

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного



Науковий вісник

Таврійського державного агротехнологічного університету



Випуск 12, том 3

Електронне наукове фахове видання

Запоріжжя – 2022 р.

УДК [631.3+621.3+004]

T 13

Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне наукове фахове видання / ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. – Мелітополь: ТДАТУ, 2022. – Вип. 12, том 3.

ISSN 2220-8674

Друкується за рішенням Вченої Ради ТДАТУ,
Протокол № 6 від 27 грудня 2022 р.

Представлені результати наукових досліджень вчених у галузях галузевого машинобудування, енергетики, електротехніки, електромеханіки, харчових технологій, комп'ютерних наук та інформаційних технологій.

Видання призначене для наукових працівників, викладачів, інженерно-технічного персоналу і здобувачів вищої освіти, які спеціалізуються у відповідних або суміжних галузях науки та напрямках виробництва.

Реферативні бази: Crossref, Google Scholar, AGRIS, «Україна наукова», НБУ ім. В. І. Вернадського.

Редакційна колегія:

Головний редактор

Кюрчев В. М. чл.-кор. НААН України, д.т.н., проф. (Україна)

Заступник головного редактора

Надикто В. Т. – чл.-кор. НААН України, д.т.н., проф. (Україна)

Відповідальний секретар

Діордієв В. Т. – д.т.н., проф. (Україна)

Технічний секретар

Кондратюк Ю.В. (Україна)

Beloev Hristo – д.т.н., проф. (Болгарія)

Cortez Jose Italo – PhD (Mexico)

Ivanovs Semjons – PhD (Latvia)

Olt Jüri – PhD, проф. (Eesti)

Pascuzzi Simone – Dr. проф. (Italia)

Вершков О. О. – к.т.н., доц. (Україна)

Волошина А.А. – д.т.н., проф. (Україна)

Гавриленко Є. А. – д.т.н., проф. (Україна)

Галько С. В. – к.т.н., доц. (Україна)

Гнатушенко В. В. – д.т.н., проф. (Україна)

Гумен О. М. – д.т.н., проф. (Україна)

Дейниченко Г. В. – д.т.н., проф. (Україна)

Євлаш В. В. – д.т.н., проф. (Україна)

Журавель Д. П. – д.т.н., проф. (Україна)

Квітка С. О. – к.т.н., доц. (Україна)

Кувачов В. П. – д.т.н., доц. (Україна)

Кузнецов М. П. – д.т.н., с.н.с. (Україна)

Кюрчев С. В. – д.т.н., проф. (Україна)

Лендел Т. І. – к.т.н., (Україна)

Лисиченко М. Л. – д.т.н., проф. (Україна)

Ломейко О. П. – к.т.н., доц. (Україна)

Лубко Д. В. – к.т.н., доц. (Україна)

Лясковська С. Є. – к.т.н., доц. (Україна)

Малкіна В. М. – д.т.н., проф. (Україна)

Мацулевич О. Є. – к.т.н., доц. (Україна)

Паламарчук І. П. – д.т.н., проф. (Україна)

Панченко А. І. – д.т.н., проф. (Україна)

Пилипенко Л. М. – д.т.н., проф. (Україна)

Погребняк А. В. – д.т.н., проф. (Україна)

Постолатій В. М. – д.х.т.н. (Молдова)

Пріс О. П. – д.т.н., проф. (Україна)

Самойчук К. О. – д.т.н., проф. (Україна)

Сердюк М. Є. – д.т.н., проф. (Україна)

Сидоренко О. С. – к.т.н., доц. (Україна)

Скляр О. Г. – к.т.н., проф. (Україна)

Скляр Р. В. – к.т.н., доц. (Україна)

Соболь О. М. – д.т.н., проф. (Україна)

Тітова О. А. – д.т.н., доц. (Україна)

Холодняк Ю. В. – к.т.н., доц. (Україна)

Шоман О. В. – д.т.н., проф. (Україна)

Яковлев В. Ф. – к.т.н., проф. (Україна)

Ялпачик В. Ф. – д.т.н., проф. (Україна)

Відповідальний за випуск – к.т.н., професор Скляр О. Г.

Адреса редакції: ТДАТУ

Вул. Жуковського, 66,

м. Запоріжжя, 69600, Україна

© Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, 2022.



