

АНОТАЦІЯ

Вичужанін О.В. Стохастичні моделі та методи діагностики, оцінки та прогнозування технічного стану складних систем критичного застосування. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки. – Національний університет «Одеська політехніка», МОН України, Одеса, 2024.

У вступі обґрунтовано актуальність розробки стохастичних моделей, методів діагностики, оцінки та прогнозування технічного стану (ТС) складних систем критичного застосування (КЗ).

Показано, що зростання складності технічних систем транспорту, авіації, енергетики супроводжується зростанням вимог до їх ефективної експлуатації за умов невизначеності при дії непередбачуваних, несприятливих вражаючих факторів на обладнання та їх взаємні зв'язки. Ефективна експлуатація складних технічних систем (СТС) КЗ залежить від своєчасного виявлення та усунення відмов обладнання. Підвищення ефективності експлуатації СТС можливо шляхом використання інформаційних інтелектуальних систем (ІС), які дозволяють оцінювати, прогнозувати ТС за результатами діагностики з урахуванням повних та часткових відмов обладнання СТС.

Визначено: об'єкт, предмет, задачі та методи дослідження; наведено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів; висвітлено особистий внесок здобувача. Наведено інформацію про структуру та апробацію роботи, а також про публікації автора за темою дисертації.

У першому розділі дисертаційної роботи виконано аналіз моделей, методів діагностики, оцінки та прогнозування ТС складних систем КЗ та особливостей їх застосування при невизначеності в умовах експлуатації. СТС КЗ, з погляду інформаційних технологій, є ієрархічними структурами, та

містять численні функціональні підсистеми, компоненти, елементи та зв'язки між ними.

З результатів аналізу літературних джерел випливає, що відомі структурні моделі діагностики ТС складних систем враховують лише повні відмови працездатності, але не враховують часткові. Відомі методи оцінки та прогнозування ТС складних систем мають обмеження: зростання алгоритмічної та обчислювальної складності, необхідність складної попередньої обробки різноманітних даних. Перспективними методами моделювання для діагностування ТС є байєсовські мережі довіри (БМД), що використовуються з урахуванням невизначеностей, стохастичності характеру робочих процесів та неповних даних СТС, а також методи когнітивного імітаційного моделювання, що дозволяють оцінювати структурні та функціональні вразливості обладнання систем. В ПС перспективними методами оцінки та прогнозування ТС складних систем є методи міркування на основі прецедентів.

За результатами проведеного аналізу визначено мету та сформульовано задачі дослідження.

У **другому та третьому розділах** розроблено та досліджено стохастичні моделі і метод діагностики ТС обладнання складних систем КЗ для виявлення та візуалізації структурних, функціональних вразливостей підсистем, компонентів, елементів їх взаємних зв'язків для подальшої оцінки та прогнозування ризику їх відмов. Розробка концептуальної стохастичної моделі діагностики для її реалізації дозволила запропонувати метод діагностики ТС обладнання СТС на основі БМД.

Концептуальна стохастична модель діагностики ТС відображає новий підхід з урахуванням структури СТС з частковими чи повними відмовами обладнання, з урахуванням невизначеності та неповноти даних. Модель містить опис СТС у вигляді циклічного спрямованого графу, множину ризиків відмов (часткових або повних) підсистем, компонентів, елементів та зв'язків, що входять до структури СТС.

Сформульовано **перший пункт наукової новизни**: вперше запропоновано стохастичну модель діагностики ТС складних систем, яка одночасно враховує наявність підсистем, компонентів та елементів, їх взаємні зв'язки та ризик часткової або повної відмови працездатності, що дозволило запропонувати метод діагностики ТС на основі БМД для складних систем КЗ.

Для своєчасного виявлення та візуалізації структурних, функціональних вразливостей, спрямованих на підвищення ефективності експлуатації СТС КЗ, запропоновано метод діагностики ТС складної системи на основі БМД. Метод містить наступні етапи:

1. Побудова БМД на основі стохастичної моделі діагностики ТС складних систем.
2. Ініціалізація моделі - вилучення даних ризику відмов обладнання та їх взаємних зв'язків з бази OREDA.
3. Проведення дослідження моделюванням аварійних ситуацій. Головною метою є визначення причин відмов обладнання.
4. Виявлення та візуалізація структурних і функціональних вразливостей обладнання. Аналіз результатів моделювання.

Наведено результати досліджень визначення ймовірності (ризик) відмов обладнання СТС та їх взаємних зв'язків за 20000 годин експлуатації.

Сформульовано **другий пункт наукової новизни**: набув подальшого розвитку метод діагностики ТС складних систем на основі БМД, що дозволило своєчасно виявити та візуалізувати структурні, функціональні вразливості та підвищити ефективність експлуатації СТС КЗ.

