

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З ПИТАНЬ ПРАЦІ  
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНА УСТАНОВА «НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ  
ІНСТИТУТ ПРОМИСЛОВОЇ БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ»

**ЗАЧЕПА Наталія Василівна**

УДК 331.45: 538.69

**ЗАХОДИ І ЗАСОБИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕЧНИХ УМОВ ПРАЦІ  
ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АСИНХРОННИХ МАШИН**

Спеціальність 05.26.01 – охорона праці

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Кременчуцькому національному університеті імені Михайла Остроградського Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, доцент  
**Сукач Сергій Володимирович,**  
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського Міністерства освіти і науки України,  
доцент кафедри систем автоматичного управління і електроприводу

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, доцент  
**Глива Валентин Анатолійович,**  
Національний авіаційний університет Міністерства освіти і науки України,  
завідувач кафедри безпеки життєдіяльності

доктор технічних наук, с.н.с.  
**Подольцев Олександр Дмитрович,**  
Інститут електродинаміки Національної академії наук України,  
головний науковий співробітник відділу електроживлення технологічних систем

Захист відбудеться «18» квітня 2018 р. о 10<sup>30</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 26.802.01 при ДУ «Національний науково-дослідний інститут промислової безпеки та охорони праці» за адресою: 04060, м. Київ, вул. Вавілових, 13.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державної установи «Національний науково-дослідний інститут промислової безпеки та охорони праці» (04060, м. Київ, вул. Вавілових, 13).

Автореферат розісланий «16» березня 2018 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради  
к. т. н.,



В.В. Майстренко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Останнім часом спостерігається суттєве збільшення кількості та потужності електрообладнання та електроустаткування і, як наслідок, рівня техногенного навантаження на середовище виробничих приміщень. Під час виробничих процесів необхідний контроль за станом і якістю продукції, обслуговуванням електроустановок, що розташовуються в робочих зонах виробничих приміщень. Працівники перебувають під постійним впливом шкідливих і небезпечних виробничих факторів, які впливають на загальне самопочуття, збільшують ймовірність профзахворювань, виробничого електротравматизму й аварій. Тому дослідження впливу та підтримання зазначених показників у робочому просторі у нормованих межах є одним з найважливіших завдань охорони праці на виробництві.

Проведення натурних досліджень і оцінка впливу небезпечних і шкідливих факторів на робітників, які працюють з електричними машинами, є вкрай складною задачею, зв'язку з чим виникає необхідність в розробці сучасних автоматизованих інтелектуальних системи моніторингу та контролю показників виробничого середовища. На даний час відсутній математичний апарат проведення досліджень режимів роботи асинхронних машин (АМ), який би дозволив провести якісну оцінку електромагнітних процесів у силовому колі, зімітувати аварійні режими роботи і, як наслідок, зменшити ймовірність виникнення аварій та нещасних випадків при виробничому процесі. У зв'язку з цим необхідне створення такого апарату та проведення модельних експериментів.

Сталою тенденцією останніх років є зростання впливу електромагнітних полів (ЕМП) критичних амплітуд і частот на виробниче середовище. Слід також зазначити, що у багатьох випадках причиною появи та розвитку аварійної ситуації і, як наслідок, травмування працівників при роботі на діючому електрообладнанні, є їх недостатня практична підготовка, що потребує розробки спеціальних комп'ютерних тренажерів-імітаторів із технічними характеристиками, максимально наближеними до реальних умов експлуатації електротехнічного обладнання. Отже, розробка та впровадження заходів і засобів щодо забезпечення безпечних умов праці при експлуатації асинхронних машин є актуальним науково-практичним завданням.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Основний зміст роботи складають результати досліджень, проведені автором протягом 2015–2017 років.

Дисертаційну роботу виконано відповідно до Загальнодержавної соціальної програми поліпшення стану безпеки, гігієни праці та виробничого середовища на 2014–2018 роки, затвердженої Законом України від 4 квітня 2013 р. № 178–IV. Робота відповідає Закону України «Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2020 року» (№ 2519-VI від 09.09.2010 р.) та спрямованості тематики науково-дослідних робіт кафедри «Системи автоматичного управління та електропривода» Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. Результати дисертаційної роботи використано при виконанні науково-дослідних робіт «Віртуальні комплекси для дослідження автомобілів з електричною

трансмісією» (№ ДР 0114U005476), «Створення віртуальних тренажерних комплексів і систем для ідентифікації і поточної діагностики стану системи електропривода електромобіля» (№ ДР 0113U000435), в яких автор брав участь як виконавець.

**Мета і завдання дослідження.** Метою дисертаційної роботи є розробка та впровадження заходів і засобів щодо забезпечення безпечних умов праці при експлуатації асинхронних машин.

