

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

Гейко Геннадій Вікторович


УДК 004.02 : 004.4

ДИСЕРТАЦІЯ
МОДЕЛІ, МЕТОДИ ТА ПРОГРАМНІ КОМПОНЕНТИ БОРТОВОЇ
КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ДИЗЕЛЬ-ПОЇЗДА

05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти
12 – інформаційні технології

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

 Г.В. Гейко

Науковий керівник
Мезенцев Микола Вікторович,
кандидат технічних наук, доцент

Харків – 2019

АНОТАЦІЯ

Гейко Г.В. Моделі, методи та програмні компоненти бортової комп'ютерної системи дизель-поїзда. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2019.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню науково-практичної задачі, яка полягає в розробленні та дослідженні моделей, методів та програмних компонентів бортової комп'ютерної системи керування дизель-поїзда з метою уточнення метода тягових розрахунків.

Метою дисертаційної роботи є розроблення та дослідження моделей, методів та програмних компонентів бортової комп'ютерної системи керування дизель-поїзда для уточнення метода тягових розрахунків.

Об'єкт дослідження – процеси керування дизель-поїздом.

Предмет дослідження – комп'ютерна система керування дизель-поїзда ДЕЛ-02.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи; сформульовано мету та задачі дослідження; наведено зв'язок дисертації з науковими темами та програмами; визначено об'єкт та предмет дослідження; висвітлені положення, які визначають практичне значення отриманих результатів та їх наукову новизну; висвітлено особистий внесок здобувача в одержаних результатах, їх апробацію та публікації.

У першому розділі проведено аналіз сучасних комп'ютерних систем керування (КСК) тяговим рухомим складом, виявлено їх переваги та недоліки для вдосконалення тягових розрахунків дизель-поїзда.

Сучасні комп'ютерні системи знаходять широке застосування в різних галузях науки і техніки при побудові систем керування, регулювання,

контролю та діагностики параметрів різних об'єктів. На перших вітчизняних дизель-поїздах серії ДЕЛ-02 з тяговим асинхронним приводом (ТАП) використовується КСК, особливістю якої є те, що це система реального часу і задачі, які вона вирішує, спрямовані як на мінімізацію споживання енергоресурсів, так і на забезпечення безпеки руху. Внаслідок того, що придбання дорогих закордонних програмно-апаратних продуктів приводить до зменшення конкурентоздатності розроблюваних вітчизняних поїздів, розроблення і модернізація існуючої КСК є актуальною задачею.

Підвищення якості роботи бортової КСК дизель-поїзда ДЕЛ-02 в режимі реального часу може бути здійснено за рахунок автоматизації процесів керування, контролю та діагностики на основі застосування широкого спектру апаратних засобів, зокрема, комп'ютерів, які оснащені необхідними пристроями вводу-виводу та спеціалізованим програмним забезпеченням. Поєднання перспективних апаратних засобів та сучасного математичного апарата дозволяє вдосконалити існуючу КСК дизель-поїзда з метою отримання придатних для комп'ютерної обробки даних про параметри процесів, результати яких можуть бути використані для оцінки ефективності роботи як усього дизель-поїзда, так і його окремих вузлів. Таким чином, науково-практична задача розроблення та дослідження моделей, методів та програмних компонентів бортової комп'ютерної системи керування дизель-поїзда ДЕЛ-02 для уточнення метода тягових розрахунків є актуальною та визначила напрямки досліджень дисертаційної роботи.

Другий розділ присвячено питанню розроблення програмних компонентів для підсистеми керування рухом, яка є частиною КСК дизель-поїзда ДЕЛ-02. Запропоновано метод ідентифікації параметрів моделі дизель-поїзда, який, на відміну від відомого, що використовує для розрахунків постійні параметри, які відомі перед початком руху, враховує під час руху поїзда зміну параметрів електропривода та моменту опору руху та виконує їх підстроювання в реальному часі, це дозволяє точніше розраховувати керуючі впливи для системи керування об'єктом.

Запропоновано метод, який реалізує розрахунок величини струму статора кожного тягового асинхронного двигуна (ТАД) не по середньому, а по діючому значенню його першої гармоніки, що дозволило точніше розраховувати керуючі впливи для керування об'єктом.