Для діагностики ТС обладнання систем з урахуванням їх взаємного зв'язку та впливу, відстеження реакції систем на ризики відмов з неочевидними причинами розроблено когнітивну імітаційну модель (КІМ) діагностики ризиків відмов обладнання, використовуючи імітаційні вражаючі моделюючі імпульси. КІМ містить імпульсний вектор для дискретного часу, що задається співвідношенням зміни ваг вузлів та ребер орграфа, визначаючи

динаміку поширення вражаючих впливів по СТС. При моделюванні використовують вплив вражаючого моделюючого імпульсу на систему у варіантах, найбільш наближених до реальних умов експлуатації суднової СТС. Проведені дослідження показали, що розроблена КІМ відображає пряму залежність ТС обладнання СТС від її структури та дозволяє виявити найменш працездатне обладнання, функціонування якого суттєво впливає на працездатність, тобто на ефективність та надійність експлуатації системи.

Сформульовано **третій пункт наукової новизни**: удосконалена когнітивна імітаційна модель, яка застосовує імітаційні вражаючі імпульси, що дозволяє діагностувати ТС обладнання систем з урахуванням їх взаємного зв'язку та впливу.

У **четвертому розділі** розроблено метод оцінки та прогнозування ТС складної системи КЗ і модель прийому-передачі даних при діагностиці, оцінці та прогнозуванні ТС складних систем.

Вхідні дані методу міркувань на основі прецедентів для оцінки та прогнозування ТС складних систем: число та рівні відмов підсистем, компонентів, елементів та їх взаємних зв'язків; множина цілей та можливих альтернатив; сукупність характеристик, переваг, критеріїв забезпечення працездатності обладнання систем.

Етапи методу оцінки та прогнозування ТС складної системи КЗ такі:

1. Подання прецеденту у вигляді набору параметрів з конкретними значеннями та рішеннями.
2. Отримання даних оцінок та прогнозування ТС складної системи.
3. Формування рекомендацій для забезпечення ефективної експлуатації обладнання СТС.
4. Передача даних оцінок та прогнозування ТС складної системи особі, яка приймає рішення (ОПР).

При поданні прецеденту у вигляді набору параметрів з конкретними значеннями та рішеннями (оцінками, прогнозами ТС та рекомендаціями ОПР) враховано: параметри, що описують прецедент; оцінки ризику,

ймовірності відмов та оцінки збитків від відмов СТС; рекомендації ОПР; оцінки працездатності (часткової або повної); уточнені оцінки параметрів ТС СТС; уточнені прогнозовані значення параметрів ТС СТС; рішення, що прийняті ОПР та результати діагностики.

Сформульовано **четвертий пункт наукової новизни**: набув подальшого розвитку метод міркувань на основі прецедентів, що дозволило забезпечити оцінку та прогнозування ТС і підвищити працездатність складних систем КЗ.

Розроблена модель прийому-передачі даних діагностики, оцінки та прогнозування ТС складних систем КЗ забезпечує ефективність прийому-передачі даних при зменшенні надмірності інформації на етапах її обробки, максимального її захисту, мінімізації похибки.

Запропонована модель містить множину вимог та критеріїв, які характеризують: топологію; швидкодію; пропускну здатність; допустиму величину похибки прийому-передачі даних; ризик відмов пристроїв системи прийому-передачі даних; ефективність захисту інформації у системі.

Отриманий результат дозволив сформулювати **п'ятий пункт наукової новизни**: вперше розроблено модель прийому-передачі даних при діагностиці, оцінці та прогнозуванні ТС складних систем КЗ, яка враховує наявність множини суперечливих вимог та конкуруючих критеріїв, що дозволило знайти Парето-оптимальні розв'язки для забезпечення ефективності прийому-передачі даних.

У **п'ятому розділі** розроблено ПС оцінки та прогнозування ТС складних систем КЗ з використанням методу міркувань на основі прецедентів (CBR) та розроблено стратегію прийняття рішень щодо пошуку пошуку відмов обладнання на основі встановлених оцінок їх ТС.

Для перевірки працездатності було здійснено моделювання повного циклу функціонування ПС оцінювання, прогнозування ймовірності (ризик) відмов СТС на прикладі судових енергетичних установок. Отримані значення оцінок ймовірностей (ризиків) підсистем, компонентів, елементів та

їх взаємних зв'язків, що не суперечать експертним оцінкам, свідчать про ефективність діагностики, оцінки та прогнозування ТС складних систем, враховуючи повні та часткові відмови працездатності.

