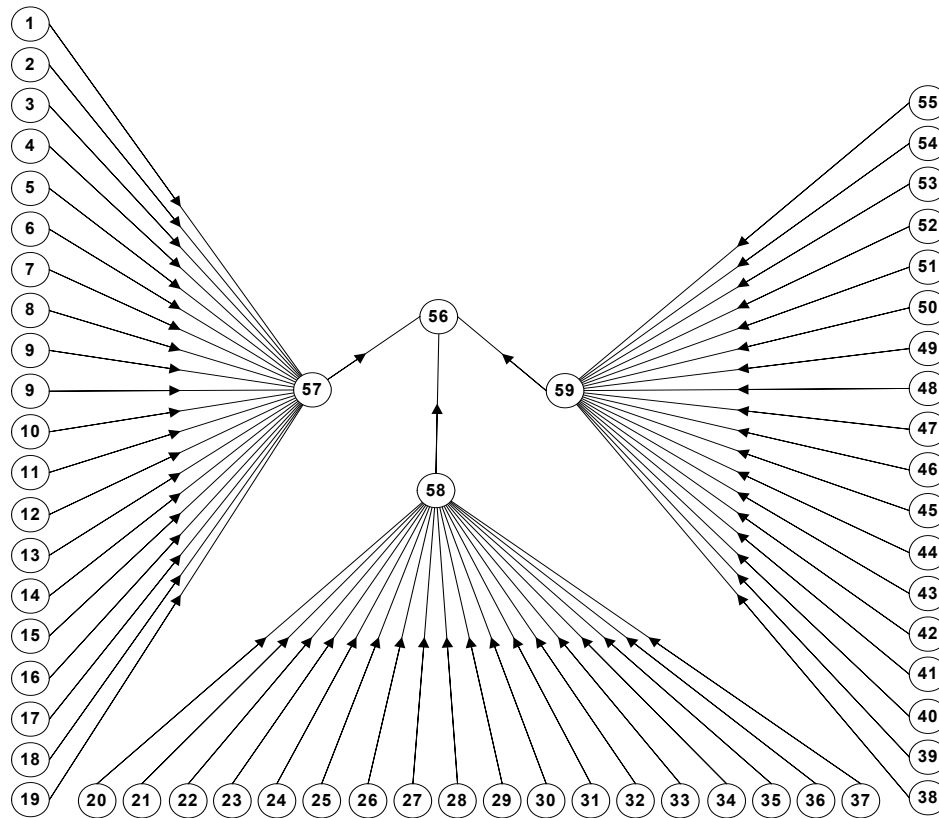


Рис. 3 – Граф G інформаційної структури моделі системи моніторингу та прогнозування параметрів ДЕС на основі дизельного двигуна Д-246.4

Розрахунковим шляхом, згідно наведених раніше залежностей, були визначені множини передування та досяжності для кожного структурного елемента:

$$\forall i, i = 1, \dots, 56 \ C(d_i) = \varnothing; C(d_{57}) = \{d_i / i = 1, \dots, 19, 56\};$$

$$C(d_{58}) = \{d_i / i = 20, \dots, 37, 56\}; C(d_{59}) = \{d_i / i = 38, \dots, 56\},$$
(2)

$$\forall i, i = 57, \dots, 59 \ F(d_i) = \varnothing; \forall i, i = 1, \dots, 19 \ F(d_i) = \{d_{57}\},$$

$$\forall i, i = 20, \dots, 37 \ F(d_i) = \{d_{58}\}; \forall i, i = 38, \dots, 55 \ F(d_i) = \{d_{59}\}; F(d_{56}) = \{d_{57}, d_{58}, d_{59}\},$$
(3)

Для визначення інформаційних елементів застосували наступний метод: необхідно підсумувати елементи кожного стовпця j матриці A. Якщо $\sum_{i=1}^{P(D)} a_{i,j} = 0$, то j-й елемент структурної множини є інформаційним. Інакше структурний елемент є груповим елементом (групою).