Третій розділ присвячено питанню вдосконалення протибоксувальної підсистеми, яка є частиною КСК дизель-поїзда ДЕЛ-02. Розроблена математична модель, яка дозволяє проводити дослідження процесів в електропередачі, що виникають при боксуванні, та запропоновано метод виявлення боксування колісних пар дизель-поїзда, який, на відміну від відомих, побудовано на основі нечіткої логіки, що дозволило виявляти синхронне та індивідуальне боксування. Застосування програмного компонента, який реалізує запропонований метод на реальному об'єкті, дозволило скоротити час виявлення боксування, зменшити кількість хибних спрацювань, зменшити зношування бандажів колісних пар та підвищити тягові властивості дизель-поїзда.

Четвертий розділ присвячено питанню вдосконалення підсистеми контролю та діагностики, яка є частиною КСК дизель-поїзда ДЕЛ-02. Розроблено програмний компонент, який реалізує алгоритм роботи рекурентної нейронної мережі, яка, на відміну від відомої нейронної мережі, що контролює тільки повільний відхід параметрів об'єкта керування від номінальних значень, забезпечує оперативний контроль перевищення граничних значень параметрів дизель-поїзда та визначає процеси, що пов'язані з його вузлами, які працюють в позаштатному режимі.

Результати дисертаційної роботи були впроваджені:

- в моторвагонному депо «Христинівка» регіональної філії «Одеська залізниця» при вдосконаленні бортової комп'ютерної системи дизель-поїздів серії ДЕЛ-02 з електроприводом змінного струму;

- в навчальному процесі НТУ «ХПІ» на кафедрі обчислювальної техніки та програмування при викладанні учбових дисциплін: «Системний аналіз та математичне моделювання», «Бортові системи керування», «Контроль та

діагностика комп'ютерних систем», а також в курсових, дипломних та наукових роботах студентів спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія».

Ключові слова: комп'ютерна система керування, програмний компонент, тяговий асинхронний двигун, нейронна мережа.

Список публікацій здобувача

1. Гейко Г. В. Идентификация параметров тягового асинхронного привода дизель-поезда / Н. В. Мезенцев, А. Ю. Заковоротный, Г. В. Гейко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Інформатика та моделювання. – Харків : НТУ «ХПІ», 2014. – № 35 (1078). – С. 141 – 146.

2. Гейко Г. В. Моделирование системы обнаружения и защиты от боксования дизель-поезда / В. И. Носков, Н. В. Мезенцев, Г. В. Гейко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Інформатика та моделювання. – Харків : НТУ «ХПІ», 2014. – № 62 (1104). – С. 103 – 108.

3. Гейко Г. В. Метод определения гармонического состава фазного тока статора асинхронного двигателя в системах регулируемых приводов / В. И. Носков, Н. В. Мезенцев, Г. В. Гейко, М. В. Липчанский // Системи обробки інформації: збірник наукових праць. – Харків : Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2015. – № 7 (132). – С. 59 – 61.

4. Гейко Г. В. Анализ интегральных показателей для контроля тягового подвижного состава / В. Д. Дмитриенко, Г. В. Гейко, Н. В. Мезенцев, С. Ю. Леонов // Системи обробки інформації: збірник наукових праць. – Харків : Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2015. – № 12 (137). – С. 20 – 22.

5. Гейко Г. В. Способ обнаружения и защиты от боксования дизель-поезда на основе нечёткой логики / В. Д. Дмитриенко, В. И. Носков, Н. В. Мезенцев, Г. В. Гейко // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава :

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, 2017. – № 6 (46). – С. 65 – 69.

6. Гейко Г. В. Разработка новых программных компонент для системы управления дизель-поездом / Г. В. Гейко // Інформаційно – керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків : УкрДУЗТ, 2018. – № 2. – С. 23 – 31.

7. Гейко Г. В. Идентификация параметров асинхронного привода с использованием генетического алгоритма / Н. В. Мезенцев, Г. В. Гейко // Электротехнические системы и комплексы. – Магнитогорск : Изд. МГТУ им. Г. И. Носова, 2014. – № 4 (25) – С. 14 – 17.

8. Гейко Г. В. Идентификация параметров модели движения дизель-поезда / М. В. Мезенцев, Г. В. Гейко, С. В. Горпинко // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. Тези доповідей XXII Міжнародної науково-практичної конференції. – Харків : НТУ «ХП», 2014. – С. 48.

9. Гейко Г. В. Идентификация параметров асинхронного привода дизель-поезда с использованием генетического алгоритма / Н. В. Мезенцев, Г. В. Гейко // Проблеми інформатики і моделювання. Тезиси XIV Міжнародної науково-технічної конференції. – Харків – Ялта : НТУ «ХП», 2014. – С. 25.