Врахування часткових (повних) відмов обладнання СТС КЗ дозволить приймати рішення, спрямовані на передвідмовне обслуговування систем, забезпечити працездатність, а, значить, підвищувати ефективність їх експлуатації. Послідовність прийняття рішень з використанням запропонованої ІС з СВР циклом, що враховує операції обробки та структуризації даних за прецедентами, в рамках функціонування розробленого ПЗ, забезпечує роботу ІС з неповною інформацією. Результати обчислення ефективності експлуатації СТС КЗ з урахуванням часткових відмов обладнання та проведення передвідмовного обслуговування його враховували, що ефективність визначається ймовірністю збереження працездатності системи. Результат не перевищує порогового значення ймовірності, при якій настає повна відмова СТС, що визначається з узагальненої функції бажаності Харрінгтона. Імовірність збереження СТС у працездатному стані збільшується на 3%.

Розроблені в роботі моделі, методи та їх застосування в ІС отримали впровадження у діяльності: судноплавної компанії Maersk (Данія); науковій діяльності та навчальному процесі Національного університету «Одеська політехніка».

У висновках сформульовано отримані в ході роботи над дисертацією науково-практичні результати.

Ключові слова: інформаційні технології, модель, метод, моделювання, алгоритм, програмне забезпечення, граф, інтелектуальна, мережі, діагностика, прогнозування, особа, яка приймає рішення, складна технічна система, суднова енергетична установка.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Вичужанін В.В., Рудніченко Н.Д., Вичужанін О.В., Юрченко М.О. Програмний додаток для автоматизації побудови моделі оцінок ризику відмов складних технічних систем. *Інформатика та математичні методи в моделюванні*. 2018. Т.8. №3. С. 200-208. URL: [http://immm.op.edu.ua/files/archive/n3_v8_2018/2018_3\(2\).pdf](http://immm.op.edu.ua/files/archive/n3_v8_2018/2018_3(2).pdf) (Реєстр наукових фахових видань України, категорія «Б»).

2. Вичужанін В.В., Рудніченко Н.Д., Вичужанін О.В. Мобільний додаток для моніторингу, діагностики та прогнозування ризику відмов компонентів складної технічної системи. *Інформатика та математичні методи в моделюванні*. 2018. Т.8. №4. С. 334-344. URL: <http://dspace.opu.ua/jspui/bitstream/123456789/8835/1/9.pdf> (Реєстр наукових фахових видань України, категорія «Б»).

3. Вичужанін В.В., Рудніченко Н.Д., Вичужанін О.В. Інформаційне забезпечення системи виявлення ризику відмов автомобільного обладнання. *Інформатика та математичні методи в моделюванні*. 2019. Т.9. №3. С.168-177. DOI: <https://doi.org/10.15276/imms.v9.no3.168>. (Реєстр наукових фахових видань України, категорія «Б»).

4. Вичужанін В.В., Рудніченко Н.Д., Вичужанін О.В., Козлов А.Ю. Програмне забезпечення автоматизації оцінки ризику відмов складних технічних систем. *Інформатика та математичні методи в моделюванні*. 2019. Т.9. №4. С. 315-323. DOI: <https://doi.org/10.15276/imms.v9.no4.315>. (Реєстр наукових фахових видань України, категорія «Б»).

5. Вичужанін В.В., Рудніченко Н.Д., Вичужанін О.В. Інтелектуальна система діагностики і прогнозування ризику відмов складних технічних систем. Інформаційні системи та технології. Стан та перспективи: монографія / Бармак О., Божаткін С. та ін; під нав. ред. проф. В.Вичужаніна.

- Одеса: НУ «ОМА», 2021. С.108 - 133. URL: <https://eir.nuos.edu.ua/bitstreams/ed5fcfb6-2e33-4d7b-8e65-ed14d8f8c258/download>.

6. Vychuzhanin Vladimir, Shibaeva Natalia, Rudnichenko Nickolay, Vychuzhanin Alexey. Optimization of data transmission system information parameters for complex technical system's state diagnosing. *Ceur-ws.org, CMIS-2021*. Vol. 2864, P. 445 – 454. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-2864/paper39.pdf>. (Indexed in SCOPUS).

7. Vychuzhanin Alexey. Intelligent system for assessing and forecasting the risk of failure of components of a complex technical system. *Informatics and Mathematical Methods in Simulation*. 2022. Vol. 12. No3. P. 154-161. DOI: <https://doi.org/10.15276/imms.v12.no3.154>. (Реєстр наукових фахових видань України, категорія «Б»).

8. Vychuzhanin Alexey. Intelligent system for supporting decision making for assessing the technical condition of complex systems. *Informatics and Mathematical Methods in Simulation*. 2023. Vol. 13. No3-4. P. 219-227. DOI: <https://doi.org/10.15276/imms.v13.no3-4.219>. (Реєстр наукових фахових видань України, категорія «Б»).

