

Український державний університет залізничного транспорту
Міністерство освіти і науки України

Український державний університет залізничного транспорту
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ОБОЗНИЙ ОЛЕКСАНДР МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 629.4.083

ДИСЕРТАЦІЯ

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕДРЕЙСОВОЇ ПІДГОТОВКИ ЛОКОМОТИВІВ НА ОСНОВІ ЕЛЕКТРОННОГО ПАСПОРТУ

05.22.07 – Рухомий склад залізниць та тяга поїздів
27 – Транспорт

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.



О.М. Обозний

Науковий керівник

ПУЗИР Володимир Григорович,
доктор технічних наук, професор

Харків – 2021

АНОТАЦІЯ

Обозний О.М. Удосконалення процесів передрейсової підготовки локомотивів на основі електронного паспорту. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.22.07 – «Рухомий склад залізниць та тяга поїздів» (273 – Залізничний транспорт). – Український державний університет залізничного транспорту, МОН України, Харків, 2021.

Дисертація присвячена питанню удосконалення процесів передрейсової підготовки локомотивів. З цією метою пропонується розробка і впровадження електронного паспорту, що міститиме дані про фактичний технічний стан локомотивів та їх вузлів.

В роботі проведений аналіз безпеки руху та несправностей основного обладнання локомотивів, який показав, що щорічно близько 75% транспортних подій стається через відмову вузлів локомотива на шляху прямування. Відзначено, що основна причина відмов – недостатня увага до технічного стану локомотива перед виходом в рейс.

Було розроблено структурну модель електронного паспорту та інформаційну модель процесу передрейсової підготовки локомотива із застосуванням електронного паспорту. У роботі було розроблено математичну модель та запропоновано стратегії управління ризиками в експлуатації із застосуванням електронного паспорту. Показником, що характеризує надійну роботу локомотивів в експлуатації запропоновано використовувати коефіцієнт можливості виконання рейсу.

Інтерполяційна формула для визначення коефіцієнта можливості виконання рейсу отримана в результаті повного факторного експерименту.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у вирішенні наукового завдання удосконалення процесів передрейсової підготовки на основі

електронного паспорту з урахуванням ризиків процесу експлуатації та запропонованого критерію можливості виконання рейсу локомотивом.

Вперше:

- на основі теорії мереж Петрі запропоновано метод передрейсової підготовки локомотивів із застосуванням електронного паспорту, який забезпечує визначення його фактичного технічного стану перед виходом в рейс;

- розроблено математичну модель управління ризиками втрат в процесі експлуатації та запропоновано критерій для визначення можливості виконання рейсу локомотивом, який враховує вплив експлуатаційних факторів на зміну технічних параметрів вузлів локомотива;

- запропоновано математичну модель технічного стану локомотива, яка у реальному часі враховує зміни технічних параметрів його вузлів та їх взаємозв'язок в процесі експлуатації, та дозволяє сформувати структурну схему його електронного паспорту;

Знайшов подальший розвиток:

- метод отримання залежності коефіцієнта можливості виконання рейсу для різних поєднань експлуатаційних факторів, який, на відміну від існуючих, дозволяє оцінити зміну фактичного технічного стану локомотива після виконання конкретного рейсу.

Удосконалено:

- модель математичного опису процесу передрейсової підготовки як одноканальної системи масового обслуговування з неоднорідними потоками, яка, на відміну від існуючих, дозволяє зробити вибір рейсу, в процесі виконання якого не станеться відмови локомотива.

Практичне значення роботи полягає у використанні результатів дослідження на підприємствах АТ “Укрзалізниця”. Запропоновані заходи дозволяють зменшити витрати часу на проведення передрейсової підготовки локомотивів, оперативно відстежувати стан локомотива перед виходом в

рейс. Крім того ці результати слугують для прогнозування технічного стану локомотивів в експлуатації та дозволяють зменшити кількість відмов локомотивів на шляху прямування.

Результати досліджень впроваджено в навчальний процес Українського державного університету залізничного транспорту з підготовки бакалаврів і магістрів за освітньою програмою “Локомотиви та локомотивне господарство” спеціальності “Залізничний транспорт”.

За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 22 наукових праці, з яких: 8 наукових статей у фахових виданнях, затверджених МОН України, та 3 статті у виданнях інших держав (три статті включені до наукометричної бази Scopus); 8 праць апробаційного характеру; три додаткових праці.

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульована мета дослідження, розкрито її наукова новизна та практичне значення одержаних результатів, подано загальну характеристику роботи.

У першому розділі проведено аналіз безпеки руху та несправностей основного обладнання локомотивів на залізницях України. Аналіз показує, що більшість транспортних подій (близько 75%) стається через відмову обладнання на шляху прямування. Передумови виникнення несправностей відносять за неякісним деповським і заводським ремонтом та технічними причинами. Однак, основною причиною відмов вузлів локомотивів в експлуатації є те, що при відправленні локомотива в рейс недостатня увага приділяється визначенню його фактичного технічного стану.

Основним недоліком існуючої системи управління технічним обслуговуванням, поточними ремонтами і передрейсовою підготовкою є те, що локомотиви однієї серії розглядаються як однотипні, з однаковими характеристиками і властивостями. Однак, кожен локомотив та його вузли мають індивідуальні властивості і зношуються не однаково.

Велика частка відмов вузлів локомотивів на шляху прямування вимагає більшої уваги до підготовки локомотивів перед виходом в рейс та

спостереження за його станом в експлуатації. Перед випуском локомотива на лінію необхідно переконатися в тому, що його технічний стан дозволяє здійснити рейс. Це стосується як локомотивів, що експлуатуються довгий час, так і нових локомотивів, що надходять на підприємства АТ “Укрзалізниця”. Інформація про технічний стан може бути отримана від бортових та стаціонарних засобів технічного діагностування. Аналіз цих даних, визначення рівня надійності локомотива та його спроможності провести поїзд є невід’ємною частиною передрейсової підготовки.

Постає задача удосконалення процесів передрейсової підготовки локомотивів, вирішення якої дозволить підвищити надійність локомотивів в експлуатації, зменшити витрати на непланові ремонти, обирати оптимальні режими експлуатації тягового рухомого складу.

У другому розділі проводилось розроблення структурної моделі електронного паспорту локомотива. Можливості сучасних інформаційних технологій дозволяють проводити збирання, зберігання та обробку великого об’єму даних, що недоступно при ручній технології.

Для врахування індивідуальних властивостей окремого локомотива при виконанні передрейсової підготовки пропонується застосовувати електронний паспорт локомотива, який представляє собою базу даних локомотивів та їх вузлів. При цьому локомотив розглядається як об’єкт, що має певні властивості і приймає участь у певних подіях. Кожен вузол також розглядається як окремий об’єкт зі своїми властивостями і подіями. Настання певної події призводить до зміни стану локомотива або вузла, що обов’язково відображається в електронному паспорті та призводить до оновлення бази даних. Наповнення бази даних електронного паспорту відбувається через засоби технічного діагностування (переносні, стаціонарні, вбудовані), а при їх відсутності – вручну.