*Для досягнення мети поставлені та розв'язані такі завдання:*

- провести аналіз існуючих заходів захисту працівників від ураження електричним струмом та дії електромагнітних полів при роботі з електрообладнанням;
- провести аналіз сучасних автоматизованих засобів контролю та моніторингу фізичних факторів виробничого середовища з працюючим електрообладнанням;
- дослідити умови електробезпеки працівників при роботі зі справними асинхронними електричними машинами та які мають прихований характер пошкоджень;
- дослідити просторовий розподіл електромагнітних полів навколо асинхронних машин з частотним керуванням;
- розробити рекомендації щодо розташування робочих місць працівників відносно зосередженого електроустаткування залежно від відстані до асинхронної машини, її геометричного розташування та частоти її напруги живлення;
- розробити рекомендації щодо використання комп'ютерних тренажерних програм в автоматизованих навчальних системах з питань охорони праці;
- дослідити ефективність застосування комп'ютерних тренажерних програм в процесі навчання щодо набуття навичок безпечного виконання технологічних операцій.

*Об'єкт дослідження* – процеси формування безпечної електромагнітної обстановки в робочій зоні і електробезпеки при експлуатації асинхронних машин у штатних режимах роботи та з розвитком аварійних ситуацій.

*Предмет дослідження* – закономірності формування електромагнітної обстановки робочої зони у виробничому приміщенні при експлуатації асинхронних машин залежно від їх фізичного стану і режимів роботи та визначення умов їх нормалізації.

**Методи досліджень.** При розв'язанні завдань дослідження використовувалися фундаментальні положення фізики, теорії автоматичного керування та електротехніки при створенні математичних моделей асинхронної машини; методи аналізу й узагальнення науково-технічних досягнень і літературних джерел із тематики досліджень; натурних вимірювань значень електричних струмів у нормальних і пошкоджених обмотках електричних машин, рівнів розподілу магнітної індукції електромагнітних полів; розрахункових методів визначення кількісних характеристик рівнів фізичних факторів; моделювання просторового розподілу фізичних факторів і динаміки їх змін; математичної теорії планування експерименту і математичної статистики для обробки результатів досліджень і перевірки теоретичних положень і наукових результатів.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в тому, що:

– уперше встановлено амплітудно-часові залежності струмів і напруг асинхронних машин з основними видами прихованих пошкоджень, що дозволяє попередньо визначити рівні струмів короткого замикання з метою вибору та правильного налаштування засобів захисту працівників від ураження електричним струмом залежно від кількісної характеристики короткозамкнених витків та природи їх виникнення в пошкоджених обмотках асинхронної машини;

– уперше отримано аналітичну залежність розподілу магнітної індукції зовнішнього електромагнітного поля асинхронної машини на основі трифакторної регресійної моделі, що дозволяє визначати безпечно розташування робочих місць за мінімумом значення магнітної індукції з урахуванням відстані до машини –  $L_1 \approx 0,45$  м; її геометричного розташування –  $a_1 \approx 45^\circ$ ,  $a_2 \approx 135^\circ$ ,  $a_3 \approx 225^\circ$ ,  $a_4 \approx 315^\circ$  та відповідного значення частоти напруги живлення;

– уперше запропоновано критерій оцінки набуття навичок безпечного виконання технологічних операцій та встановлено залежність ефективності застосування комп'ютерних тренажерів-імітаторів, що дозволило підвищити якісну характеристику відпрацювання навичок виконання виробничих завдань на 30 %, тим самим реалізувати стратегію забезпечення належного рівня навчання з питань охорони праці;

– набули подальшого розвитку теоретичні та методологічні засади застосування комп'ютерних тренажерних програм як доповнення до прийнятої системи навчання питань з охорони праці, що дозволило не менш ніж на 13 % підвищити якість засвоєння навчальної інформації.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в наступному:

– синтезовані математичні моделі асинхронної машини, що дозволяють оцінити електромагнітні процеси як в справній електричній машині, так і з прихованими пошкодженнями у вигляді короткозамкнених витків в обмотках з метою підвищення рівня електробезпеки при роботі з працюючим електроустаткуванням;

– встановлені параметри налаштування засобів захисту працівників від ураження електричним струмом на основі отриманих експериментальних та теоретичних залежностей амплітудно-часових рівнів фазних струмів і струмів короткого замикання в асинхронних машинах з прихованими пошкодженнями;

– визначено розташування безпечних робочих зон працівників залежно від зосередженого електрообладнання на основі отриманих експериментальних та теоретичних залежностей розподілу магнітної індукції зовнішнього електромагнітного поля асинхронної машини;

– розроблена методика застосування автоматизованих навчальних систем на базі комп'ютерних тренажерів-імітаторів при проведенні практичної підготовки фахівців із засвоєння навчально-практичної інформації, що дозволяє реалізувати стратегію забезпечення і підтримки високої якості процесу навчання з дотримання безпечних умов праці на робочому місці;

– розроблено комп'ютерний тренажер-імітатор автономної енергогенеруючої установки, що дозволяє підвищити якісний показник засвоєння інформації та відпрацювання навичок виконання виробничих завдань, тим самим реалізувати

стратегію забезпечення належного рівня навчання з питань охорони праці.

Результати досліджень упроваджено у роботу відділу охорони праці та навколишнього середовища ВАТ «Крюківський вагонобудівний завод» (м. Кременчук) і до навчального процесу Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського під час виконання курсових проектів і магістерських робіт зі спеціальностей 263 «Цивільна безпека», 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», що підтверджено відповідними актами впровадження.