9. Vychuzhanin Vladimir, Shibaeva Natalia, Vychuzhanin Alexey, Rudnichenko Nickolay. Intellectualization Method and Model of Complex Technical System's Failures Risk Estimation and Prediction. *Ceur-ws.org, CMIS-2023*. Vol. 3392. P. 130 – 140. DOI: <https://doi.org/10.32782/cmisis/3392-11>. <https://ceur-ws.org/Vol-3392/paper11.pdf>. (Indexed in SCOPUS).

10. Vychuzhanin Vladimir, Rudnichenko Nickolay, Vychuzhanin Alexey, Rychlik Andrzej. Diagnosis Intellectualization of Complex Technical Systems. *Ceur-ws.org, ICST - 2023*. Vol. 3513. P. 352 – 362. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3513/paper29.pdf>. (Indexed in SCOPUS).

11. Vychuzhanin Alexey. Information Processing in Control and Decision-Making Systems. Problems and solutions. Section 5. Intellectual models and knowledge engineering technologies. Intelligent monitoring of the technical condition of complex systems. Обробка інформації в системах управління та

прийняття рішень. Проблеми та рішення. Монографія/Аксак Н. и др.; під наук. ред. проф. В.Вичужаніна – Одеса: НУ «ОМА», 2023. С. 212-232. URL: https://www.researchgate.net/publication/375665853_Information_processing_in_control_and_decision-making_systems_problems_and_solutions.

12. Vychuzhanin Vladimir, Vychuzhanin Alexey. Information Processing in Control and Decision-Making Systems. Problems and solutions. Diagnosis Intellectualization of complex technical systems. Обробка інформації в системах управління та прийняття рішень. Проблеми та рішення. Монографія / Аксак Н., Бобок І. и др.; під наук. ред. проф. В.Вичужаніна – Одеса: НУ «ОМА», 2023. С. 260-276. URL: https://www.researchgate.net/publication/375665853_Information_processing_in_control_and_decision-making_systems_problems_and_solutions.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

13. Вычужанин В.В., Вычужанин А.В. Когнитивно-импульсная модель оценки живучести сложных технических систем. *«Информационные управляющие системы и технологии» (ИУСТ ОДЕСА-2020)*. матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції. 2020. Одеса: Екологія. С. 219 - 224. URL: <http://icst-conf.com/2020.pdf>.

14. Вычужанин В.В., Вычужанин А.В. Интеллектуальная система оценок риска отказов сложных технических систем. *«Информационные управляющие системы и технологии» (ИУСТ-ОДЕСА-2021)*. Матеріали Х Міжнародної науково-практичної конференції. 2021. Одеса: Екологія. С. 87 - 91. URL: <http://icst-conf.com/2021.pdf>.

15. Vychuzhanin Vladimir, Vychuzhanin Alexey. Optimization of information parameters when diagnosing the state of a complex technical system. *VIII Міжнародна науково-практична конференція «Інформатика. Культура. Технології» ІКТ2021*, С. 22-23. URL: <https://drive.google.com/file/d/1YjTsi3p2jsOoZYuawr1wGFFPrpTW8K0z/view>.

16. Vychuzhanin Alexey. Decision support system for assessment and prediction of the technical condition of complex systems. Збірник тез доповідей. *II Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції. «Інновації та перспективні шляхи розвитку інформаційних технологій» (ІПШПІТ-2023)*. 6 грудня 2023 р. м. Черкаси. С.204-205. URL: https://drive.google.com/file/d/1f0cc_HaFDH4G3AI_NfwqfTjaMjyWBvkc/view.

17. Vychuzhanin Alexey. Intellectualization model of complex technical system's failures risk estimation. Сучасні інформаційні технології та системи в управлінні Збірник матеріалів *IV Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, аспірантів і студентів (Інтернет-конференція)* Київ. 20–21 квітня 2023. С.135-137.

18. Vychuzhanin Alexey. Intelligent decision support system for assessing the risk of failures of complex technical systems. *VI International scientific and practical conference «Modeling, control and information technologies»*, Rivne, November 9-11. 2023. С.181 – 183. DOI:<https://doi.org/10.31713/MCIT.2023.055>

19. Vychuzhanin Alexey. Program evaluation and prediction of the risk of failure of the components of a complex technical system. *Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології – 2023, IX міжнародна науково-практична конференція молодих учених, аспірантів і студентів АКІТ – 2023*, Київ. 19 квітня 2023 р. С. 81-82. URL: <https://tpza.kpi.ua/conferences/proceedings/AKIT-2023.pdf>.

20. Vychuzhanin Alexey. Model for assessing the risk of failure of components of complex technical systems. *XXIII Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених, аспірантів та студентів «Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій»*. Матеріали конференції. Одеса 20-21 квітня 2023 р. С. 43-45. URL: https://ontu.edu.ua/download/konfi/2023/Conference_abstract-IT-21-22-04-23.pdf.

