

# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

**Державний обліковий номер:** 0823U100709

**Особливі позначки:** відкрита

**Дата реєстрації:** 27-09-2023

**Статус:** Захищена

**Реквізити наказу МОН / наказу закладу:**



## II. Відомості про здобувача

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Мугенов Даніїл Джалільович

2. Daniil D. Muhenov

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Вид дисертації:** доктор філософії

**Шифр наукової спеціальності:** 141

**Назва наукової спеціальності:** Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

**Галузь / галузі знань:** електрична інженерія

**Освітньо-наукова програма зі спеціальності:** Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

**Дата захисту:** 12-09-2023

**Спеціальність за освітою:** Електромеханічні системи автоматизації та електропривод

**Місце роботи здобувача:**

**Код за ЄДРПОУ:**

**Місцезнаходження:**

**Форма власності:**

**Сфера управління:**

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

**Сектор науки:** Не застосовується

### III. Відомості про дисертацію

**Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради):** ДФ 26.002.29; ID 2062

**Повне найменування юридичної особи:** Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

**Код за ЄДРПОУ:** 02070921

**Місцезнаходження:** проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

**Сектор науки:** Університетський

### IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію

**Повне найменування юридичної особи:** Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

**Код за ЄДРПОУ:** 02070921

**Місцезнаходження:** проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

**Сектор науки:** Університетський

### V. Відомості про дисертацію

**Мова дисертації:** Українська

**Коди тематичних рубрик:** 45.41

**Тема дисертації:**

1. Частотно-регульований електропривод підвищеної радіаційної стійкості для вантажопідйомних машин сховища радіоактивних відходів
2. Frequency-regulated electric drive with increased radiation resistance for radioactive waste storage hoisting machines

**Реферат:**

1. В роботі здійснено аналіз проблемної області застосування частотно-регульованих електроприводів середньої потужності в умовах впливу іонізуючого випромінювання. В мостовому крані сховища радіоактивних відходів застосовуються частотно-регульовані електроприводи загальнопромислового виконання, тобто не вживаються жодні заходи і спеціальні технології для радіаційного захисту обладнання.

Для врахування радіаційних ефектів обрано величину поглиненої дози іонізуючого випромінювання. Проведено огляд конструкції і матеріалів, з яких складається кожен з елементів електроприводу. Виявлено, що напівпровідникові пристрої мають найменшу стійкість до іонізуючого випромінювання, зокрема деградація властивостей кремнію починається із поглиненої дози 1 крад, на відміну від діелектриків (1 Мрад) та конструкційної сталі (100 Мрад). В подальшому дослідження зорієнтовано на найслабкішій ланці системи, тобто на напівпровідникових приладах. Розглянуто структуру силового напівпровідникового каналу частотно-регульованого електроприводу. Розкрито, що для перетворювачів частоти середньої потужності в якості ключів інвертора застосовують біполярні транзистори з ізольованим затвором. Оскільки дослідження радіаційних ефектів таких транзисторів в літературі не виявлено, прийнято рішення про застосування схеми заміщення біполярного транзистора з ізольованим затвором. Для дослідження радіаційних ефектів в біполярних транзисторах з ізольованим затвором обрано схему заміщення на основі елементів, радіаційні ефекти яких відомі. Розглянуто два типи драйверів управління силовими ключами інвертора – на основі польових (метал-діелектрик-напівпровідникових) і біполярних транзисторів. Побудовані електричні схеми заміщення силового напівпровідникового каналу перетворювача частоти із цими драйверами. Синтезовано і досліджено математичні моделі напівпровідникових силових каналів перетворювача частоти для врахування радіаційних ефектів. Для цього розглянуто радіаційні ефекти в окремих напівпровідникових елементах силового каналу перетворювача частоти: діодах, біполярних і польових (метал-діелектрик-напівпровідникових) транзисторах і оптронах. В процесі порівняння двох варіантів виявлено, що система із драйверами на основі біполярних транзисторів стійкіша за систему із драйверами на основі польових транзисторів. Дослідження синтезованої моделі дозволило визначити напівпровідниковий пристрій в складі силового каналу перетворювача частоти, зміна параметрів якого найсуттєвіше впливає на роботу системи. Виявлено, що в системі із драйверами на основі біполярних транзисторів використання радіаційно нечутливого біполярного транзистора в складі БТІЗ забезпечує незмінну амплітуду вихідної напруги перетворювача частоти із зростанням дози до 800 крад, після чого настає функціональна відмова. З'ясовано, що радіаційна зміна параметрів оптрона найсуттєвіше впливає на роботу всієї системи. Оскільки атмосферний оптичний канал зв'язку – це, по суті, оптрон, випромінювач і фотоприймач якого віддалені один від одного в просторі на значну відстань (до 150 метрів), він потребує додаткового дослідження. Розглянуто функціональну схему і технічні характеристики атмосферного оптичного каналу зв'язку. Як критерій якості передачі даних обрано коефіцієнт бітових помилок. Виконано аналіз факторів, що погіршують якість передачі інформації, до таких факторів відносяться: послаблення потужності отриманого приймачем сигналу внаслідок не безкінечно вузької діаграми спрямованості передатчика; шумові перешкоди передатчика, каналу і приймача; деградація викликана впливом іонізуючої радіації; природна деградація лазера; послаблення лазерного випромінювання в атмосфері. Задля підвищення якості передачі в атмосферному оптичному каналі зв'язку запропоновано застосування штучної нейронної мережі в складі демодулятора. Такий демодулятор оперує векторами, а не миттєвими значеннями сигналів, що дозволяє достовірно класифікувати сигнал при низьких значеннях відношення сигнал / шум. Сформовано і оброблено навчальну вибірку для навчання штучної нейронної мережі. Виходячи із задачі класифікації обрано, навчено і протестовано дев'ять типів архітектур штучних нейронних мереж. Позитивного результату вдалося досягти лише з двома типами: прямого поширення із двома лініями затримки і радіально-базисної мережі. Мережа прямого поширення із 24 нейронами прихованого шару і 2 лініями затримки входу показала найнижчий коефіцієнт бітових помилок при відношенні сигнал / шум більше за 0.7 дБ. На нижчих відношеннях сигнал / шум її крива співпадає із кривою штучної нейронної мережі із 25 нейронами і вони нижчі за криву демодулятора на основі компаратора. Ключові слова: електропривод, перетворювач частоти, інвертор, електротехнічний пристрій, вантажопідйомна машина, мостовий кран, радіоактивні відходи, радіація, іонізуюче випромінювання, атмосферний оптичний канал зв'язку, математичне моделювання.