У третьому розділі проводилось розроблення моделі процесу передрейсової підготовки локомотивів із застосуванням електронного

паспорту. Задачею передрейсової підготовки локомотивів є визначення можливості конкретного локомотива провести поїзд відомої ваги по ділянці відомого профілю і довжини. Тобто необхідно визначити, чи дозволяє фактичний технічний стан локомотива виконати конкретний рейс.

Дані про рейс від чергового по депо порівнюються з поточними властивостями локомотива і його вузлів і визначається значення коефіцієнту можливості виконання локомотивом рейсу без відмови обладнання, а також формується технологічний процес передрейсової підготовки.

Електронний паспорт дозволяє автоматизувати обробку та аналіз результатів технічного діагностування, а також розробку технологічного процесу передрейсової підготовки. При застосуванні електронного паспорта локомотива очікується зменшення кількості відмов вузлів локомотивів на шляху прямування, оскільки виключається можливість відправки локомотива в рейс, якщо технічні параметри його вузлів не задовільняють вимогам нормативної документації.

В четвертому розділі розроблені моделі використано для формування інформаційної системи, яка може бути інтегрована з автоматизованими робочими місцями в депо.

У якості практичної реалізації було запропоновано програмне забезпечення електронного паспорта, яке можливо інтегрувати з АРМ чергового по депо для аналізу стану та підбору локомотивів для відправлення в рейс.

З 2017 року в 12 локомотивних депо проводилась апробація електронної паспортизації об'єктів локомотивного господарства, у тому числі локомотивів. Було розроблено відповідне програмне забезпечення. Досвід впровадження електронних паспортів показує, що обробка результатів електронною системою дозволяє прискорити формування технічної документації, підвищити ефективність праці, скоротити час проведення операцій.

Застосування електронного паспорту локомотива в процесі передрейсової підготовки дозволяє отримати економічний ефект з наростаючим підсумком за розрахунковий період 2022 – 2026 роки складатиме 7472,080 тис. грн. Економічний ефект досягається за рахунок зменшення витрат на заробітну плату, на технічне обслуговування та передрейсову підготовку, а також витрат, пов'язаних із відмовою локомотивів на шляху прямування, із затримкою поїзда, викликом допоміжного локомотива та проведенням непланового ремонту.

Ключові слова: електронний паспорт локомотива, передрейсова підготовка, фактичний технічний стан локомотива, коефіцієнт можливості виконання рейсу, управління ризиками

ABSTRACT

Obozny O.M. Improvement of locomotives pre-route preparation processes based on the electronic passport. – Qualification scientific work – manuscript copyright.

Thesis for a Candidate Degree in Technical Sciences (Ph.D. – Doctor of Philosophy) in Specialty 05.22.07 – The railways rolling stock and trains traction (273 – Transport). – Ukrainian State University of Railway Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2021.

The thesis deals with the issue of improving the processes of pre-route preparation of locomotives. To this end, it is proposed to develop and implement an electronic passport that will contain data on the actual technical condition of locomotives and their components.

The analysis of traffic safety and malfunctions of the main equipment of locomotives is carried out in the work, which showed that annually about 75% of transport events occur due to failure of locomotive units on the route. It is noted

that the main reason for failures is insufficient attention to the technical condition of the locomotive before departure to the route.

A structural model of the electronic passport and an information model of the process of pre-route preparation of the locomotive with the use of the electronic passport were developed. A mathematical model was developed in the work and strategies for risk management in exploitation using an electronic passport were proposed. As an indicator that characterizes the reliable work of locomotives in exploitation the coefficient of route execution possibility is proposed to use. The interpolation formula for determining the coefficient of route execution possibility is obtained as a result of a complete factorial experiment.

The scientific novelty of the dissertation work is in solving the research problem of improvement of pre-route preparation processes on the basis of the electronic passport, taking into account the risks of the operation process and the proposed criterion of route execution possibility by a locomotive.

For the first time:

- based on the theory of Petri nets, a method of pre-route preparation of locomotives with the use of the electronic passport is proposed, which provides determination of its actual technical condition before departure;

- the mathematical model of management of risks of losses in the course of operation is developed and the criterion for definition of possibility of route execution by a locomotive which considers influence of operational factors on change of technical parameters of locomotive nodes;

- a mathematical model of the technical condition of the locomotive is proposed, which in real time takes into account changes in the technical parameters of its components and their relationship during operation, and allows to form a block diagram of its electronic passport;

Found further development:

- the method of obtaining the dependence of the coefficient of the route execution possibility for different combinations of operational factors, which, in

contrast to the existing ones, allows to estimate the change in the actual technical condition of the locomotive after a particular route.

Improved:

- model of mathematical description of the process of pre-route preparation as a single-channel queuing system with inhomogeneous flows, which, in contrast to the existing ones, allows to make a choice of the route, in the process of which the locomotive will not fail.

The practical significance of the work consists in the use of research results at the enterprises of JSC "Ukrzaliznytsia". The proposed measures allow to reduce the waste of time for pre-route preparation of locomotives, to monitor promptly the condition of the locomotive before departure to the route. In addition, these results are used to predict the technical condition of locomotives in exploitation and reduce the number of failures of locomotives on the route.

The research results were introduced into the educational process of the Ukrainian State University of Railway Transport for the preparation of bachelors and masters in the educational program "Locomotives and locomotive economy" specialty "Railway Transport".

The content of the thesis was revealed 13 scientific publications, including: 10 scientific articles in professional journals approved by the Ministry of Education and Science of Ukraine, and 3 articles in publications of other countries (three articles are included in the scientometric database Scopus); 4 publications of approbation character; four additional publications.

In the introduction the relevance of the dissertation topic is substantiated, the purpose of the research is formulated, research's scientific novelty and practical significance of the obtained results are revealed, the general characteristic of the work is given.

In the first chapter the analysis of traffic safety and malfunctions of the main equipment of locomotives on the railways of Ukraine is carried out. The analysis shows that the majority of traffic events (about 75%) occur due to units failure on

the route. Prerequisites for malfunctions are attributed to poor repairs of locomotives in depot and on factory and technical reasons. However, the main reason for the failure of locomotive units in exploitation is insufficient attention to determining actual technical condition of locomotive before sending it to route.

The main disadvantage of the existing management system for maintenance, repairs and pre-route preparation is that the locomotives of one series are considered to be the same type and have the same characteristics and properties. However, each locomotive and its units have individual properties and wear differently.