21. Vychuzhanin Alexey. Intellectualization of technical condition assessment of ship complex systems. *XI International Scientific and Practical*

Conference "Information Control Systems & Technologies (ICST-2023). 2023. С.124-130. URL: <http://icst-conf.com/2023.pdf>.

22. Vychuzhanin A. Application of precedent technology to support decision-making to ensure the efficiency of complex technical systems. *I (VII) міжнародна науково-практична конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених «Інформаційні технології: теорія і практика»*. Тези доповідей. Дніпро 20 – 22 березня 2024 р. С. 165-167. URI: <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/166565>.

ABSTRACT

Vychuzhanin O.V. Stochastic models and methods of diagnostics, assessment and forecasting of technical state of complex systems of critical application. - Qualification scientific work on the rights of manuscript.

Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy in Computer Science, Specialization 122 – Computer Science. – Odessa Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Odesa, 2024.

The introduction substantiates the relevance of developing stochastic models, methods of diagnostics, assessment and forecasting of the technical condition (TC) of complex systems of critical application (CA).

It is shown that the growing complexity of technical systems of transport, aviation, and energy is accompanied by increasing requirements for their efficient operation under conditions of uncertainty when unpredictable, unfavourable impact factors affect the equipment and their interconnections. Efficient operation of complex technical systems (CTS) of CA depends on timely detection and elimination of equipment failures. Increasing the efficiency of CTS operation is possible by using information intelligent systems (IIS), which allow assessing and predicting the TC based on the results of diagnostics, taking into account complete and partial failures of CTS equipment.

The object, subject, objectives and methods of the study are defined; the scientific novelty and practical significance of the results are presented; the personal contribution of the applicant is highlighted. Information is provided on the structure and testing of the work, as well as on the author's publications on the topic of the dissertation.

In the first section of the dissertation, an analysis of models, methods for diagnosing, assessing and predicting the TC of complex short-circuit systems and the features of their application under uncertainty in operating conditions was carried out. CTS of CA from the point of view of information technology, are

hierarchical structures and contain numerous functional subsystems, components, elements and connections between them.

From the results of the analysis of literary sources it follows that the known structural models for diagnosing the TC of complex systems take into account only complete failures of performance, but do not take into account partial ones. Known methods for assessing and predicting the TC of complex systems are limited: the growth of algorithmic and computational complexity, the need for complex pre-processing of various data. Promising modeling methods for diagnosing vehicle systems are Bayesian Belief Network (BBN), used taking into account uncertainties, the stochastic nature of work processes and incomplete vehicle data systems, as well as cognitive simulation modeling methods that allow assessing the structural and functional vulnerabilities of system equipment. In IIS, promising methods for assessing and predicting the TC of complex systems are reasoning methods based on precedents.

Based on the results of the analysis, the goals and objectives of the study were determined.

In the second and third sections, stochastic models and a method of diagnostics of TC equipment of complex systems of CA were developed and studied to identify and visualize structural and functional vulnerabilities of subsystems, components, and elements of their mutual connections for further assessment and prediction of the risk of their failures. The development of a diagnostic model for its implementation made it possible to propose a method of diagnosis of the TC of CTS equipment based on BBN.

The conceptual stochastic model reflects a new approach taking into account the structure of CTS with partial or complete equipment failures, taking into account uncertainty and incompleteness of data. The model provides risk diagnostics for partial and complete failures of system equipment and contains a description of the CTS in the form of a cyclic directed graph, a set of risks of failures (partial or complete) of subsystems, components, elements and connections included in the structure of the CTS.

The first point of scientific novelty was formulated: for the first time, a stochastic model of vehicle diagnosis of complex systems was proposed, which simultaneously takes into account the presence of subsystems, components and elements, their mutual relationships and the risk of partial or complete failure, which made it possible to propose a vehicle diagnosis method based on BBN for complex critical application systems.

For the timely detection and visualization of structural and functional vulnerabilities, aimed at increasing the efficiency of operation CTS of CA, a method for diagnosing complex systems based on BBN is proposed. The method includes the following stages:

1. Construction of the BBN based on the stochastic model of complex system diagnostics.
2. Initialization of the model - extraction of equipment failure risk data and their mutual relationships from the OREDA database.
3. Conducting research by modeling emergency situations. The main goal is to determine the causes of equipment failures.
4. Identification and visualization of structural and functional vulnerabilities of the equipment. Analysis of simulation results.

The results of research on determining the probability (risk) of CTS equipment failures and their mutual connections for 20,000 hours of operation are given.

The second point of scientific novelty was formulated: the method of diagnosing complex systems based on BBN was further developed, which made it possible to timely identify and visualize structural and functional vulnerabilities and increase the efficiency of operation of critical application CTS.