2. The analysis of the problem area of application of medium power frequency-regulated electric drives in the conditions of influence of ionizing radiation is carried out in the work. The radioactive waste storage bridge crane uses general industrial design of frequency-regulated electric drives, scilicet no activity and special technologies

are used for radiation protection of equipment. The value of the absorbed dose of ionizing radiation was chosen to take into account the radiation effects. The structure and materials of each of the electric drive elements review was performed. It was found that semiconductor devices have the lowest resistance to ionizing radiation, in particular, the degradation of silicon properties begins with an absorbed dose of 1 krad, in contrast to dielectrics (1 Mrad) and structural steel (100 Mrad). Further research focuses on the weakest link in the system that is semiconductor devices. The structure of the power semiconductor channel of the frequency-regulated electric drive is considered. It is revealed that insulated gate bipolar transistors are used as inverter switches for medium power frequency converters. Since the radiation effects study of such transistors in the literature has not been identified, it was decided to use a substitution scheme for an insulated gate bipolar transistor. To study the radiation effects in insulated gate bipolar transistor, a substitution scheme based on elements whose radiation effects are known was chosen. Two types of inverter power switch control drivers are considered – based on field effect (metal-oxide-semiconductor) and bipolar transistors. The electrical circuits of the frequency converter power semiconductor channel with these drivers are constructed. Mathematical models of frequency converter semiconductor power channels for accounting of radiation effects are synthesized and investigated. To do this, the radiation effects in diodes, bipolar and field effect (metal-oxide-semiconductor) transistors and optocouplers were considered. In the process of comparison the two options, it was found that the system with drivers based on bipolar transistors is more stable than the system with drivers based on field-effect transistors. The synthesized model exploration allowed to determine the semiconductor device in the frequency converter power channel, which change of parameters most significantly affects the operation of the system. It was found that in a system with drivers based on bipolar transistors, the use of radiation-insensitive bipolar transistor in the IGBT provides constant frequency converter output voltage amplitude with increasing dose up to 800 krad, after which there is a functional failure. It was found that the radiation change of the optocoupler parameters has the most significant effect on the operation of the entire system. Since the optical data transmission system is, in fact, an optocoupler, which emitter and photodetector are separated from each other in space by a considerable distance (up to 150 meters), it requires additional research. The functional scheme and technical characteristics of the optical data transmission system are considered. Bit error rate is chosen as a criterion for data transfer quality. The analysis of factors that degrade the quality of information transmission is performed, the following factors include: weakening of the received signal power due to not infinitely narrow pattern of the transmitter; noise interference of the transmitter, channel and receiver; degradation caused by ionizing radiation; natural laser degradation; attenuation of laser radiation in the atmosphere. To improve the quality of transmission in the optical data transmission system, the use of an artificial neural network as part of a demodulator has been proposed. Such demodulator operates with vectors instead of instantaneous signal values, which allows to reliably classify the signal at low values of the signal-to-noise ratio. A training sample for an artificial neural network was formed and processed. With considering the classification task, nine types of artificial neural network architectures have been selected, trained and tested. A positive result was achieved with only two types: feed-forward with two delay lines and probabilistic radial basis function network. The feed-forward network with 24 hidden layer neurons and 2 input delay lines showed the lowest bit error rate at a signal-to-noise ratio of more than 0.7 dB. At lower signal-to-noise ratios, its curve coincides with the curve of an artificial neural network with 25 neurons and they are lower than the curve of a traditional demodulator. Key words: electric drive, frequency converter, inverter, electrotechnical device, hoisting machine, bridge crane, radioactive waste, ionizing radiation, optical data transmission system, mathematical modelling.