10. Гейко Г. В. К вопросу определения гармонического состава фазного тока статора асинхронного двигателя в системах регулируемых приводов / В. И. Носков, Н. В. Мезенцев, Г. В. Гейко // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. Тези доповідей XXIII Міжнародної науково-практичної конференції. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – С. 73.

11. Гейко Г. В. Машинная модель электропередачи дизель-поезда с тяговыми асинхронными двигателями / В. И. Носков, М. В. Липчанский, Н. В. Мезенцев, Г. В. Гейко // Проблеми інформатики і моделювання. Тезиси XV міжнародної науково-технічної конференції. – Харків – Одеса : НТУ «ХП», 2015. – С. 64.

12. Гейко Г. В. Использование таксономического показателя для контроля и диагностики технических объектов / В. Д. Дмитриенко, Н. В. Мезенцев, Г. В. Гейко // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. Тези доповідей XXIV Міжнародної науково-практичної конференції. – Харків : НТУ «ХП», 2016. – С. 118.

13. Гейко Г. В. Задачи совершенствования измерительно-информационной и управляющей системы дизель-поезда ДЭЛ-02 / В. Д. Дмитриенко, Н. В. Мезенцев, Г. В. Гейко // Інформатика, управління та штучний інтелект. Матеріали III міжнародної науково-технічної конференції студентів, магістрів та аспірантів. – Харків : НТУ «ХП», 2016. – С. 23.

14. Гейко Г. В. Синтез законов управления подвижным составом на основе применения принципа максимума Понтрягина / В. Д. Дмитриенко, Н. В. Мезенцев, Г. В. Гейко // Проблеми інформатики та моделювання. Тезиси XVII міжнародної науково-технічної конференції. – Харків – Одеса : НТУ «ХП», 2017. – С. 31.

15. Гейко Г. В. Разработка компонента обнаружения и защиты от боксования для компьютерной бортовой системы дизель-поезда на основе нечёткой логики / В. И. Носков, Н. В. Мезенцев, Г. В. Гейко // Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту. Матеріали міжнародної наукової конференції. – Херсон : Видавництво ФОП Вишемирський В. С., 2018. – С. 90 – 92.

ABSTRACT

Heiko H. V. Models, methods and software components of the diesel-train onboard computer system. Manuscript.

There is the dissertation of the obtaining the scientific degree of the technical sciences candidate in specialty 05.13.05 – computer systems and components – National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, 2019.

The dissertation solves the scientific and practical problem of development and researching models, methods and software components of the diesel-train onboard computer control system to clarify the traction calculations method.

The purpose of the dissertation is the development and researching of models, methods and software components of the diesel-train onboard computer control system for clarification of the traction calculations method.

The object of study is the processes of control of the diesel-train.

The subject of study is the computer control system of the diesel-train DEL-02.

The introduction substantiates the relevance of the dissertation work topic; the purpose and tasks of research are formulated; the connection of the dissertation with scientific themes and programs is given; the object and the subject of the research are determined; the provisions, that determine the practical value of the obtained results and their scientific novelty, are highlighted; the personal contribution of the applicant in the obtained results, their approbation and publication are highlighted.

In the first section the analysis of the modern computer control systems (CCS) was carried out by the traction rolling stock, their advantages and disadvantages were revealed to clarify the diesel-train traction calculations.

Modern computer systems are widely used in various fields of science and technologies during the construction of control systems, regulation, control and diagnostics of various objects parameters. CCS was used on the first domestic diesel-trains of the series DEL-02 with a traction asynchronous drive. Its feature is that it is a real-time system and the tasks that it solves are aimed at both

minimizing energy consumption and at a traffic safety. Due to the fact that the purchase of expensive foreign software and hardware products leads to a decrease in the competitiveness of the developed domestic trains, the development and modernization of existing CCS is an urgent task.

Improving the quality of the onboard CCS diesel-train DEL-02 in real time can be accomplished by automating the processes of management, control and diagnostics on the basis of the usage of a wide range of hardware, in particular, computers that equip the necessary input-output devices and the specialized software. The combination of a promising hardware and a modern mathematical device makes it possible to improve the existing CCS diesel-train in order to obtain suitable for computer processing of the parameters of the processes, the results of which can be used to evaluate the performance of both the whole diesel-train and its individual nodes. Thus, the scientific and practical task of development and research models, methods and program components of the onboard CCS of the diesel-train control DEL-02 for the purpose to clarify the traction calculations method is actual and has determined directions of the dissertation work research.