A cognitive simulation model (CSM) for diagnosing the risks of equipment failures has been developed for the diagnosis of TC of system equipment, taking into account their mutual connection and influence, tracking the response of systems to the risks of failures with non-obvious reasons, using simulated striking modeling pulses. CSM contains an impulse vector for a discrete time, which is

given by the ratio of changes in the weights of nodes and edges of the digraph, determining the dynamics of the spread of impressive influences along the CTS.

In the simulation, the effect of a striking modeling pulse on the system is used in the variants closest to the real operating conditions of the CTS. The conducted studies showed that the developed CSM reflects the direct dependence of the TC equipment of the CTS on its structure and allows to identify the least efficient equipment, the functioning of which significantly affects the efficiency, that is, the efficiency and reliability of the system operation.

The third point of scientific novelty is formulated: an improved cognitive simulation model that uses simulated impressive impulses, which allows diagnosing the TC of system equipment taking into account their mutual connection and influence.

In the fourth section, a method of evaluating and forecasting TC of a complex system of critical application and a model of data reception and transmission during diagnosis, evaluation and forecasting of TC of complex systems were developed.

Output data of the method of reasoning based on precedents for evaluating and predicting TC of complex systems: the number and levels of failures of subsystems, components, elements and their mutual connections; set of goals and possible alternatives; a set of characteristics, advantages, criteria for ensuring the functionality of system equipment.

The stages of the method of evaluation and forecasting of TC of a complex critical application system are as follows:

1. Presentation of a precedent in the form of a set of parameters with specific values and solutions.
2. Obtaining assessment data and forecasting of complex system vehicles.
3. Formation of recommendations to ensure effective operation of CTS equipment.
4. Transfer of assessment data and TC forecasting of a complex system to a decision-maker (DM).

When presenting a precedent in the form of a set of parameters with specific values and solutions (estimates, TC forecasts and DM recommendations), the following parameters are taken into account: parameters describing precedent, risk assessments, probability of failures and estimates of losses from CTS failures, DM recommendations, performance assessments (partial or full), refined estimations of CTS vehicle parameters, specified predicted values of CTS vehicle parameters, decisions made by the DM and diagnostic results.

The fourth item of scientific novelty was formulated: the method of reasoning based on precedents was further developed, which made it possible to provide evaluation and forecasting of TC and increase the performance of complex short-circuit systems.

The developed model of data reception and transmission of diagnostics, assessment and forecasting of complex systems of critical applications ensures the efficiency of data reception and transmission while reducing the redundancy of information at the stages of its processing, maximizing its protection, and minimizing errors.

The proposed model contains a set of requirements and criteria that characterize: topology, speed, bandwidth, permissible error value of data reception and transmission, risk of device failures of the data reception-transmission system, effectiveness of information protection in the system.

The obtained result made it possible to formulate **the fifth point of scientific novelty**: for the first time, a data reception-transmission model was developed for the diagnosis, evaluation and forecasting of complex systems of critical applications, which takes into account the presence of a set of conflicting requirements and competing criteria, which made it possible to find Pareto-optimal solutions to ensure the efficiency of reception - data transmission.

In the fifth section, IIS is developed for evaluating and forecasting TCs of complex critical application systems using the method of case-based reasoning (CBR) and developing a decision-making strategy for finding equipment failures based on established evaluations of their TCs.

In order to check the performance, a simulation of the full cycle of the IIS evaluation, prediction of the probability (risk) of CTS failures was carried out using the example of ship power plants. The obtained values of probabilities (risks) of subsystems, components, elements and their mutual relations, which do not contradict expert assessments, testify to the effectiveness of diagnostics, evaluation and forecasting of complex systems, taking into account complete and partial failures.

Accounting for partial (full) failures of CTS equipment of critical use will allow making decisions aimed at pre-failure maintenance of systems, ensuring operability, which means increasing the efficiency of their operation. The decision-making sequence using the proposed IIS with a CBR cycle, which takes into account the operations of data processing and structuring according to precedents within the framework of the functioning of the developed software, ensures the operation of the IIS with incomplete information. The results of the calculation of the efficiency of the CTS short-circuit operation, taking into account the partial failures of the equipment and its pre-failure maintenance, took into account that the efficiency is determined by the probability of maintaining the system's operability. The result does not exceed the threshold value of the probability at which complete failure of the CTS occurs, which is determined from the generalized Harrington desirability function. The probability of keeping the CTS in working condition increases by 3%.

The models, methods and their application in IIS developed in the work were implemented in the activities of: shipping company Maersk (Denmark); scientific activity and educational process of the National University "Odesa Polytechnic".

The **scientific and practical results** obtained during the work on the dissertation are formulated in the conclusions.