The task is to improve the processes of pre-route preparation of locomotives, the solution of which will allow to increase the reliability of locomotives in exploitation, to reduce the cost of unscheduled repairs, to choose the optimal modes of exploitation of traction rolling stock.

In the second chapter the statement of a problem and tasks of research is executed. A large proportion of failures of locomotive units on the route requires more attention to the preparation of locomotives before departure and monitoring of its condition in exploitation. Before departure the locomotive to the route, it is necessary to make sure that its technical condition allows to make the route. This applies both to locomotives that have been in exploitation for a long time and to new locomotives coming to the enterprises of JSC Ukrzaliznytsia. Information on the technical condition can be obtained from on-board and stationary technical diagnostic tools. Analysis of these data, determining the level of reliability of the locomotive and its ability to run the train is an integral part of pre-route preparation.

In the third chapter the development of the structural model of the electronic passport of the locomotive and the model of the process of pre-route preparation of locomotives using an electronic passport were conducted.

The capabilities of modern information technology allow making the collection, storage and processing of large amounts of data, which is not available with manual technology.

It is proposed to use an electronic passport of the locomotive, which is a database of locomotives and their components to take into account the individual properties of each locomotive when performing pre-route preparation. In this case, the locomotive is considered as an object that has certain properties and participates in certain events. Each node is also considered as a separate object with its own properties and events. The occurrence of a certain event leads to a change in the state of the locomotive or unit, which is necessarily reflected in the electronic passport and leads to an update of the database. The electronic passport database is filled through technical diagnostic tools (portable, stationary, built-in), and in case their absence – manually.

The task of pre-route preparation of locomotives is to determine the possibility of a particular locomotive to carry a train of known weight on a section of known profile and length. That is, it is necessary to determine whether the actual technical condition of the locomotive allows execution a particular route.

The route data from the depot's person on duty is compared with the current properties of the locomotive and its units and the value of the coefficient of route execution possibility without units' failure is determined, and the technological process of pre-route preparation is formed.

The electronic passport allows to automate processing and the analysis of results of technical diagnostics, and also development of technological process of pre-route preparation. In case of using an electronic passport of a locomotive, it is expected to reduce the number of failures of locomotive units on the route, as the possibility of sending the locomotive to route is excluded if the technical parameters of its units do not match the requirements of regulatory documentation.

Since 2017, 12 locomotive depots have been testing electronic certification of objects of locomotive economy, including locomotives. Appropriate software

has been developed. Experience of introduction of electronic passports shows that processing of results by electronic system allows accelerating formation of technical documentation, increasing efficiency of work, reducing time of carrying out operations.

The use of an electronic passport of the locomotive in the process of pre-route preparation allows to obtain an economic effect with a cumulative result for the calculation period 2022 – 2026 will amount to 7472.080 thousand UAH.. The economic effect is achieved by reducing the cost of wages, maintenance and pre-route preparation and the costs associated with the failure of locomotives on the route as well.

Keywords: electronic passport of the locomotive, pre-route preparation, actual technical condition of locomotive, the coefficient of route execution possibility, risk management.

Список публікацій здобувача

Основні наукові праці:

1. Обозний О.М., Квітко О.Є. Побудова ER-моделі бази даних електронного паспорту локомотивного депо. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2007. Вип. 81. С. 149–153.

2. Обозний О.М., Квітко О.Є. Моделювання інформаційних процесів документообігу локомотивного депо при застосуванні електронного паспорта. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2007. Вип. 82. С. 57–60.

3. Обозний О.М., Пузир В.Г., Квітко О.Є. Використання електронного паспорта локомотива при плануванні та управлінні ремонтами. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2008. Вип. 96. С. 110–115.

4. Пузир В.Г., Обозний О.М. Застосування мереж Петрі для опису функціонування електронного паспорту локомотива. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2010. Вип. 117. С. 98–103.

5. Обозний О.М. Передрейсова підготовка локомотивів як система масового обслуговування. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2012. Вип. 132. С. 36–40.

6. Обозний О.М., Бобрицький С.В. Розробка методики прийняття рішення про видачу локомотива в рейс на основі аналізу його фактичного технічного стану. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2014. Вип. 149. С. 71–75.

7. Обозний О.М. Визначення залежності швидкості зміни параметрів вузлів локомотива від умов експлуатації. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2015. №1 (218). С. 110–112.

Публікації у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:

8. Obozny O.M. Method of using electronic passport of locomotive in management system of preroute preparation. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2013. Vol. 2, № 3 (62). P. 56–58. DOI: 10.15587/1729-4061.2013.11717 (видання індексується у базі Scopus)

Публікації у виданнях інших держав:

9. Puzyr, V.G., Krashenin, O.S., Zhalkin, D.S., Datsun, Y.M., Obozny, O.M. Estimation of the influence of the interaction of factors pairs on the coefficient of route execution possibility. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Volume 659. Issue 1. DOI: 10.1088/1757-899X/659/1/012057 (видання індексується у базі Scopus). *Публікації у наукових виданнях інших держав.*

10. Puzyr V., Datsun, Y., Obozny O. Design of algorithm for identification of locomotive electrical machine unit during repair. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. Vol. 7. Issue 4. P. 157–161. DOI: 10.14419/ijet.v7i4.3.19727 (видання індексується у базі Scopus). *Публікації у наукових виданнях інших держав*

11. Puzyr V., Datsun, Y., Obozny O., Pyvo V. Development of a repair technology for locomotive units on the basis of the theory of decision. *International Journal of Engineering & Technology*. 2019. Vol. 664. DOI: 10.1088/1757-899X/664/1/012029 (видання індексується у базі Scopus). *Публікації у наукових виданнях інших держав*

Додаткові:

12. Крашенінін О.С., Жалкін С.Г., Крамчанін І.Г., Обозний О.М. Методика розрахунку системи технічного обслуговування локомотивів при подовженні терміну їх експлуатації. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2009. Вип. 107. С. 217–221.

13. Крашенінін О.С., Обозний О.М. Визначення граничних термінів довговічності тягового рухомого складу. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2011. Вип. 122. С. 134–140.

14. Крашенінін О.С., Обозний О.М. Визначення періодичності діагностування ТРС в післяремонтний термін експлуатації. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2011. Вип. 123. С. 173–175.

Праці апробаційного характеру:

15. Обозний О.М. Удосконалення системи управління передрейсовою підготовкою локомотивів на основі розробки електронного паспорту. *Логістичне управління та безпека руху на транспорті: Збірник тез міжнародної науково-практичної конференції*. (Лозова, 4–8 травня 2015 р.). Сєверодонецьк: ПП «Поліграф-Сервіс», 2015. С. 74–75.