В роботі була отримана матриця вироджена, тобто всі її елементи дорівнюють 0. За рахунок отриманого результату інформаційна структура не має багаторівневої ієрархічної організації і тому немає необхідності проводити процедури впорядкування та нормалізації. За рахунок отриманого результату достатньо досліджувати інформаційні склади груп щодо наявності загальних елементів. Для досліджуваної системи моніторингу ДЕС на основі стаціонарного дизельного двигуна Д-246.4 було отримано загальний інформаційний елемент для всіх трьох інформаційних груп. Це елемент d_{56} («Час збору інформації системи»). Цей елемент також є ключовим унаслідок семантичної залежності одержуваних даних від часу збору

інформації. Отже, множина ключів $W_1 = \{d_{56}\}$, множина атрибутів $W_2 = \{d_i / i=1, \dots, 55\}$. Тому граф канонічної структури отримав вигляд, представлений на рис. 4.

Для реалізації прогнозуючих алгоритмів оцінки параметрів дизельної електростанції розроблено відповідні алгоритми одно параметричного та групового багато параметричного прогнозування. В дослідженні процес прогнозування представлено як операторне перетворення (Π) вихідної (отриманої) інформації про досліджуваний об'єкт у вигляді її відображення на майбутнє, що обмежене глибиною прогнозу $\Pi : \{D_i, T\} \rightarrow I$, де Π – оператор прогнозування; D_i – інформація про вихідний стан об'єкта (у нашому випадку – тимчасовий ряд); T – горизонт прогнозу; I – результат прогнозу.

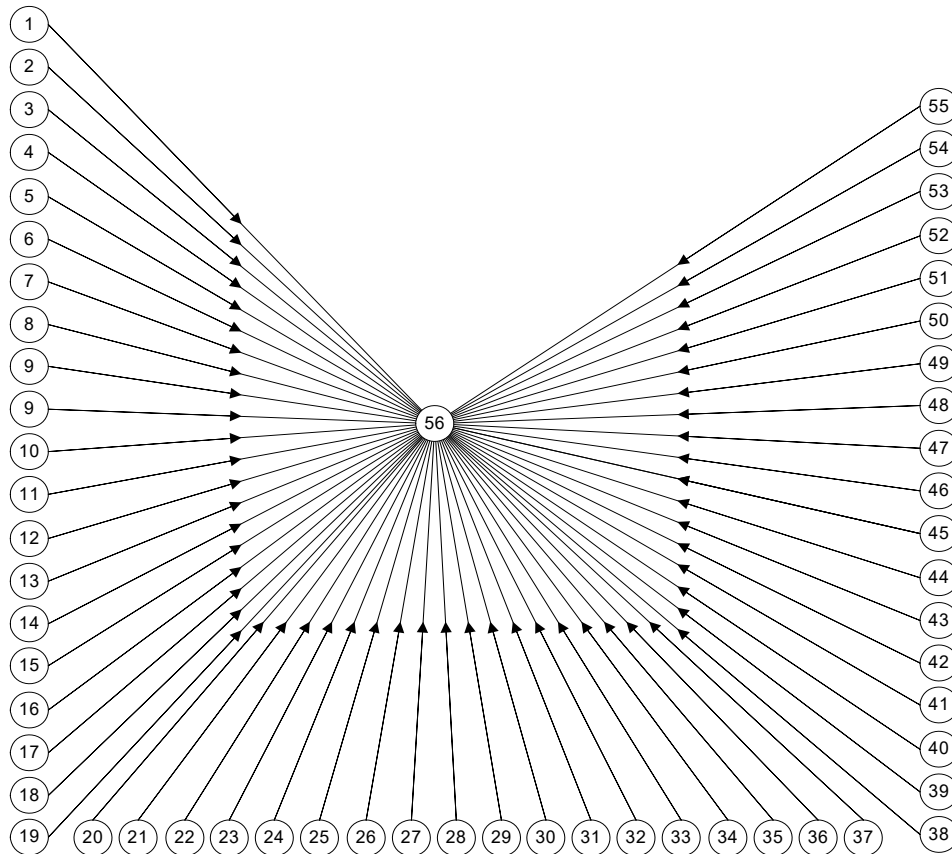


Рис. 4 – Граф G канонічної структури моделі системи моніторингу та прогнозування параметрів ДЕС на основі дизельного двигуна Д-246.4

Метою прогнозування параметрів ДЕС є дослідження динаміки та виявлення виходів за допустимі межі значень контрольованих параметрів у майбутньому у відповідному інтервалі часу. Залежно від того, в якому режимі працює ДЕС, і вибираються граничні значення для прогнозу. Якщо ДЕС працює в режимі основного джерела живлення системи, дуже важливо прогнозувати значення параметрів на короткий термін. У разі роботи ДЕС в аварійному режимі необхідно забезпечити отримання вимірювань не менше одного разу протягом одного включення. Вид функції, що описує систематичну складову системи моніторингу, дає змогу оцінити остаточне рішення. Якщо обраний варіант невдалий, то послідовні значення низки залишків можуть мати властивості незалежності, тому що вони можуть корелювати між собою. У цьому випадку має місце автокореляція помилок.