Keywords: information technologies, model, method, modeling, algorithm, software, graph, intelligent, measurements, diagnostics, forecasting, decision maker, complex technical system, ship power plant.

LIST OF PUBLISHED PAPERS ON THE TOPICS OF THE DISSERTATION

Papers in which the main scientific results of the dissertation are published:

1. Vychuzhanin V.V., Rudnichenko N.D., Vychuzhanin O.V., Yurchenko M.O. A software application for automating the construction of a model of failure risk assessments of complex technical systems. *Informatics and mathematical methods in modeling*. 2018. T.8. No. 3. P. 200-208. URL: [http://immm. Op. edu. u /files/archive/n3_ v 8_2018/2018_3\(2\)](http://immm.op.edu.ua/files/archive/n3_v8_2018/2018_3(2).pdf). Pdf. (Register of scientific and professional publications of Ukraine, category "B").

2. Vychuzhanin V.V., Rudnichenko N.D., Vychuzhanin O.V. A mobile application for monitoring, diagnosing and forecasting the risk of failure of components of a complex technical system. *Informatics and mathematical methods in modeling* . 2018. T.8. No. 4. P. 334-344. URL: [http://dspace.opu.ua/ jspui / bitstream /123456789/8835/1/9.pdf](http://dspace.opu.ua/jspui/bitstream/123456789/8835/1/9.pdf). (Register of scientific and professional publications of Ukraine, category "B").

3. Vychuzhanin V.V., Rudnichenko N.D., Vychuzhanin O.V., Kozlov A.Yu. Information support of the system for identifying the risk of automotive equipment failures. *Informatics and mathematical methods in modeling*. 2019. T.9. No. 3. P.168-177. DOI: [https:// doi. org / 10.15276/ imms. v 9. no. 3.168](https://doi.org/10.15276/imms.v9.no.3.168). (Register of scientific and professional publications of Ukraine, category "B").

4. Vychuzhanin V.V., Rudnichenko N.D., Vychuzhanin O.V., Kozlov A.Yu. Software for automating risk assessment of complex technical systems. *Informatics and mathematical methods in modeling*. 2019. T.9. No. 4. P. 315-323. DOI: [https://doi. org /10.15276/ imms. v 9. no. 4.315](https://doi.org/10.15276/imms.v9.no.4.315). (Register of scientific and professional publications of Ukraine, category "B").

5. Vychuzhanin V.V., Rudnichenko N.D., Vychuzhanin O.V. An intelligent system for diagnosing and predicting the risk of failure of complex technical systems. *Informational systems and technologies. Status and prospects: a*

monograph/ O. Barmak, S. Bojatin, etc.; p id on ed. Prof. V. Vychuzhanin - Odesa: NU "OMA", 2021. P.108 - 133. URL: <https://eir.nuos.edu.ua/bitstreams/ed5fcfb6-2e33-4d7b-8e65-ed14d8f8c258/download>.

6. Vychuzhanin Vladimir, Shibaeva Natalia, Rudnichenko Nickolay , Vychuzhanin Alexey. Optimization of data transmission system information parameters for complex technical system's state diagnosing. *From eur-ws.org, CMIS-2021*. Vol. 2864, P. 445 – 454. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-2864/paper39.pdf>. (Indexed in SCOPUS).

7. Vychuzhanin Alexey. Intelligent system for assessing and forecasting the risk of failure of components of a complex technical system. *Informatics and Mathematical Methods in Simulation*. 2022. Vol. 12. No. 3. P. 154-161. DOI:<https://doi.org/10.15276/imms.v12.no3.154>. (Register of scientific and professional publications of Ukraine, category "B").

8. Vychuzhanin Alexey. Intelligent system for supporting decision making for assessing the technical condition of complex systems. *Informatics and Mathematical Methods in Simulation*. 2023. Vol. 13. No. 3-4. P. 219-227. (Register of scientific and professional publications of Ukraine, category "B").

9. Vychuzhanin Vladimir, Shibaeva Natalia, Vychuzhanin Alexey, Rudnichenko Nickolay. Intellectualization Method and Model of Complex Technical System's Failures Risk Estimation and Prediction. *With eur - ws. org, CMIS -2023*. Vol. 3392. P. 130 – 140. DOI: <https://doi.org/10.32782/cmris/3392-11>. <https://ceur-ws.org/Vol-3392/paper11.pdf>. (Indexed in SCOPUS).

10. Vychuzhanin Vladimir, Rudnichenko Nickolay, Vychuzhanin Alexey, Rychlik Andrzej Diagnosis Intellectualization of Complex Technical Systems. *With eur - ws. org, ICST-2023*. Vol. 3513. P. 352 – 362. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3513/paper29.pdf>. (Indexed in SCOPUS).