The second section is devoted to the development of software components for the traffic control subsystem, which is part of the CCS of the diesel-train DEL-02. A method of the identification of the parameters of the diesel train model is proposed, which, unlike the known ones that uses constant parameters that are known before the start of calculations, takes into account during the movement of the train the changes in the parameters of the electric drive and the moment of the movement resistance and performs their adjustment in real time, this allows you to calculate the control impacts for the object management system more accurately. A method that implements the calculation of the stator current value of the each traction asynchronous motor is proposed, not on the average, but on the effective value of its first harmonic, which allowed to calculate the control influences to control the object more accurately.

The third section is devoted to the issue of the improvement of the anti-slipping subsystem, which is part of the CCS diesel-train DEL-02. A mathematical model

which allows conducting research on the processes in the electric drive, which arise during slipping of the wheelsets, is developed. It proposes a method for detecting the wheelsets slipping of a diesel-train, which, unlike the known ones, is based on a fuzzy logic that allowed to detect synchronous and individual slipping of the wheelsets. Application of the software component that implements the proposed method on a real object, has reduced the time of detection of the wheelsets slipping, reduced the number of false positives, reduced wastage of bandages of wheelsets and increases traction properties of diesel-trains.

The fourth section is devoted to the improvement of the subsystem of control and diagnostics, which is part of the CCS of the diesel-train DEL-02. A software component that implements the algorithm of the recurrent neural network, which, in contrast to the known neural network, which controls only the slow departure of the parameters of the control object from the nominal values, provides operational control of exceeding the limit values of the parameters of the diesel-train and defines the processes associated with its nodes, which operate in abnormal mode, has been developed.

The results of the dissertation work are introduced:

- in the motorwagon depot «Khrystynivka» of the regional branch «Odessa railway» with the improvement of the onboard computer system of the diesel-trains of series DEL-02 with the electric drive;

- in the educational process of the NTU «KhPI» at the department of computer engineering and programming during the teaching of the academic disciplines: «System analysis and mathematical modeling», «Onboard control systems», «Control and diagnostics of computer systems», and also in courses, thesis and scientific works of students of the specialty 123 «Computer engineering».

Keywords: computer control system, software component, traction asynchronous motor, neural network.

LIST OF PUBLICATIONS OF THE APPLICANT

1. Heiko H. V. Identification of parameters of the diesel-train asynchronous drive / N. V. Mezentsev, A. Yu. Zakovorotniy, H. V. Heiko // Bulletin of the National Technical University «KhPI». Collection of scientific works. Series: Computer Science and Modeling. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2014. – № 35 (1078). – P. 141 – 146.
2. Heiko H. V. Simulation of the detection system and protection from slipping diesel-train / V. I. Noskov, N. V. Mezentsev, H. V. Heiko // Bulletin of the National Technical University «KhPI». Collection of scientific works. Series: Computer Science and Modeling. – Kharkiv : NTU «KHPI», 2014. – № 62 (1104). – P. 103 – 108.
3. Heiko H. V. Method for determining the harmonic composition of the stator phase current of an asynchronous motor in systems of adjustable drives / V. I. Noskov, N. V. Mezentsev, H. V. Heiko, M. V. Lipchanskiy // Systems of information processing: a collection of scientific works. – Kharkiv : Ivan Kozhedub Kharkiv University of Air Force, 2015. – № 7 (132). – P. 59 – 61.
4. Heiko H. V. Analysis of integral indicators for the control of traction rolling stock / V. D. Dmitrienko, H. V. Heiko, N. V. Mezentsev, S. Yu. Leonov // Systems of information processing: a collection of scientific works. – Kharkiv : Ivan Kozhedub Kharkiv University of Air Force, 2015. – № 12 (137). – P. 20 – 22.
5. Heiko H. V. The method of detection and protection from slipping diesel-train based on fuzzy logic / V. D. Dmitrienko, V. I. Noskov, N. V. Mezentsev, H. V. Heiko // Systems of control, navigation and communication. – Poltava : Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, 2017. – № 6 (46). – P. 65 – 69.
6. Heiko H. V. Development of new software components for a diesel-train control system / H. V. Heiko // Information and control systems in the railway transport. – Kharkiv : UkrSURT, 2018. – № 2. – P. 23 – 31.