В дослідженні застосований метод, запропонований Дарбіним та Уотсоном. Критерій Дарбіна-Уотсона пов'язаний з гіпотезою існування автокореляції першого порядку, тобто автокореляції між сусідніми залишковими членами низки. Значення цього критерію визначається за такою формулою:

$$d = \frac{\sum_{t=2}^n (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n e_t^2} \quad (4)$$

Для оцінки точності моделей прогнозування застосовувалась середня відносна помилка по модулю (Mean Absolute Percentage Error (MAPE)), що розраховувалась за такою формулою:

$$|\bar{\delta}| = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{\hat{y}_t - y_t}{y_t} \right| \cdot 100\%, \quad (5)$$

де n – число рівнів часового ряду, якими визначалося прогнозне значення.

Характеристика MAPE широко використовується для порівняння точності прогнозу різнорідних об'єктів прогнозування. При значеннях цієї характеристики в діапазоні 10-20% точність можна визнати доброю, при $20\% < |\bar{\delta}| < 50\%$ – задовільною. Крім цього, для оцінювання адекватності і точності моделей в аналітичній частині системи можливо розраховувати: середньоквадратичні помилки (відхилення) модельних значень і рівнів трендів (MSE); суми квадратів помилок (відхилень) модельних значень і рівнів трендів (SSE); стандартні похибки середнього; коефіцієнти детермінації тощо.

Відповідно до мети розроблюваної системи прогнозування, ДЕС підлягає обслуговуванню, якщо прогноз показує що з її контрольованих параметрів першим виходить за встановлені межі обмежень. У цьому випадку аналізовані параметри можна вважати незалежними один від одного. Процес прогнозування технічного стану зводиться до незалежного прогнозування значень щодо кожного з параметрів, з наступним визначенням параметра з найменшим значенням прогнозного часу, коли відбудеться вихід за допустимі межі. Авторами підготовлені відповідні алгоритми, які були реалізовані в системному аналітичному модулі.

Інформаційне забезпечення системи прогнозування технічного стану ДЕС складається з двох основних частин: програмного забезпечення загального призначення та спеціального програмного забезпечення, яке є програмним кодом, що виконує збір, зберігання та обробку інформації ДЕС. Приклад результатів побудови прогнозних моделей наведено на рис. 5 для горизонту прогнозу у 50 хв.