16. Пузир В.Г., Дацун Ю.М., Обозний О.М. Застосування кумулятивної моделі накопичення пошкоджень вузлів локомотива при визначенні зміни технічного стану локомотива. *Міжнародні транспортні коридори та корпоративна логістика*: тези доповідей за матеріалами дванадцятої науково-практичної міжнародної конференції. Вісник економіки транспорту і промисловості. (Харків, 2–4 червня 2016 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2016. Вип. 54. С. 72–73.

17. Пузир В. Г., Дацун Ю.М., Обозний О.М. Контроль технічного стану локомотивів на основі обробки даних бортових мікропроцесорних систем діагностики. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*: тези доповідей 29-ої міжнародної науково-практичної конференції (Черноморськ, 27 – 29 вересня 2016 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2016. №. 4 (додаток). С. 6.

18. Пузир В. Г., Дацун Ю.М., Рядковський В.В., Обозний О.М. Математична модель зміни технічного стану локомотива в процесі експлуатації. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті*: тези доповідей 79-ої міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 25 – 27 квітня 2017 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2017. Вип. 169 (додаток). С. 59–61.

19. Пузир В. Г., Дацун Ю.М., Обозний О.М. Оптимізація експлуатації та ремонту локомотивів на основі прогнозування зміни параметрів їх вузлів. *Проблеми енергоресурсозбереження в промисловому регіоні. Наука і практика* : тези доп. III Всеукр. науково-практ. конф. молодих вчених, фахівців, аспірантів (Маріуполь, 11–12 травня 2017 р.) / ДВНЗ «ПДТУ». Маріуполь, 2017. С. 125–126.

20. Обозний О.М., Крамчанін І.Г. Вплив взаємодії двох факторів на коефіцієнт можливості виконання рейсу. *Транспорт і логістика: проблеми та рішення*. Збірник наукових праць міжнародної науково-практичної конференції. (Одеса, 22–24 травня 2019 р.). Одеса: КУПРІЄНКО СВ, 2019. С. 85–87.

21. Puzyr V., Obozny O. Getting interpolation formula for determining the coefficient of route execution possibility. *Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects.* Theses of international scientific and practical conference. (Spain, 4-11 may 2019)

22. Пузир В.Г., Дацун Ю.М., Обозний О.М. Параметрична ідентифікація когнітивної моделі системи ремонту локомотивів. *Інтелектуальні транспортні технології.* Тези доповідей 1-ої міжнародної науково-технічної конференції. (Трускавець, 24–30 січня 2020 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2020. С. 94–96.

ЗМІСТ

Вступ	20
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ БЕЗПЕКИ РУХУ ТА НЕСПРАВНОСТЕЙ ОСНОВНОГО ОБЛАДНАННЯ ЛОКОМОТИВІВ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ	27
Аналіз безпеки руху та несправностей основного обладнання локомотивів	27
Аналіз процесів передрейсової підготовки локомотивів ³²	
Аналіз можливих шляхів удосконалення процесів передрейсової підготовки	35
Аналіз робіт за напрямком досліджень	38
Висновки до розділу 1	40
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБЛЕННЯ СТРУКТУРНОЇ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОННОГО ПАСПОРТУ ЛОКОМОТИВА	41
Розроблення структурної моделі електронного паспорту локомотива	41
Використання електронного паспорту локомотива при плануванні та управлінні ремонтами	46
Моделювання інформаційних процесів при застосуванні електронного паспорту	51
Застосування мереж Петрі для опису функціонування електронного паспорту локомотива	56
Контроль технічного стану локомотивів на основі обробки даних бортових мікропроцесорних систем діагностики	62
Математична модель зміни технічного стану локомотива в процесі експлуатації	64
Висновки до розділу 2	66

РОЗДІЛ 3 РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ПЕРЕДРЕЙСОВОЇ ПІДГОТОВКИ ЛОКОМОТИВІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЕЛЕКТРОННОГО ПАСПОРТУ	68
Критерій для визначення можливості виконання рейсу локомотивом	68
Розроблення моделі процесу передрейсової підготовки локомотивів із застосуванням електронного паспорту ⁷³	
Отримання інтерполяційної формули визначення коефіцієнта можливості виконання рейсу	85
Математична модель управління ризиками в процесі експлуатації	88
Розробка методики прийняття рішення про видачу локомотива в рейс на основі аналізу його фактичного технічного стану	92
Організація імітаційного моделювання системи передрейсової підготовки локомотивів	96
Визначення залежності швидкості зміни параметрів вузлів локомотива від умов експлуатації	102
Оцінка впливу взаємодії пари факторів на коефіцієнт можливості виконання рейсу	107
Висновки до розділу 3	118
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБЛЕННЯ ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО ФОРМУВАННЯ ЕЛЕКТРОННОГО ПАСПОРТУ ЛОКОМОТИВА	120
Загальні вимоги до побудови автоматизованої інформаційної системи	120
Розроблення програмної реалізації та інтерфейсу електронного паспорту локомотива	125
Розрахунок економічного ефекту від впровадження електронного паспорту локомотива	128
Висновки до розділу 4	135

ВИСНОВКИ	136
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	138
Додаток А Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації	149
Додаток Б Акти впровадження результатів дисертаційної роботи	153
Додаток В Фрагмент програмного коду електронного паспорту локомотива	157

ВСТУП

Актуальність теми. Технічний стан локомотивів, що експлуатуються на залізницях України, вимагає перегляду існуючої системи управління технічним обслуговуванням, поточними ремонтами та передрейсовою підготовкою.

Для ефективної експлуатації нових локомотивів, що надходять в депо, потрібно якомога ширше використовувати можливості вбудованих систем технічної діагностики. Оброблені дані діагностування стану локомотива потрібно використовувати в технологічному процесі передрейсової підготовки.

Прийняття рішення про випуск локомотива в рейс повинно бути технічно обгрунтованим з метою недопущення відмови локомотива на шляху прямування та зменшення витрат, пов'язаних із затримкою поїзда, викликом допоміжного локомотива та проведенням непланового ремонту.

Аналіз безпеки руху та несправностей основного обладнання локомотивів за останні роки показує, що більшість транспортних подій відбувається через відмову обладнання на шляху прямування. Основною причиною відмов вузлів локомотивів в експлуатації є те, що при відправленні локомотива в рейс недостатня увага приділяється визначенню його фактичного технічного стану. У зв'язку з цим постає задача удосконалення процесів передрейсової підготовки локомотивів.