**Державний реєстраційний номер ДіР:**

**Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки:** Енергетика та енергоефективність

**Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності:** Освоєння нових технологій транспортування енергії, впровадження енергоефективних, ресурсозберігаючих технологій, освоєння альтернативних джерел енергії

**Підсумки дослідження:** Нове вирішення актуального наукового завдання

**Публікації:**

- О.В. Чермалих, Д.Д. Мугенов, “Огляд радіаційної стійкості компонентів загальнопромислового частотно-регульованого електроприводу”, Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського, № 2/2020 (121), сс. 148-157, квітень 2020. DOI: 10.30929/1995-0519.2020.2.148-157
- А.В. Чермалых, Д.Д. Мугенов, “Влияние ионизирующего излучения на выходное напряжение преобразователя частоты”, Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal), № 5(57), сс. 26-34, май 2020.
- О.В. Чермалих, Д.Д. Мугенов, “Дослідження радіаційної залежності амплітуди вихідної напруги перетворювача частоти з ланкою постійного струму за допомогою математичної моделі”, Вісник Хмельницького національного університету, Том 1, №4, сс. 168-173, листопад 2020. DOI 10.31891/2307-5732-2020-287-4-168-173
- О.В. Чермалих, Д.Д. Мугенов, “Дослідження атмосферного оптичного каналу зв'язку в складі системи управління мостовим краном сховища радіоактивних відходів”, Суднобудування та морська інфраструктура, №1 (13), листопад 2020. DOI [https://doi.org/10.15589/smi2020.2\(14\).5](https://doi.org/10.15589/smi2020.2(14).5)

**Наукова (науково-технічна) продукція:** технології

**Соціально-економічна спрямованість:** зменшення зносу обладнання

**Охоронні документи на ОПІВ:**

**Впровадження результатів дисертації:** Впроваджено

**Зв'язок з науковими темами:** 0123U101564

## **VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Мазуренко Леонід Іванович

2. Leonid I. Mazurenko

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Інститут електродинаміки Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 05417236

**Місцезнаходження:** пр., Берестейський, буд. 56, Київ, 03680, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

**Сектор науки:** Академічний

## **VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Герасименко Павло Юрійович
2. Pavel Y. Herasymenko

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується**Додаткова інформація:****Повне найменування юридичної особи:** Інститут електродинаміки Національної академії наук України**Код за ЄДРПОУ:** 05417236**Місцезнаходження:** пр., Берестейський, буд. 56, Київ, 03680, Україна**Форма власності:** Державна**Сфера управління:** Національна академія наук України**Ідентифікатор ROR:****Сектор науки:** Академічний**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Сінчук Олег Миколайович
2. Oleg M. Sinchuk

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується**Додаткова інформація:****Повне найменування юридичної особи:** Державний вищий навчальний заклад "Криворізький національний університет"**Код за ЄДРПОУ:** 01020304**Місцезнаходження:** вул. Віталія Матусевича,11, Кривий Ріг, Криворізький р-н., 50027, Україна**Форма власності:****Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується**Сектор науки:** Університетський**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Босак Алла Василівна
2. Alla V. Bosak

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується**Додаткова інформація:****Повне найменування юридичної особи:** Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"**Код за ЄДРПОУ:** 02070921

**Місцезнаходження:** проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

**Сектор науки:** Університетський

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Торопов Антон Валерійович

2. Anton V. Toropov

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

**Код за ЄДРПОУ:** 02070921

**Місцезнаходження:** проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

**Сектор науки:** Університетський

## VIII. Заключні відомості

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові голови ради:** Островерхов Микола Якович

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові головуючого на засіданні:** Островерхов Микола Якович

**Відповідальний за підготовку облікових документів:** Даніїл Мугенов

**Реєстратор:** УкрІНТЕІ

**Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є  
відповідальним за реєстрацію наукової  
діяльності**



Юрченко Тетяна Анатоліївна