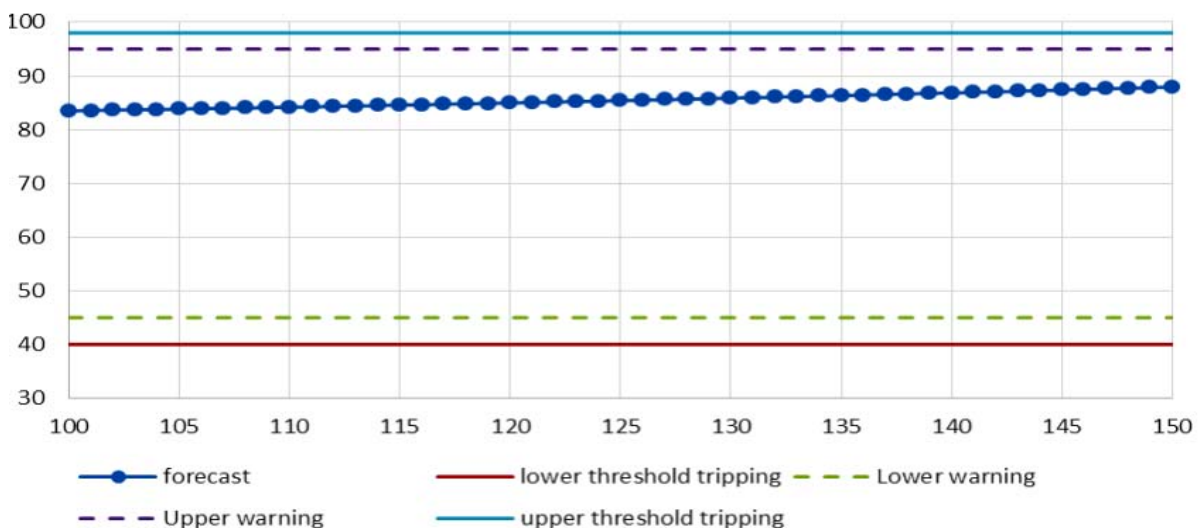


Рис. 5 – Приклад побудови прогнозних моделей і графіка прогнозу в системі моніторингу для параметра – температура ОР двигуна, °C – побудова графіка прогнозу для визначеного інтервалу часу

Таким чином, в результаті реалізації програмного забезпечення розроблено інтерфейс системи. Реалізація прогнозних моделей здійснювалась на основі моніторингової системи ДЕС (моніторинг і визначення статусу несправностей). В системі передбачено виконання прогнозу параметрів стану ДЕС на відповідний прогнозний час і виконання прогнозу параметрів стану ДЕС з найменшим значенням прогнозного часу, при якому відбудеться вихід за допустимі межі. На основі прогнозуючих алгоритмів реалізовано два різновиди прогнозування: індивідуальне прогнозування для окремого параметру і прогнозування за кількома параметрами.

Висновки

Побудована інформаційна модель дизельної електростанції у складі системи прогнозування параметрів технічного стану на основі двигуна Д-246.4 із застосуванням системної декомпозиції на складові елементи та інформаційні взаємозв'язки між складовими елементами з метою забезпечення прогнозування параметрів її технічного стану. При формуванні предметної області дослідної дизельної електростанції були використані принципи, що орієнтовані на конкретні завдання обробки, аналізу даних і функціональні потреби та особливості роботи обслуговуючого персоналу у складі системи прогнозування. Запропоновано механізм реалізації прогнозних моделей, який здійснюється на основі моніторингової системи дизельної електростанції (моніторинг, діагностика, визначення статусу несправностей). Передбачено в системі моніторингу виконання прогнозу параметрів стану дизельної електростанції як на відповідний прогнозний час, так і до отриманих значень параметрів з найменшим значенням прогнозного часу, при якому відбудеться вихід за встановлені допустимі межі.

Перелік використаних джерел:

1. Говорущенко Н.Я. Техническая кибернетика транспорта: учебное пособие / Н.Я. Говорущенко, В.Н. Варфоломеев. – Харьков: ХГАДТУ, 2001. – 271 с.
2. Технические возможности повышения ресурса автономных электростанций энергетических систем: монография / В.А. Атрощенко, Ю.Д. Шевцов, П.В. Яцынин, Р.А. Дьяченко, М.Н. Педько. – Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2010. – 192 с.
3. Використання інтелектуальних інформаційних технологій позиціонування для контролю теплових параметрів системи комбінованого прогріву ДВЗ транспортного засобу / В.П. Матейчик, В.П. Волков, П.Б. Комов, О.Б. Комов, І.В. Грицук // Вісник ЖДТУ. – 2012. – № 3(62). – С. 136-141. – (Серія: Технічні науки).
4. Кадилик Т.М. Мониторинг технологического состояния как фактор обеспечения безаварийной работы / Т.М. Кадилик // Вісник Донбаської академії будівництва і архітектури. – 2002. – № 5(36). – С. 38-41. – (Технологія, організація, механізація та геодезичне забезпечення будівництва).
5. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір наук.-практ. характеру № 64765 від 04.04.2016. Технічний регламент і результати роботи інформаційного програмного комплексу (продукту) MonDiaFor «HADI-15» (monitoring, diagnosis, forecasting technical condition of the vehicle under ITS) при здійсненні моніторингу, діагностування, прогнозування параметрів технічного стану транспортного засобу в умовах інтелектуальних транспортних систем / В.П. Волков [та ін.]. – № 65240; заявл. 10.02.2016.
6. Інтелектуальні системи моніторингу транспорту: монографія / В.П. Волков [и др.]. – Харків : Вид-во НТМТ, 2015. – 246 с.
7. Improving the Processes of Preheating and Heating after the Vehicular Engine Start by Using Heating System with Phase-Transitional Thermal Accumulator / I. Gritsuk, Y. Gutarevych, V. Mateichyk, V. Volkov // SAE Technical Paper. – 2016. – 2016-01-0204. – Mode of access: <https://doi.org/10.4271/2016-01-0204>.
8. Матейчик В. П. Системний підхід до аналізу структурних схем енергоустановок транспортних засобів / В. П. Матейчик // Вісник НТУ «ХП». – 2002. – № 7, т. 2. – С.162-167.
9. Методи системного аналізу властивостей автомобільної техніки: навч. посібник / М.Ф. Дмитриченко, В.П. Матейчик, О.К. Грицук, М.П. Цюман. – К. : НТУ, 2014. – 168 с.
10. The peculiarities of monitoring road vehicle performance and environmental impact / Kuric I. [et al.] // MATEC Web of Conferences. Innovative Technologies in Engineering Production. – 2018. –