DOI: 10.31388/2220-8674-2022-3-28

УДК 621.316.925

В. Б. Гулевський, к.т.н.,

ORCID: 0000-0003-1434-9724

Ю. О. Постол, к.т.н.,

ORCID: 0000-0002-0749-3771

І. Г. Добровенко, здобувач СВО «Магістр»

*Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного*

E-mail: vadym.hulevskyi@tsatu.edu.ua

ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

Анотація. Робота присвячена огляду сучасного стану релейного захисту електричних мереж.

З метою забезпечення надійного та безперебійного електропостачання споживачів, запобігання пошкодженню та руйнуванню електрообладнання та збереження стійкості енергосистеми необхідно якнайшвидше відключити пошкоджену ділянку енергосистеми.

Пристрої релейного захисту є основним видом електричної автоматики, без якої неможлива нормальна та надійна робота сучасних енергетичних систем та призначена для захисту енергосистем та її елементів від небезпечних наслідків пошкоджень та ненормальних режимів. Власне, тому вони так і називаються - пристрої релейного захисту та електроавтоматики (РЗА). Реле - це пристрій, який реагує на зміни будь-якої фізичної величини, наприклад струму, напруги, тиску, температура. При відхиленні цього значення вище допустимої межі спрацьовує реле і його контакти, замикання або розмикання, здійснюють необхідні перемикання шляхом подачі або відключення напруги в ланцюгах керування електроустановки [1,2].

З аналізу сучасного стану захисту електричних мереж, які використовують в Україні більшість пристроїв релейного захисту відносяться до покоління електромеханічних і мікроелектронних реле і не відповідають сучасним науково-технічним вимогам [3]. Принципи, які зараз застосовуються в реле захисту, були розроблені протягом перших трьох десятиліть минулого століття, такі як надструмовий, спрямований, дистанційний і диференціальний захисту. Розвиток сучасної науки і технології, особливо електронні та комп'ютерні технології, сприяв розвитку релейної техніки.

Один з напрямків удосконалювання – використання



мікропроцесорів для виконання функцій релейного захисту й автоматики. У зв'язку з цим активно спостерігається тенденція переходу систем електропостачання від релейного захисту та автоматики, реалізованої на електромеханічних реле (ЕМЗ), до мікропроцесорних пристроїв релейного захисту.

Ключові слова: релейний захист, програмування, автоматика, мікропроцесор.

Постановка проблеми. Будь-яка електроенергетична система є складним об'єктом з великою кількістю різноманітних зв'язків між багатьма своїми елементами. Порушення якогось з'єднання призводить до пошкодження або ненормальної роботи цієї системи. На сьогоднішній день існує безліч апаратів, здатних в найкоротші терміни запобігти аварії на дільниці, яку обслуговує електромережі або в крайньому випадку попередити персонал про порушення робочого режиму.

Релейний захист - область, що безперервно змінюється і розширюється електроенергетики, що використовує зараз мікропроцесорну апаратуру та комп'ютерні програми не лише для захисту, а й для комплексного керування електроустановками. Мікропроцесорна технологія залишається поки визначальною технологією на рівні всієї енергосистеми. Безперечно, що подальший розвиток технології забезпечить подальше збільшення характеристик роботи процесора, більший розмір і більш високу щільність пам'яті, високу роздільну здатність та швидке аналогове-цифрове перетворення [4].

Аналіз останніх досліджень. Найперші електричні реле були розроблені в 1830-х роках, коли люди почали визнавати, що такі вимикачі можуть бути надзвичайно корисними [2,3,4]. Історично склалося так, що електричні реле часто виготовлялися з електромагнітами, які продовжують використовуватися й сьогодні, хоча для деяких застосувань перевагу надають твердотільним реле [5].