Одним із основних напрямків удосконалення процесів передрейсової підготовки є застосування комплексного підходу із використанням можливостей сучасних інформаційних технологій. Потребує створення інформаційна система, яка могла б допомагати враховувати рівень технічного стану локомотива в процесі передрейсової підготовки з метою недопущення відправлення в рейс локомотива, який може відмовити в експлуатації.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась на кафедрі експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту відповідно до Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року (Розпорядження Кабінету міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р), Стратегії розвитку ПАТ «Укрзалізниця» 2017–2021 роки, а також науково-дослідних робіт за темами, у яких автор брав безпосередню участь як виконавець: «Розробка проекту «Технології інформаційної взаємодії лінійного рівня залізниці та Укрзалізниці в частині інформації про технічний стан і паспортні дані» (ДР № 0110U000210); «Дослідження та визначення оптимального набору параметрів, режимів їх отримання і обробки для відображення технічного стану локомотивів з метою забезпечення побудови автоматизованої системи їх діагностування і організації ремонту по пробігу» (ДР №0108U007035).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є удосконалення процесів передрейсової підготовки локомотивів на основі електронного паспорту шляхом врахування рівня їх технічного стану та вибору оптимального рейсу, умови якого не призведуть до відмови на шляху прямування.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- здійснити аналіз існуючого процесу передрейсової підготовки та оцінити його вплив на експлуатаційну надійність локомотивів;

- розробити структурну модель електронного паспорту локомотива;

- розробити метод передрейсової підготовки локомотивів із

застосуванням електронного паспорту;

- розробити математичну модель управління ризиками втрат в процесі експлуатації та запропонувати критерій для визначення можливості виконання рейсу локомотивом;

- удосконалити метод отримання залежності коефіцієнта можливості виконання рейсу для різних поєднань експлуатаційних факторів;

- удосконалити модель математичного опису процесу передрейсової підготовки як одноканальної системи масового обслуговування з неоднорідними потоками.

Об'єкт дослідження – процес передрейсової підготовки локомотивів.

Предмет дослідження – методи та моделі можливості виконання рейсу локомотивом.

Методи дослідження. Вирішення завдань проводилось із застосуванням методів математичної статистики та теорії ймовірностей при здійсненні аналізу транспортних подій та надійності роботи основного обладнання локомотивів, теорії мереж Петрі при розробці методу передрейсової підготовки із застосуванням електронного паспорту, теорії графів для визначення ймовірностей перебування локомотивів та їх вузлів у кожному із станів; повного факторного експерименту для отримання інтерполяційної формули для визначення коефіцієнта можливості виконання рейсу в залежності від впливу експлуатаційних факторів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в удосконаленні процесів передрейсової підготовки на основі розробки електронного паспорту з урахуванням ризиків процесу експлуатації та запропонованого критерію можливості виконання рейсу локомотивом.

Вперше:

- на основі теорії мереж Петрі запропоновано метод передрейсової підготовки локомотивів із застосуванням електронного паспорту, який забезпечує визначення його фактичного технічного стану перед виходом в рейс;

- розроблено математичну модель управління ризиками втрат в процесі експлуатації та запропоновано критерій для визначення можливості

виконання рейсу локомотивом, який враховує вплив експлуатаційних факторів на зміну технічних параметрів вузлів локомотива;

- запропоновано математичну модель технічного стану локомотива, яка у реальному часі враховує зміни технічних параметрів його вузлів та їх взаємозв'язок в процесі експлуатації, та дозволяє сформувати структурну схему його електронного паспорту;

Знайшов подальший розвиток:

- метод отримання залежності коефіцієнта можливості виконання рейсу для різних поєднань експлуатаційних факторів, який, на відміну від існуючих, дозволяє оцінити зміну фактичного технічного стану локомотива після виконання конкретного рейсу.

Удосконалено:

- модель математичного опису процесу передрейсової підготовки як одноканальної системи масового обслуговування з неоднорідними потоками, яка, на відміну від існуючих, дозволяє зробити вибір рейсу, в процесі виконання якого не станеться відмови локомотива.

Практичне значення одержаних результатів. Запропоновано автоматизувати процеси передрейсової підготовки шляхом застосування електронного паспорту, який дозволяє здійснити аналіз значення поточних технічних параметрів вузлів локомотива перед виходом в рейс, зробити прогноз зміни вказаних параметрів в залежності від експлуатаційних факторів, провести розрахунок коефіцієнту можливості виконання рейсу та оцінити ризики витрат, пов'язаних з відправленням в рейс локомотива, фактичний технічний стан якого не відповідає умовам рейсу, та на основі цього обрати оптимальний рейс, який локомотив зможе виконати без відмови на шляху прямування.

Практичне значення результатів роботи підтверджено відповідними актами впровадження у виробничий процес підрозділів локомотивного господарства АТ «Укрзалізниця» та у навчальний процес Українського

державного університету залізничного транспорту при вивченні дисциплін «АСУ і САПР в локомотивному господарстві», «Інформаційні технології в управлінській, науковій та викладацькій діяльності», «Експлуатація локомотивів та локомотивне господарство», «Технологія ремонту локомотивів», що наведені в додатках до дисертаційного дослідження.

Особистий внесок здобувача. Усі результати дисертаційної роботи отримано особисто автором. В спільних публікаціях особистий внесок автора полягає в наступному:

- в роботі [1] – розроблено опис предметної області та запропоновано множину кортежів ER-моделі електронного паспорту;

- в статті [2] було побудовано логічну модель інформаційного процесу роботи електронного паспорту для розрахунку за її допомогою тривалості такого процесу;

- в праці [3] – розроблено функціональну схему ремонтного процесу в локомотивному депо при використанні електронного паспорту локомотива;

- в роботі [4] було розроблено модель мережі Петрі, яка дозволяє визначати послідовність настання подій, що змінюють стан локомотива і призводять до наповнення бази даних електронного паспорту локомотива новими значеннями.

- в роботі [6] – розроблено алгоритм прийняття рішення про можливість видачі локомотива в рейс;

- В статті [9] – проведено дослідження впливу взаємодії пари експлуатаційних факторів на зміну коефіцієнта можливості виконання рейсу;

- в роботі [10] – розроблено алгоритм, який передбачає формування вхідного вектора значень з підсумовуванням двійкових кодів пікселів по рядках;

- в праці [11] – проведено аналіз дерева рішень вибору технології ремонту паливних форсунок тепловозу, який показав можливі варіанти стратегій;

- в роботі [19] – запропоновано методику визначення залишкового ресурсу з урахуванням динаміки коефіцієнта швидкості зміни стану параметру технічного об'єкту;

- в роботі [20] – проведено аналіз залежності витрат на планові та непланові види ремонтів від пробігу тягового рухомого складу;

- в статті [21] – запропоновано періодичність проведення діагностичних операцій вузлів локомотивів з метою проведення комплексного обстеження для коригування обсягів ремонту та уточнення залишкового ресурсу по основному обладнанню.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації доповідалися, обговорювалися та ухвалені на таких конференціях:

- 70-й міжнародній науково-технічній конференції «Рухомий склад та спеціальна техніка транспорту» (Харків, 15-17 квітня 2008 р.);

- 71-й міжнародній науково-технічній конференції «Рухомий склад та спеціальна техніка залізничного транспорту» (Харків, 19-21 травня 2009 р.);