- Vol. 244. – Pp. 1-7. – Mode of access: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201824403003>.
11. Особливості моніторингу стану транспортних засобів з використанням бортових діагностичних комплексів / В.П. Матейчик [та ін.] // Управління проектами, системний аналіз і логістика. – К. : НТУ, 2014. – Вип. 13. – С. 126-138.
 12. Information Security Risk Management of Vehicles / D. Klets [et al.] // SAE Technical Paper. – 2018. – 2018-01-0015. – Mode of access: <https://doi.org/10.4271/2018-01-0015>.
 13. Improving the Processes of Thermal Preparation of an Automobile Engine with Petrol and Gas Supply Systems (Vehicle Engine with Petrol and LPG Supplying Systems) / D. Pohorletskyi [et al.] // SAE Technical Paper. – 2020. – 2020-01-2031. – Mode of access: <https://doi.org/10.4271/2020-01-2031>.
 14. Optimization of Vehicle Operating Conditions by Using Simulation Modeling Software / M. Volodarets [et al.] // SAE Technical Paper. – 2019. – 2019-01-0099. – Mode of access: <https://doi.org/10.4271/2019-01-0099>.
 15. Evaluation of the Powertrain Condition Based on the Car Acceleration and Coasting Data / E. Rabinovich [et al.] // SAE Technical Paper. – 2018. – 2018-01-1771. – Mode of access: <https://doi.org/10.4271/2018-01-1771>.
 16. Структурний підхід до розробки автоматизованої системи збирання даних і моніторингу параметрів технічного стану транспортного засобу / В.П. Волков, І.В. Грицук, Ю.В. Грицук, Ю.В. Волков / Науковий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал. – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2017. – № 1(16). – С. 132-143.
 17. Особливості моніторингу і визначення статусу несправностей транспортного засобу у складі бортового інформаційно-діагностичного комплексу / В.П. Волков, І.В. Грицук, А.П. Комов, Ю.В. Волков // Вісник Національного транспортного університету. – 2014. – Вип. 30. – С. 51-62.
 18. The Complex Application of Monitoring and Express Diagnosing for Searching Failures on Common Rail System Units / I.V. Gritsuk [et al.] // SAE Technical Paper. – 2018. – 2018-01-1773. – Mode of access: <https://doi.org/10.4271/2018-01-1773>.
 19. Research of vehicle control informative functioning capacity / I. Kuric [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 776. – Pp. 1-11. – Mode of access: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/776/1/012036>.
 20. Cognitive Model of the Internal Combustion Engine / V. Vychuzhanin [et al.] // SAE Technical Paper. – 2018. – 2018-01-1738. – Mode of access: <https://doi.org/10.4271/2018-01-1738>.

References:

1. Govorushchenko N.Ia., Varfolomeev V.N. *Tekhnicheskaja kybernetyka transporta: uchebnoe posobie* [Technical cybernetics of transport: a textbook]. Kharkov, KhNADU Publ., 2001. 271 p. (Rus.)
2. Atroshchenko V.A., Shevtsov Iu.D., Iatsynin P.V., D'iachenko R.A., Ped'ko M.N. *Tekhnicheskiye vozmozhnosti povyshenija resursa avtonomnykh elektrostantsyi enerhetycheskykh sistem: monografija* [Technical possibilities of hanging the resource of autonomous power plants of energy systems: monograph]. Krasnodar, Izdatel'skii Dom – Iug Publ., 2010. 192 p. (Rus.)
3. Mateichyk V.P., Volkov V.P., Komov P.B., Komov O.B., Hrytsuk I.V. Viktoristannia intelektual'nikh informatsiinih tekhnologii pozitsionuvannia dlia kontroliu teplovikh parametriv sistemi kombinovanogo progrivu DVZ transportnogo zasobu [Use of intelligent information technologies of positioning to control the thermal parameters of the combined heating system of the internal combustion engine Vehicle]. *Visnik ZhDTU. Seriya: Tekhnichni nauki – The Journal of ZSTU. Engineering*, 2012, no.3(62), pp. 136-141. (Ukr.)
4. Kadylnykova T.M. Monitorynh tekhnolohycheskoho sostoianya kak faktor obespecheniya bezavarynoi raboty [Monitoring of the technological state as a factor of ensuring trouble-free operation]. *Visnik Donbas'koï akademii budivnitstva i arkhitekturi. Tekhnologija, organizatsiia, mekhanizatsiia ta geodezichne zabezpechennia budivnitstva – Bulletin of the Donbas Academy of Civil Engineering and Architecture. Technology, organization, mechanization and geodetic support of construction*, 2002, no. 5(36), pp. 38-41. (Rus.)
5. Volkov V., Gritsuk I., Predko J. Tvir naukovo-praktychnoho kharakteru, svidotstvo pro reiestratsiiu avtorskoho prava na tvir № 64765 vid 04.04.2016. *Tekhnichni rehlement i rezultaty roboty*