Основне призначення РЗА полягає у тому, щоб забезпечити захист електроустановок від пошкоджень та ненормальних режимів роботи, які можуть призвести до поширення аварії. Щоб виключити перерву живлення, необхідно швидко відключити пошкоджений елемент, відновити електричне живлення споживачів, автоматично відключених від джерела живлення в результаті пошкодження, підтримувати на заданому рівні параметри якості електроенергії, забезпечити пуск і зупинку машин, забезпечити відключення частини споживачів при виникненні дефіциту активної потужності в енергосистемі та багато іншого [6]. З кожним роком спеціалістам у релейній галузі приходиться все глибше удосконалювати програмне забезпечення пристроїв, В



сучасних пристроях релейного захисту є тенденція на компактність та багатофункційність, що призводить до зменшення розміру та кількості задіяних пристроїв у електричних схемах. Зараз ті хто працює в експлуатації на собі відчувають, що найактуальнішим напрямком розвитку базуються навколо цифрових підстанцій, цифрових РЕМ тощо. Необхідні функційні можливості відбираються в залежності від вимог та призначаються на відповідний пристрій. Це призводить до подальшої функційної інтеграції, яка не означає, що всі функції повинні бути в одному пристрої. Залежно від умов і вимог, функціональні можливості можуть бути об'єднані по-різному. На сьогоднішній день спеціалісти з релейного захисту все тісніше працюють з програмною базою сучасних мікропроцесорних пристроїв [4,6,7].

Формулювання цілей статті. З огляду на тенденції використання релейного захисту формується визначення технологічного рівня такого захисту та перспективи його удосконалення.

Основні матеріали дослідження. Мікропроцесорні захисні пристрої сприяли створенню захисту зі складними алгоритмами дії, що на іншій елементній базі було б важко створити зі стійкими характеристиками. В даний час широко використовуються мікропроцесорні захисні пристрої та продовжується вдосконалення їх технічної реалізації, а також, що найважливіше, принципів дії. З появою нової елементної бази розробляють нові пристрої релейного захисту (РЗ), такі відомі як ARCTEQ [8], PC83, РЕЛСІС, SIEMENS SIPROTEC [9], які замінили собою пристрої релейного захисту на електронній базі як РС 80, які в свою чергу були заміною РТ80.

Як електромонтеру студенту Добровенко І.Г., під час дуальної форми здобуття вищої освіти «Магістр», яка передбачає навчання на робочому місці доводилося займатися монтажем та наладкою новітнього обладнання (рис.1).

На рисунку 2 представлено зразки панелей захисту, які використовуються на одному з підприємств України. Важливо зауважити, що на рис. 2,а зображена лише одна з панелей захистів, котрих дві, на цій панелі розташований диференційний захист на основі ДЗТ-11 та захист лише сторони 35кВ, але є також панель захисту по стороні 6кВ, на рис. 2,б зображена панель захисту на основі мікропроцесорних пристроїв на основі яких базується захист силового трансформатора.

Через специфічність деяких пристроїв, наприклад РЕЛСІС у якому відносна гнучка логіка та зі своїми певними нюансами при наладці, останні тенденції диктують виробникам новітнього обладнання у сфері релейного захисту необхідність розробки гнучкої архітектури програмної та апаратної частин, що оптимально відповідає на умови,



Рисунок 1. Монтаж та наладка новітнього обладнання



а – стара панель захисту силового трансформатора на базі електромеханічних реле



б – нова панель захисту силового трансформатора на основі мікропроцесорних пристроїв

Рисунок 2. Пристрої релейного захисту

що змінюються. Як приклад, при наладці іноземних пристроїв захисту, при спробі налаштувати логіку цих пристроїв під свої потреби, було

зіпсовано діючу логіку через непривітливність системи, завдяки тому що в них був ще один такий пристрій, вони скопіювали в ньому логіку та встановили її в цей мікропроцесорний пристрій.

Одними з найрозвинутішими та одночасно складнішими були німецькі термінали компанії SIEMENS SIPROTEC (рис. 3, рис. 4) для захисту силового трансформатора на підстанції 110/35/10кВ.

Ще одним вдосконаленням пристроїв РЗА стали технології комунікації, що вже довгий час вже були достатньо на високому рівні, ось у нових пристроях РЗА реалізовуватимуться переваги нових технологій, а особливо застосування каналів зв'язку від приєднання до рівня підстанції, що вже відбувається.