11. Vychuzhanin Alexey. Information Processing in Control and Decision-Making Systems. Problems and solutions. Section 5. Intellectual models and knowledge engineering technologies. Intelligent monitoring of the technical condition of complex systems. Processing information in systems management and

adoption decisions. Problems and solutions. Monograph /Aksak N., and others; of science ed. Prof. In Vychuzhanina - Odesa: NU" OMA", 2023 - 358 p . P. 212-232. URL:https://www.researchgate.net/publication/375665853_Information_processing_in_control_and_decision-making_systems_problems_and_solutions.

12. Vychuzhanin Vladimir, Vychuzhanin Alexey. Information Processing in Control and Decision-Making Systems. Problems and solutions. Diagnosis Intellectualization of complex technical systems. Processing information in systems management and adoption decisions Problems and solutions. Monograph /Aksak N., Bobok I. and others; of science ed. Prof. In Vychuzhanina - Odesa: NU " OMA", 2023. P.260-276. URL: https://www.researchgate.net/publication/375665853_Information_processing_in_control_and_decision-making_systems_problems_and_solutions.

Papers certifying the approbation of the dissertation materials:

13. Vychuzhanyn V.V., Vychuzhanyn A.V. Cognitive impulse model of assessing the survivability of complex technical systems. *"Informative control systems and technologies" (ICST Odesa-2020)*. Materials of the IX st International Scientific and Practical Conference. 2020. Odesa: Ecology. P. 219 - 224. URL: <http://icst-conf.com/2020.pdf>.

14. Vychuzhanyn V.V., Vychuzhanyn A.V. An intelligent system of failure risk assessments of complex technical systems. *"Information management systems and technologies" (ICST-ODESA-2021)*. Materials of the 10th International Scientific and Practical Conference. 2021. Odesa: Ecology. P. 87 - 91. URL : <http://icst-conf.com/2021.pdf>.

15. Vychuzhanin Vladimir, Vychuzhanin Alexey. Optimization of information parameters when diagnosing the state of a complex technical system. *VIII International scientific and practical conference "Informatics. Culture. Technologies". ICT2021* , P. 22-23. URL: <https://drive.google.com/file/d/1YjTsi3p2jsOoZYyawr1wGFFPrpTW8K0z/view>.

16. Vychuzhanin Alexey. Decision support system for assessment and prediction of the technical condition of complex systems. Collection theses reports . *II International scientific and practical Internet conferences. "Innovations and promising ways development informative of technologies" (IPSHRIT -2023)*. December 6, 2023. m. Cherkasy. P.204-205. URL: https://drive.google.com/file/d/1f0cc_HaFDH4G3AI_NfwqfTjaMjyWBvkc/view.

17. Vychuzhanin Alexey. Intellectualization model of complex technical system 's failures risk estimation. Modern information technologies and systems in management. Collection of materials of *the 1st and 5th international scientific and practical conference of young scienticts, graduate students and students (Internet conference)*. Kyiv. April 20–21, 2023. P.135-137.

18. Vychuzhanin Alexey. Intelligent decision support system for assessing the risk of failures of complex technical systems. *VI International scientific and practical conference "Modelling, control and information technologies"*, Rivne, November 9-11. 2023. P.181–183. DOI: <https://doi.org/10.31713/MCIT.2023.055>.

19. Vychuzhanin Alexey. Program evaluation and prediction of the risk of failure of the components of a complex technical system. *Automation and computer-integrated technologies - 2023, IX international scientific and practical conference of young scientiCTS, postgraduates and students of AKIT - 2023*, Kyiv. April 19, 2023, P. 81-82. URL: <https://tpza.kpi.ua/conferences/proceedings/AKIT-2023.pdf>.

20. Vychuzhanin Alexey. Model for assessing the risk of failure of components of complex technical systems. *XXIII All-Ukrainian scientific and technical conference of young scientiCTS, graduate students and students "State, achievements and prospects of information systems and technologies"*. Materials of the conference. Odesa, April 20-21, 2023, P. 43-45. URL: https://ontu.edu.ua/download/konfi/2023/Conference_abstract-IT-21-22-04-23.pdf.

21. Vychuzhanin Alexey. Intellectualization of technical condition assessment of ship complex systems. *XI International Scientific and Practical*

Conference "Information Control Systems & Technologies (ICST-2023)". 2023. P.124-130. URL: <http://icst-conf.com/2023.pdf>.

22. Vychuzhanin A. Application of precedent technology to support decision-making to ensure the efficiency of complex technical systems. *I (VII) international scientific and practical conference of higher education graduates and young scientists "Information technologies: theory and practice". Abstracts of reports (Dnipro, March 20-22, 2024). P. 165-167. URI: <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/166565>.*