- Міжнародній науково-практичній конференції «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» (Лозова, 4-8 травня 2015 р.);

- 12-й науково-практичній міжнародній конференції «Міжнародні транспортні коридори та корпоративна логістика» (Харків, 2-4 червня 2016 р.);

- 29-й міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» (Черноморськ, 27-29 вересня 2016 р.);

- 79-й міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, 25-27 квітня 2017 р.);

- III Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених, фахівців, аспірантів «Проблеми енергоресурсозбереження в промисловому регіоні. Наука і практика» (Маріуполь, 11-12 травня 2017 р.);

- IX міжнародній науково-практичній конференції «Траспорт і логістика: проблеми та рішення» (Одеса, 22-24 травня 2019 р.);
- International scientific and practical conference «Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects» (Spain, 4-11 may 2019);
- 1-й Міжнародній науково-технічній конференції «Інтелектуальні транспортні технології» (Трускавець – Харків, 24-30 січня 2020 р.);
- 9th International Scientific Conference - Research and Development of Mechanical Elements and Systems (IRMES 2019) 5–7 September 2019, Kragujevac, Serbia;
- 11th International Scientific Conference on Aeronautics, Automotive and Railway Engineering and Technologies (Sozopol, Bulgaria, 10 - 12 September, 2019).

Повністю результати дисертаційної роботи заслухано та схвалено на розширеному засіданні кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту.

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 22 наукові праці, з яких 8 наукових статей – у фахових виданнях, затверджених МОН України, і 3 статті – у виданнях інших держав (три з них включені до бази Scopus), 8 праць апробаційного характеру; 3 додаткові праці.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотацій, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Повний обсяг дисертації складає 162 сторінки, з яких обсяг основного тексту – 130 сторінок, 37 рисунків і 4 таблиці за текстом, та 4 рисунки і 1 таблицю на 6 окремих сторінках, список використаних джерел із 123 найменувань і 3 додатків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Державна служба статистики України. Київ, 1998–2019. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>. (дата звернення 23.12.2020).
2. Офіційний сайт АТ «Укрзалізниця». Київ, 2012. URL: http://www.uz.gov.ua/cargo_transportation/general_information/indicators_of_transportation (дата звернення 24.12.2020).
3. Довідник основних показників роботи Регіональних філій ПАТ «Українська залізниця» (2002-2017 роки) / ПАТ «Укрзалізниця» Управління статистики. Київ, 2018. 39 с.
4. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони: Угоду ратифіковано із заявою Законом від 16.09.2014 № 1678-VII / *Офіційний вісник України*. 2014 р. № 75, том 1. С. 83. Ст. 2125.
5. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року: Розпорядження Кабінету міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р / Кабінет міністрів України. *Офіційний вісник України*. 2018. № 52. С. 533. Ст. 1848. Код акта 90720/2018.
6. Директива Ради 91/440/ЄЕС від 29 липня 1991 р. про розвиток залізниць Співтовариства. / Рада європейських співтовариств. *Офіційний вісник ЄС*. 1991. L 237, 24 серпня 1991 р. С. 25–28.
7. Пузир В.Г. Наукові основи удосконалення технології передрейсової підготовки локомотивів та локомотивних бригад: дис. ... докт. техн. наук: 05.22.07, 05.22.20. Х., 2005. 368 с.
8. Пузир В.Г. Вдосконалення системи експлуатації локомотивів на підставі інформації про їх фактичний технічний стан. *Міжвуз. зб. наук. пр. Хар. держ. акад. залізнич. трансп.* Х., 2001. Вип. 46. С. 46-49.
9. Гартаковский, Э.Д. Качество ремонта и надежность тепловозов. М.: Транспорт, 1973. 81 с.

10.Тартаковский Э.Д., Устенко А.В., Пузырь В.Г. Основы автоматизации технического обслуживания, диагностирования и ремонта локомотивов: Учебн. пособие. Ч. III. Харьков: ХИИТ, 1992. 74 с.

11.Тартаковский, Э.Д. Методика определения среднего времени контроля систем локомотивов. Оптимизация управления и повышение эффективности работы локомотивов. Межвуз. сб. научн. тр. Гомель: БелИИЖТ, 1984. С. 66-68.

12.Буцько Т. В., Лаврухін О.В. Удосконалення технології організації перевезень в умовах невизначеності на основі раціонального використання засобів транспорту. *Збірник наукових праць ДонІТЗ*. 2006. Вип. 8. С. 21–29.

13.Серов А.В. Диагностика и управление состоянием системы. М.: Знание, 1974. 152 с.

14.Серов А.В. Оптимальное управление качеством и эффективностью работы машин в эксплуатации. М.: Знание, 1979. 52 с.

15.Тартаковский Э.Д. Качество ремонта и надежность тепловозов. М.: Транспорт, 1973. 134 с.

16.Тартаковский Э.Д. Предпосылки автоматизации и проектирования технологических процессов обслуживания и ремонта локомотивов. Тр. МИИТ. 1987. Вып. 795. С. 8-12.

17.Тартаковський Е.Д. Наукове обґрунтування концепції розвитку локомотивного господарств. Міжвуз. зб. наук. Праць. Х.: ХарДАЗТ, 1998. Вип. 34. С. 3-4.

18.Герцбах И.Б. Модели профилактики. М.: Сов. Радио, 1969. 216 с.

19.Павлович Е.С., Серегин А.А., Четвергов В.А. Принципы формулирования и поддержания общей надежности технических устройств. Сб. науч. Тр. ОМИИТа. Том 84. Омск, 1967. С. 15-18.

20.Данілевський В.І. Розробка електронного каталога запасних частин локомотивів для удосконалення капітального ремонту. Дис. ... канд. техн. наук 05.22.07. Х. 2005. 158 с.