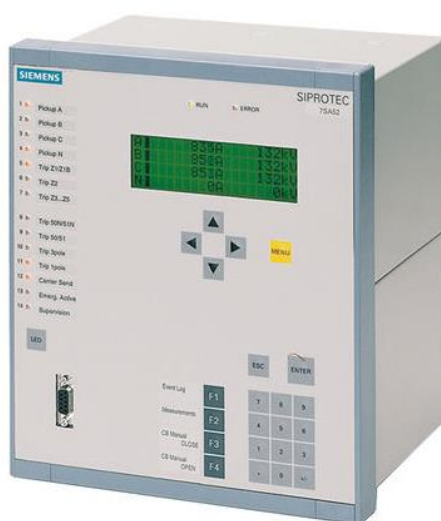


Рисунок. 3. Вид з лицьової частини мікропроцесорного терміналу релейного захисту SIEMENS SIPROTEC



Рис. 4. Панель захисту силового трансформатора для підстанції 110/35/10 на основі SIEMENS SIPROTEC та РЕЛСІС

Як приклад можна привести телемеханіку, яка набула великої популярності через цифровізацію та оптимізацію робочого процесу.

На рисунку показана панель автоматики для регулювання напруги у мережі на основі сучасного мікропроцесорного пристрою РС83-В4 (рис.5).

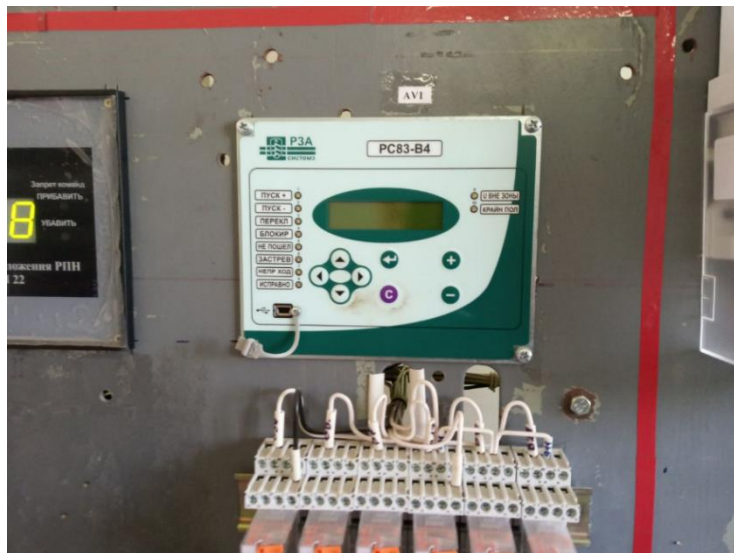


Рисунок 5. Мікропроцесорний пристрій РС 83-В4

Насправді функційна інтеграція означає, що у окремих терміналах захисту розподілені додаткові функції, такі як моніторинг, підвищена точність виміру та інше. Потреби обробки «в реальному часі», неймовірно важливою складовою, тому що необхідні для швидкого аналізу та робота захисту, процеси відбуваються впродовж декількох десятків мілісекунд, але є тенденції на зменшення часу, а у майбутньому до декількох мілісекунд. В таких малих діапазонах часу й працюють по типу RECON та REGINA, за допомогою яких визначають час і місце, де була аварійна ситуація.

Висновки. Трансформація енергетичної системи та впровадження нових технологій у майбутньому будуть зумовлені радикальними змінами в принципах побудови систем РЗА і автоматики. Але реалізація цих змін можлива лише за умови забезпечення високої надійності систем РЗА і, зокрема, шляхом розробки нового підходу до вирішення проблем резервування.

Збільшення продуктивності та пропускнуєї спроможності каналу зв'язку сприятиме появі нових властивостей систем РЗА. У майбутньому буде потрібна інтеграція «додаткового» стандарту: нове складання схем на «нижньому рівні» (бездротовий Ethernet, OPC-UA) або на «рівні застосування» (розподілена генерація), нова семантика (автоматизація чи графічні описи), кібербезпека тощо.