7. Heiko H. V. Identification of asynchronous drive parameters using a genetic algorithm / N. V. Mezentsev, H. V. Heiko // Electrotechnical systems and complexes. – Magnitogorsk : Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2014. – № 4 (25) – P. 14 – 17.

8. Heiko H. V. Identification of parameters of the diesel-train motion model / N. V. Mezentsev, H. V. Heiko, S. V. Horpinko // Information technology: science, technology, technology, education, health. Abstracts of the XXII International Scientific and Practical Conference. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2014. – P. 48.

9. Heiko H. V. Identification of parameters of the asynchronous drive of a diesel-train using a genetic algorithm / N. V. Mezentsev, H. V. Heiko // Problems of computer science and modeling. Abstracts of the XIV International Scientific and Technical Conference. – Kharkiv – Yalta : NTU «KhPI», 2014. – P. 25.

10. Heiko H. V. To the question of determining the harmonic composition of the phase current of the stator of an asynchronous motor in systems of adjustable drives / V. I. Noskov, N. V. Mezentsev, H. V. Heiko // Information technology: science, technology, technology, education, health. Abstracts of the XXIII International Scientific and Practical Conference. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2015. – P. 73.

11. Heiko H. V. Engine model of diesel-train transmission with traction asynchronous motors / V. I. Noskov, M. V. Lipchanskiy, N. V. Mezentsev, H. V. Heiko // Problems of computer science and modeling. Abstracts of the XV International Scientific and Technical Conference. – Kharkiv – Odessa : NTU «KhPI», 2015. – P. 64.

12. Heiko H. V. Use of taxonomic indicator for monitoring and diagnostics of technical objects / V. D. Dmitrienko, N. V. Mezentsev, H. V. Heiko // Information technology: science, technology, technology, education, health. Abstracts of the XXIV International Scientific and Practical Conference. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2016. – P. 118.

13. Heiko H. V. The tasks of improving the measurement-information and control system of diesel-train DEL-02 / V. D. Dmitrienko, N. V. Mezentsev,

H. V. Heiko // Computer science, management and artificial intelligence. Materials of the III International Scientific and Technical Conference of Students, Masters and Postgraduate Students. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2016. – P. 23.

14. Heiko H. V. Synthesis of rolling stock control laws based on Pontryagin maximum principle / V. D. Dmitrienko, N. V. Mezentsev, H. V. Heiko // Problems of computer science and modeling. Abstracts of the XVII International Scientific and Technical Conference. – Kharkiv – Odessa : NTU «KhPI», 2017. – P. 31.

15. Heiko H. V. Development of a component for detection and protection against slipping for a computer onboard system of a diesel-train based on fuzzy logic / V. I. Noskov, N. V. Mezentsev, H. V. Heiko // Intelligent decision-making and computing intelligence systems. Materials of international scientific conference. – Kherson : Publishing House FOP Vyshemirsky V. S., 2018. – P. 90 – 92.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	4
ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 ЗАСТОСУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ	10
1.1 Аналіз сучасних бортових комп'ютерних систем керування тяговим рухомим складом	11
1.2 Аналіз структури бортової комп'ютерної системи керування дизель-поїзда ДЕЛ-02.....	16
1.3 Висновки до розділу 1.....	28
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНИХ КОМПОНЕНТІВ ДЛЯ ПІДСИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РУХОМ	29
2.1 Синтез закону оптимального керування дизель-поїздом на основі принципа максимуму Понтрягіна	29
2.2 Розроблення програмного компонента ідентифікації параметрів моделі дизель-поїзда	40
2.3 Розроблення програмного компонента для уточнення закону керування електропередачею	57
2.3 Висновки до розділу 2	61
РОЗДІЛ 3 ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОТИБОКСУВАЛЬНОЇ ПІДСИСТЕМИ	63
3.1 Проблеми боксування дизель-поїзда	63
3.2 Розроблення програмного компонента виявлення боксування	68
3.3 Висновки до розділу 3	86
РОЗДІЛ 4 ВДОСКОНАЛЕННЯ ПІДСИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТИКИ СТАНУ ДИЗЕЛЬ-ПОЇЗДА.....	88
4.1 Розроблення програмного компонента контролю та діагностики стану дизель-поїзда	89
4.2 Висновки до розділу 4	106

ВИСНОВКИ	107
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	109
ДОДАТОК А. СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ	125
ДОДАТОК Б. ТЕКСТ ПРОГРАМИ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ	128
ДОДАТОК В. АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ	132