- informatsiinoho prohramnoho kompleksu (produktu) MonDiaFor «HADI-15»» (monitoring, diagnosis, forecasting technical condition of the vehicle under ITS) pry zdiisnenni monitorynhu, diahnostuvannia, prohnouzuvannia parametriv tekhnichnoho stanu transportnoho zasobu v umovakh intelektualnykh transportnykh system» [Work of scientific and practical nature, certificate of copyright registration for the work № 64765 dated 04.04.2016. Technical regulations and results of the information software package (product) MonDiaFor «HADI-15» (monitoring, diagnosis, forecasting technical condition of the vehicle under ITS) in monitoring, diagnosing, forecasting the technical condition of the vehicle in terms of intelligent transport systems]. (Ukr.)*
6. Volkov V.P., Mateichik V.P., Komov P.B., Gritsuk I.V., Smeshek M., Volkova T.V., Tsiuman M.P. *Intelektualni systemy monitorynhu transportu: monohrafiia* [Intelligent transport monitoring systems: monograph]. Kharkiv, NTMT Publ., 2015. 246 p. (Ukr.)
 7. Gritsuk I., Gutarevych Y., Mateichyk V., Volkov V. Improving the Processes of Preheating and Heating after the Vehicular Engine Start by Using Heating System with Phase-Transitional Thermal Accumulator. *SAE Technical Paper*, 2016, 2016-01-0204. doi: 10.4271/2016-01-0204.
 8. Mateichyk V.P. Systemnyi pidkhid do analizu strukturnykh skhem enerhoustonovok transportnykh zasobiv [A systematic approach to the analysis of structural diagrams of vehicle power plants]. *Visnyk NTU «KhPI» – Bulletin of the National Technical University «KhPI»*, 2002, no. 7, vol. 2, pp.162-167. (Ukr.)
 9. Dmytrychenko M.F., Mateichyk V.P., Hryshchuk O.K., Tsiuman M.P. *Metody systemnoho analizu vlastyvostei avtomobilnoi tekhniki: navch. posib.* [Methods of system analysis of the properties of automotive technology: tutorial]. Kyiv, NTU Publ., 2014. 168 p. (Ukr.)
 10. Kuric I., Mateichyk V., Smieszek M., Tsiuman M., Goridko N., Gritsuk I. The peculiarities of monitoring road vehicle performance and environmental impact. MATEC Web of Conferences. Innovative Technologies in Engineering, 2018, vol. 244, pp. 1-7. doi: 10.1051/mateconf/201824403003.
 11. Mateichyk V.P., Volkov V.P., Komov P.B., Gritsuk I.V., Komov A.P., Volkov Yu.V. Osoblyvosti monitorynhu stanu transportnykh zasobiv z vykorystanniam bortovykh diahnostychnykh kompleksiv [Features of monitoring the condition of vehicles with the use of on-board diagnostic systems]. *Upravlinnia proektami, sistemni analiz i logistika – The National Transport University journal of Projects Management, System Analysis and Logistics*, 2014. no. 13, pp. 126-138. (Ukr.)
 12. Klets D., Gritsuk I., Makovetskyi A., Bulgakov N., Podrigalo M., Kyrychenko I., Volska O., Kyzminec N. Information Security Risk Management of Vehicles. *SAE Technical Paper*, 2018, 2018-01-0015. doi: 10.4271/2018-01-0015.
 13. Gritsuk I., Pohorletskyi D., Mateichyk V., Symonenko R., Tsiuman M., Volodarets M., Bulgakov N., Volkov V., Vychuzhanin V., Grytsuk Yu., Ahieiev M., Sadovnyk I. Improving the Processes of Thermal Preparation of an Automobile Engine with Petrol and Gas Supply Systems (Vehicle Engine with Petrol and LPG Supplying Systems). *SAE Technical Paper*, 2020, 2020-01-2031. doi: 10.4271/2020-01-2031.
 14. Volodarets M., Gritsuk I., Chygyryk N., Belousov E., Golovan A., Volska O., Hlushchenko V., Pohorletskyi D., Volodarets O. Optimization of Vehicle Operating Conditions by Using Simulation Modeling Software. *SAE Technical Paper*, 2019, 2019-01-0099. doi: 10.4271/2019-01-0099.
 15. Golovan A., Rudnichenko N., Rabinovich E., Gritsuk I., Zuiev V., Zenkin E., Zybtssev Yu., Volkov V., Volska O., Gerlici Ju., Kravchenko K. Evaluation of the Powertrain Condition Based on the Car Acceleration and Coasting Data. *SAE Technical Paper*, 2018, 2018-01-1771. doi: 10.4271/2018-01-1771.
 16. Volkov V.P., Hrytsuk I.V., Hrytsuk Yu.V., Volkov Yu.V. Strukturnyi pidkhid do rozrobky avtomatyzovanoi systemy zbyrannia danykh i monitorynhu parametriv tekhnichnoho stanu transportnoho zasobu [Structural approach to the development of an automated system for data collection and monitoring of parameters of the technical condition of the vehicle]. *Naukovii visnyk Khersons'koï derzhavnoi mors'koï akademii – The scientific bulletin of Kherson state maritime academy*, 2017, no. 1(16), pp. 132-143. (Ukr.)
 17. Volkov V.P., Gritsuk I.V., Komov A.P., Volkov Yu.V. Osoblyvosti monitorynhu i vyznachennia statusu nespravnostei transportnoho zasobu u skladi bortovoho informatsiino-diahnostychnoho kompleksu [Features of monitoring and determination of the status of vehicle malfunctions as part

- of the onboard information and diagnostic complex]. *Visnik Natsional'nogo transportnogo universitetu – The National Transport University Bulletin*, 2014, no. 30, pp. 51-62. (Ukr.)
18. Gritsuk I.V., Zenkin E.Y., Bulgakov N., Golovan A., Kuric I., Mateichyk V., Saga M., Vychuzhanin V., Symonenko R., Rabinovich E., Pavlenko V., Pohorletskyi D. The Complex Application of Monitoring and Express Diagnosing for Searching Failures on Common Rail System Units. *SAE Technical Paper*, 2018, 2018-01-1773. doi: **10.4271/2018-01-1773**.
 19. Kuric I., Gorobchenko O., Litikova O., Gritsuk I., Mateichyk V., Bulgakov M., Klackova I. Research of vehicle control informative functioning capacity. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 776, pp. 1-11. doi: **10.1088/1757-899X/776/1/012036**.
 20. Vychuzhanin V., Rudnichenko N., Shybaiev D., Gritsuk I., Boyko V., Shybaieva N., Golovan A., Zaharchuk V., Rabinovich E., Savchuk V., Zenkin E.Y. Cognitive Model of the Internal Combustion Engine, *SAE Technical Paper*, 2018, 2018-01-1738. doi: **10.4271/2018-01-1738**.

Рецензент: Є.В. Білоусов

д-р техн. наук, доц., Херсонська державна морська академія

Стаття надійшла 15.10.2021