Список використаних джерел

1. Justin, Ugwu & Josephine, Mbunwe & Victory, Madueme & Hillary, Idoko & Ejiofor, Oti. (2020). Protection of a Disturbed Electric Network Using a Solid State Protective Relay. *Technology Reports of Kansai University*. 62. 286–296.
2. ABDELMOUMENE, Abdelkader and BENTARZI, Hamid. A review on protective relays' developments and trends. *J. energy South. Afr.* [online]. 2014, vol.25, n.2 [cited 2022-11-05], Pp.91-95 URL: http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1021-447X2014000200010 (date of application: 05.110.2022).
3. Гулевский В. Б., Кузнецов И. А. Современные тенденции в автоматизации технологических процессов. *Науковий вісник ТДАТУ*, Вип. 9, том 1. DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-49
4. Стаднік М. І., Видмиш А. А., Штуць А. А., Колісник М. А. Інтелектуальні системи в електроенергетиці. *Теорія та практика: навчальний посібник*. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2020. 332 с.
5. Борисов О. В. Основи твердотільної електроніки: навч. посіб. / за ред. Ю. І. Якименка. К.: Освіта України, 2011. 462 с.
6. Асланова Г. Н. Особливості електромеханічного реле або мікропроцесорних пристроїв релейного захисту. *Молодий учений*. 2015. № 23 (103). С. 101–102. URL: <https://moluch.ru/archive/103/23797/> (дата звернення: 22.10.2022).
7. Махлін П. В., Костенко С. Ю., Кузьменко О. П. Інтелектуальні пристрої релейного захисту та автоматики: навч. посібник. Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. 256 с.
8. Protection Relays. *Arcteq*. URL: <https://www.arcteq.fi/applications/protection-relays/#content>
9. Brands We Deal In: *DSG Enterprises*. URL: <https://www.dsgenterprisesltd.com>

Стаття надійшла до редакції 06.11.2022 р.

V. Hulevskyi, Y. Postol, I. Dobrovenko
Dmytro Motornyi Tavria state agrotechnological university

OVERVIEW OF THE CURRENT STATE OF RELAY PROTECTION OF ELECTRICAL NETWORKS

Summary

The work is devoted to the review of the current state of relay protection of electrical networks.

In order to ensure a reliable and uninterrupted power supply to consumers, prevent damage and destruction of electrical equipment, and preserve the stability of the power system, it is necessary to disconnect the damaged part of the power system as soon as



possible.

Relay protection devices are the main type of electrical automation, without which the normal and reliable operation of modern power systems is impossible and are designed to protect power systems and their elements from the dangerous consequences of damage and abnormal modes. Actually, that is why they are called so - devices of relay protection and electrical automation. A relay is a device that responds to changes in any physical quantity, such as current, voltage, pressure, temperature. When this value deviates above the permissible limit, the relay is activated and its contacts, closing or opening, carry out the necessary switching by supplying or disconnecting the voltage in the control circuits of the electrical installation.

Based on the analysis of the current state of protection of electrical networks used in Ukraine, the majority of relay protection devices belong to the generation of electromechanical and microelectronic relays and do not meet modern scientific and technical requirements. The principles currently used in protection relays were developed during the first three decades of the last century, such as overcurrent, directional, distance and differential protection. The development of modern science and technology, especially electronic and computer technologies, contributed to the development of relay technology.

One of the areas of improvement is the use of microprocessors to perform relay protection and automation functions. In this regard, there is an active trend of transition of power supply systems from relay protection and automation implemented on electromechanical relays to microprocessor relay protection devices.

Key words: relay protection, programming, automation, microprocessor.

**ЗМІСТ****ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ**

- Богомолів О. В., Михайлов В. М., Завгородній О. І., Ірклієнко В. І., Богомолів О. О., Іващенко С. Г.* 1
До питання енергоємності процесів сепарації зернових сумішей
- Кюрчев С. В., Верхованцева В. О.* 2
Аналіз ефективності застосування каскадного морозильного пристрою для заморожування ягід
- Скляр О. Г., Скляр Р. В., Болтянський Б. В.* 3
Аналіз сучасних технологій та обладнання для утримання виробничої птиці
- Тебенко В. М., Завадських Г. М., Лисак О. І.* 4
Пріоритетні напрями інноваційного розвитку
- Журавель Д. П., Бондар А. М., Філенко Д. Ю.* 5
Структурний аналіз надійності сільськогосподарської техніки при експлуатації на біопально-мастильних матеріалах
- Самойчук К. О., Ковальов О. О., Фучаджи Н. О.* 6
Методика розрахунку параметрів промислового зразка струминно-щілинного гомогенізатора молока
- Kotar A. S.* 7
Modern technologies for processing livestock manure and poultry litter into high-quality fertilizers
- Болтянська Л. О.* 8
Енергозбереження та енергоефективність в домогосподарствах населення
- Дашивець Г. І., Бондар А. М., В'юнник О. В.* 9
Вплив технологічної бази на підвищення рівня виробничих ресурсів сервісного підприємства
- Бондаренко Л. Ю., Тетервак І. Р.* 10
Огляд агрегатів для покращення кисневого балансу компостної суміші