21. Лакин И.К. Автоматизированная система управления локомотивным хозяйством. АСУТ. М.: ОЦВ, 2002. 516 с.
22. Мамиконов А.Г. Методы разработки автоматизированных систем управления. М.: Энергия, 1973. 336 с.
23. Куликовский Л.Ф., Мотов В.В. Теоретические основы информационных процессов. М: Высш. шк., 1987. 247 с.
24. Пузир В.Г., Обозний О.М., Квітко О.Є. Використання електронного паспорту локомотива при плануванні та управлінні ремонтами. Зб. наук. праць: УкрДАЗТ, 2008. Вип. 96. С. 110-115.
25. Лецкий Э.К., Панкратов В.И., Яковлев В.В. Информационные технологии на железнодорожном транспорте: Учеб. для вузов ж.-д. трансп. М.: УМК МПС России, 2001. 668 с.
26. Лецкий Э.К., Крепкая З.А., Маркова И.В. Проектирование информационных систем на железнодорожном транспорте: Учеб. для вузов ж.-д. трансп. М.: Маршрут, 2003. 408 с.
27. Байцер Б. Микроанализ производительности вычислительных систем. М.: Наука, 1988. 360 с.
28. Майоров С.А., Новиков Г.Н., Алиев Т.И. Основы теории вычислительных систем. М.: Высшая школа, 1978. 408 с.
29. Дружинин Г.В., Лецкий Э.К., Панкратов А.И. Расчеты автоматизированных систем управления (на примерах АСУ железнодорожным транспортом). М.: Транспорт, 1985. – 223 с.
30. Дружинин Г.В., Сергеева И.В. Качество информации. М.: Радио и связь, 1990. 172 с.
31. Обозний О.М. Моделивання інформаційних процесів документообігу локомотивного депо при застосуванні електронного паспорта. Зб. наук. праць: УкрДАЗТ, 2007, Вип. 82. С. 57-60.
32. Мамиконов А.Г., Кульба В.В. Использование сетей Петри при проектировании систем обработки даны. М.: Наука, 1988. 103 с.

33. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. М.: Мир, 1984. 264 с.
34. Котов В.Е. Сети Петри. М.: Наука, 1984. 158 с.
35. Мамиконов А.Г., Кульба В.В., Швецов А.Р. Модифицированные сети Петри. М.: Институт проблем управления, 1991. 45 с.
36. Wolfgang Reisig Understanding Petri Nets: Modeling Techniques, Analysis Methods, Case Studies *Springer* 2013th Edition.
37. James L Peterson Petri Net Theory and the Modeling of Systems *Springer* 2013.
38. Claude Girault, Rüdiger Valk Petri Nets for Systems Engineering *Springer-Verlag Berlin Heidelberg* 2003.
39. Roberto Gorrieri Process Algebras for Petri Nets *Springer International Publishing* 2017.
40. Wolfgang Reisig Petri Nets. An Introduction *Springer-Verlag Berlin Heidelberg* 1985.
41. Обозний О.М. Застосування мереж Петрі для опису функціонування електронного паспорту локомотива. Зб. наук. праць: УкрДАЗТ, 2010. Вип. 117. С. 98-103.
42. Перминов В.А., Федотов М.В., Грищенко А.В., Грачев В.В., Базилевский Ф.Ю. Использование нейросетевых диагностических моделей для контроля технического состояния тепловозов по данным бортовых систем диагностики. Материалы первой международной научно-практической конференции. М: МИИТ, 2014. С. 229 – 241.
43. . Обозний О.М., Пузир В.Г., Дацун Ю.М. Контроль технічного стану локомотивів на основі обробки даних бортових мікропроцесорних систем діагностики. Чорноморськ, 2016. С. 6-7.
44. Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. М.: Машиностроение, 1984. 312 с.
45. Барзилович Е.Ю., Воскобоев В.Ф. Эксплуатация авиационных систем по состоянию. М.: Транспорт, 1981. 197 с.

46. Острейковский В.А. Теория надежности: Учеб. для вузов. М.: Высш. шк., 2003. 463 с.
47. Климов Е.Н. Управление техническим состоянием судовой техники. М.: Транспорт, 1985. 199 с.
48. David Smith Reliability, Maintainability and Risk 6th Edition *Elsevier* 2001
49. Alessandro Birolini Reliability Engineering: Theory and Practice *Springer* 2017
50. Patrick D. T. O'Connor, Andre Kleyner Practical Reliability Engineering 5th edition *Wiley* 2012
51. Mohammad Modarres, Mark P. Kaminskiy, Vasiliy Krivtsov Reliability Engineering and Risk Analysis: A Practical Guide 3rd edition *CRC Press* 2016
52. Венцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. М.: Наука, 1985. 121 с.
53. Венцель Е.С. Исследование операций: принципы, задачи, методы. – М.: Наука, 1985. 121 с.
54. David Freedman Markov Chains *Springer-Verlag New York* 1983
55. Kai Lai Chung Markov Chains With Stationary Transition Probabilities *Springer-Verlag Berlin Heidelberg* 1967
56. Imre Csiszar, György Michaletzky Stochastic Differential and Difference Equations *Birkhäuser Basel* 1997
57. John G. Kemeny, J. Laurie Snell Finite Markov Chains With a New Appendix "Generalization of a Fundamental Matrix" *Springer-Verlag New York* 1976
58. J. R. Norris Markov Chains *Cambridge Series in Statistical and Probabilistic Mathematics* 1998
59. Robin J. Wilson Introduction to Graph Theory (5th Edition) *Pearson* 2010

60. Харари Ф. Теория графов Издательство: Едиториал УРСС, 2003. 297 с.
61. Gary Chartrand, Ping Zhang A First Course in Graph Theory (Dover Books on Mathematics) *Dover Publications*, 2012
62. Oystein Ore Theory of Graphs *American Mathematical Society*, 1962
63. Березина, Л. Ю. Графы и их применение. М.: Просвещение, 2008. 144 с.
64. Мальцев Ю.Н., Петров Е.П. Введение в дискретную математику. Элементы комбинаторики, теории графов и теории кодирования. М.: Наука, 2010. 869 с.
65. Майника Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах. М.: Наука, 2009. 423 с.
66. Свами М., Тхуласираман К. Графы, сети и алгоритмы.. М.: Наука, 2005. 182 с.
67. Уилсон Р. Введение в теорию графов. М.: Наука, 2007. 236 с.
68. Красовский Г.И. Планирование эксперимента. Минск: БГУ, 1982. 326 с.
69. Глудкин О.П. Современный эксперимент: подготовка, проведение, анализ результатов. М. Радио и связь, 1997. - 228 с.
70. Адлер Ю.П. Введение в планирование эксперимента. М.: Металлургия, 1968. 348 с.
71. Баженов В.И. Основы планирования и моделирования в теории инженерного эксперимента. М.: МАИ, 1983. 284 с.
72. Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы обработки данных. М.: Мир, 1980. 486 с.
73. Зедгинидзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем. М.: Наука, 1976. 316 с.
74. Ермаков С.М. Математическая теория планирования эксперимента. М.: Наука, 1983. 246 с.