- Мітков В. Б.* 11
Обґрунтування доцільності введення екологічного контролю енергетичних засобів при виробництві сільськогосподарської продукції
- Болтянський Б. В., Скляр Р. В.* 12
Модель функціонування бази технічного сервісу обладнання тваринницьких підприємств
- Ковальов О. О., Самойчук К. О., Паляничка Н. О.* 13
Оптимізація форми внутрішніх поверхонь кільцевої щілини струминного гомогенізатора молока
- Журавель Д. П.* 14
Прогнозування надійності паливної системи мобільної техніки при використанні біодизельних паливних
- Лисак О. І., Тебенко В. М., Завадських Г. М.* 15
Розробка бізнес-плану вирощування цукрової кукурудзи для малих підприємств півдня України
- Ломейко О. П., Верхованцева В. О., Паляничка Н. О.* 16
Аналіз ефективності способів вдосконалення клапанних гомогенізаторів

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

- Дідур В. В., Журавель Д. П., Шокарев О. М., В'юник О. В., Комар А. С.* 17
Аналіз технологій отримання олії з олійних культур
- Боковець С. П., Перцевой Ф. В.* 18
Дослідження гідрогелів агару у поєднанні з медом та кунжутним борошном методом дск для виробництва батончиків
- Бандура В. М., Фіалковська Л. В.* 19
Технологія зберігання насіння зернових культур
- Ілляшенко Я. І., Мельник О. Ю.* 20
Використання кріопорошків в технології виготовлення пастили
- Семко Т. В., Іваніщева О. А.* 21
Формування функціональних властивостей пісочно-відсаджувального печива шляхом застосування зостери



- Крижак Л. М.* 22
Перспективне використання плодів садової ірги (*Amelanchier medic*) у харчовій промисловості
- Роженко А. С., Мельник О. Ю.* 23
Використання калини та продуктів її переробки у виробництві здобних виробів
- Пахомська О. В.* 24
Харчові добавки: класифікація та вплив на організм людини
- Кошель О. Ю., Москаленко А. О., Маренкова Т. І., Лобачова Н. Л.* 25
Визначення показників якості тіста для круасанів
- Геліх А. О., Головка М. П., Кошель О. Ю., Василенко О. О., Чернишов С. О.* 26
Удосконалення технології м'ясних тістових напівфабрикатів з використанням безглютенової рослинної сировини

ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

- Волошин В. С., Азархов О. Ю.* 27
До питання ролі людини в енергетичному обміні сонце-земля
- Гулевський В. Б., Постол Ю. О., Добровенко І. Г.* 28
Огляд сучасного стану релейного захисту електричних мереж
- Сілі І. І., Азархов О. Ю.* 29
Дезінфікуючий UV-C мобільний робот

КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ

- Дереза О. О., Дереза С. В.* 30
Інструменти комунікації для підготовки фахівців АПК
- Холодняк Ю. В., Гавриленко Є. А., Мірошниченко М. Ю.* 31
Комп'ютерне моделювання криволінійних поверхонь на основі масиву точок
- Лубко Д. В., Шаров С. В.* 32
Розробка сучасної експертної системи для галузі свинарства у приватних господарствах



- Зінов'єва О. Г.* 33
Оптимізація технічного обслуговування сільськогосподарської техніки методом імітаційного моделювання
- Лубко Д. В.* 34
Використання Web-технологій для автоматизації розробки технологічних карт вирощування сільськогосподарських культур

Електронне наукове фахове видання

Науковий вісник
Таврійського державного агротехнологічного університету

Випуск 12, том 3.

Відповідальний за випуск – к.т.н., професор Скляр О. Г.

Комп'ютерна верстка: Комар А. С.

Підписано до друку 28 грудня 2022 р.
Друкарня ТДАТУ
18,40 умов. друк. арк.