75. Маркова Е.В. Планирование эксперимента в условиях неоднородностей. М.: Наука, 1973. 312 с.
76. Монтгомери Д.К. Планирование эксперимента и анализ данных. М.: Судостроение, 1980. 424 с.
77. Налимов В.В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. М.: Наука, 1965. 368 с.
78. Налимов В.В. Теория эксперимента. М.: Наука, 1971. 284 с.
79. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. М.: Машиностроение, 1981. 344 с.
80. Хикс Ч. Основные принципы планирования эксперимента. М.: Мир, 1967. 284 с.
81. Белов П.Г. Управление рисками, системный анализ и моделирование в 3 ч. Часть 3 : учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры. М. : Издательство Юрайт, 2019. 272 с.
82. Белов П.Г. Системный анализ и программно-целевой менеджмент рисков : учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры. М.: Издательство Юрайт, 2019. 289 с.
83. Белов П.Г. Управление рисками, системный анализ и моделирование в 3 ч. Часть 2 : учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры. М. : Издательство Юрайт, 2019. 250 с.
84. Белов П.Г. Управление рисками, системный анализ и моделирование в 3 ч. Часть 1 : учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры. М. : Издательство Юрайт, 2019. 211 с.
85. Воронцовский А. В. Оценка рисков : учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры. М. : Издательство Юрайт, 2019. 179 с.
86. Воронцовский А. В. Управление рисками : учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры. М. : Издательство Юрайт, 2019. 414 с.
87. Вяткин В.Н., Гамза В.А., Маевский Ф.В. Риск-менеджмент: учебник: 2-е изд., перераб. и доп. М. : Издательство Юрайт, 2019. 365 с.

88. Васин С.М., Шутов В.С. Управление рисками на предприятии: Учебное пособие. М.: КноРус, 2018. 352 с.
89. Черешкин, Д.С. Управление рисками и безопасностью. М.: Ленанд, 2010. 200 с.
90. Балдин К. В., Воробьев С. Н. Управление рисками: Учебное пособие. М.: Юнити-ДАНА, 2015. 511 с.
91. Вишняков Я.Д., Радаев Н.Н. Общая теория рисков. 2-е изд., испр. М.: Норма, 2014. 368 с.
92. Варжапетян А.Г. Имитационное моделирование на GPSS. М.: Вузовская книга, 2007. 424 с.
93. Карпов Ю. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. СПб.: BHV, 2009. 400 с.
94. Девятков В.В., Кобелев Н.Б., Половников В.А. Имитационное моделирование: Учебное пособие. М.: КУРС, НИЦ Инфра-М, 2013. 368 с.
95. Павловский Ю.Н. Имитационное моделирование: Учебное пособие. М.: Академия, 2008. 256 с.
96. Решмин Б.И. Имитационное моделирование и системы управления. Вологда: Инфра-Инженерия, 2016. - 74 с.
97. Рыжиков Ю.И. Имитационное моделирование. Авторская имитация систем и сетей с очередями: Учебное пособие. СПб.: Лань, 2019. 112 с.
98. Рыжиков Ю.И. Имитационное моделирование. Теория и технологии. М.: Альтекс-А, 2004. 384 с.
99. Bernard P. Zeigler, Herbert Praehofer, Tag Gon Kim Theory of Modeling and Simulation: Discrete Event & Iterative System Computational Foundations Second edition *Academic Press* 2000
100. Puzyr, V.G., Krasheninina, O.S., Zhalkin, D.S., Datsun, Y.M., Oboznyi, O.M. Estimation of the influence of the interaction of factors pairs on the coefficient of route execution possibility. IOP Conference Series: Materials

Science and Engineering. 2019. Volume 659. Issue 1. DOI: 10.1088/1757-899X/659/1/012057

101. Призначення систем підтримки прийняття рішень. URL: http://ni.biz.ua/3/3_17/3_173131_naznachenie-sistem-podderzhki-prinyatiya-resheniy.html. (дата звернення 19.11.2020).

102. Призначення систем підтримки прийняття рішень. URL: <http://um.co.ua/4/4-15/4-158624.html>. (дата звернення 19.11.2020).

103. Кравченко Т.К., Исаев Д.В. Системы поддержки принятия решений. Учебник и практикум для академического бакалавриата. М.:Издательство Юрайт, 2019. 292с.

104. Аксенов К. А., Гончарова Н. В. ; под науч. ред. Доросинского Л.Г. - Системы поддержки принятия решений в 2 ч. Часть 1. Учебное пособие для вузов - М.:Издательство Юрайт, 2019. 103с.

105. Аксенов К. А., Гончарова Н. В., Аксенова О. П. ; под науч. ред. Доросинского Л.Г. - Системы поддержки принятия решений в 2 ч. Часть 2. Учебное пособие для вузов. М.:Издательство Юрайт, 2019. 126с.

106. Заботина Н.Н. Проектирование информационных систем: Учебное пособие. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2013. 331 с.

107. Исаев Г.Н. Проектирование информационных систем: Учебное пособие. М.: Омега-Л, 2013. 424 с.

108. Коваленко В.В. Проектирование информационных систем: Учебное пособие. М.: Форум, 2015. 976 с.

109. Перлова О.Н. Ляпина О.П., Гусева А.В. Проектирование и разработка информационных систем: Учебник. М.: Academia, 2017. 416 с.

110. Соловьев И.В. Проектирование информационных систем. - М.: Академический проспект , 2009. 398 с.

111. Федоров Н.В. Проектирование информационных систем на основе современных CASE-технологий. М.: МГИУ, 2008. 280 с.

112. Автоматизация проектирования вычислительных систем. Языки, моделирование и базы данных / ред. М. Брейер. - М.: Мир, 2015. 463 с.

113. Зегжда Д.П., Ивашко А.М. Основы безопасности информационных систем. М.: Горячая линия - Телеком, 2017. 452 с.
114. Silberschantz A., Korth H., Sudarshan S. Database System Concepts. – *McGraw-Hill*, 1997
115. Уотермен Д. Руководство по экспертным системам. М.: Мир, 1989. 388 с.
116. Хейес-Рот Ф., Уотерман Д., Ленат Д. Построение экспертных систем. М.: Мир, 1987. 442 с.
117. Edosomwan J.A. Artificial intelligence series. Part 7. Ten design rules for knowledge based expert systems // *Ind. End. (USA)*/ 1987. P 78-80
118. Гаркуша Н. М., Цуканова О. В., Горошанська О. О. Моделі і методи прийняття рішень в аналізі та аудиті: навч. посіб. 2-ге вид. К., 2012. 591 с.
119. Мидоу Ч. Анализ информационных систем: моногр. М.: Прогресс, 2015. 400 с.
120. Ипатов Э. Р., Ипатов Ю.В. Методологии и технологии системного проектирования информационных систем. М.: Флинта, 2016. 256с.
121. Йордан Э. Объектно-ориентированный анализ и проектирование систем. М.: Лори, 2014. 264 с.
122. Гудвин Г.К., Греббе С.Ф., Сальгадо М.Э. Проектирование систем управления. М.: БИНОМ. ЛЗ, 2012. 911 с.
123. Балака Є.І., Зоріна О.І., Колесникова Н.М., Писаревський І.М. Оцінка економічної доцільності інвестицій в інноваційні проекти на транспорті: навч.

посібник. Харків: УкрДАЗТ, 2005. 210 с.