**Особистий внесок здобувача.** Автор самостійно сформулював мету і задачі дослідження, наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, виконав теоретичну частину роботи, брав безпосередню участь у розробці випробувального обладнання та проведенні експериментальних досліджень, реалізація низки сучасних підходів до вирішення теоретичних й інженерних задач. Автором самостійно сформульовані наукові положення, висновки та рекомендації.

У наукових працях, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належить: [1, 3] – синтез математичних моделей автономного джерела електропостачання з асинхронним генератором; [2, 7, 10, 11] – визначення показників енергопроцесів в асинхронній машині та розробка автоматизованої системи моніторингу показників енергопроцесів автономного джерела електропостачання; [4] – аналіз основних факторів, що впливають на величину індукції магнітного поля асинхронної машини та отримання її аналітичної залежності; [5] – виконання експериментальних досліджень та оцінка ефективності застосування комп'ютерних тренажерів-імітаторів за запропонованим критерієм; [6, 12] – розробка комп'ютерного тренажера-імітатора щодо відпрацювання навичок безпечного виконання технологічних операцій та оцінка ефективності використання подібних тренажерів в процесі навчання з питань охорони праці; [8, 10] – дослідження асинхронних машин з наявними пошкодженнями і розробка заходів щодо їх безпечної експлуатації.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися та отримали позитивну оцінку на таких конференціях: XIII–XV Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених і спеціалістів «Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації» (2015–2017, м. Кременчук); XVII Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика» (2016, м. Кременчук); XXI, XXIII Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми автоматизованого електропривода» (2015, 2017, м. Харків); IV Міжнародна науково-практична конференція «Безпека життєдіяльності на транспорті і виробництві – освіта, наука, практика» (2017, м. Херсон).

Результати дисертаційної роботи були заслухані та обговорені на засіданнях науково-технічного семінару «Електромеханіка, проблеми енергоперетворення і енергоресурсозбереження» Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського при Науковій раді НАН України з комплексної проблеми «Наукові проблеми електроенергетики» (2015–2017 рр.).

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 12 наукових праць, у тому числі 5 – статті у наукових фахових виданнях України, що індексуються міжнародними

наукометричними базами даних («Index Copernicus», «CiteFactor», «Polish Scholarly Bibliography», «Directory of Research Journals Indexing», «Scientific Indexing Services»), 2 – статті у фахових виданнях України, 5 – матеріали та тези доповідей на міжнародних науково-технічних і науково-практичних конференціях.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 130 найменувань на 15 сторінках і 4 додатків, містить 51 рисунок і 19 таблиць, із них 12 рисунків повністю займають 7 сторінок. Загальний обсяг роботи становить 176 сторінок друкованого тексту, у тому числі 138 сторінок основного тексту.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтовано актуальність роботи та показано зв'язок теми з науковими програмами та планами НДР, сформульовано мету та задачі дослідження, визначено об'єкт і предмет дослідження, наведено наукову новизну, практичну цінність і рівень апробації отриманих результатів, кількість публікацій за темою та особистий внесок автора.

**У першому розділі** виконано аналіз особливостей роботи працівників електроенергетичної галузі при експлуатації АМ і розглянуті існуючі підходи щодо захисту працюючих від шкідливого впливу фізичних факторів виробничого середовища та їх нормалізація.

Вагомий внесок у розв'язання проблеми електромагнітної безпеки зробили вітчизняні та зарубіжні вчені: С.М. Аполонський, С.С. Галак, В.А. Глива, Ю.Д. Думанський, О.Г. Левченко, О.Д. Подольцев, М.М. Резинкина, А. Huss, N. Patil та ін.

Аналіз показав, що вплив небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища та заходи захисту від їх дії на працівників при експлуатації АМ недостатньо досліджені. Крім того встановлено, що модернізація та перебудова технологічного процесу з метою оптимізації енергоспоживання та мінімізації енерговитрат призводить до ущільнення розташування електрообладнання на виробничих площах, ускладнення систем керування, що, у свою чергу, збільшує ймовірність отримання працівниками електричних і механічних травм. У цьому контексті відмічено, що забезпечення електробезпеки на виробництві є складним, але пріоритетним завданням охорони праці, що потребує розробки інноваційних комплексних підходів щодо впровадження технічних способів і засобів захисту працівників від ураження електричним струмом.

Також зазначено, що працюючі з електрообладнанням робітники постійно знаходяться під впливом шкідливих фізичних факторів, таких як вібрація, шум та ЕМП. І якщо шкідливий вплив перших двох показників на організм людини відчувається відразу і своєчасно здійснюються заходи та використовуються засоби щодо усунення згаданого впливу, то небезпечний і шкідливий вплив ЕМП відчувається не відразу. Тому заходи щодо попередження їх понаднормової дії на працюючих, як правило, несвоєчасні (табл. 1). У зв'язку з цим виникає необхідність розробки та впровадження сучасних заходів і засобів щодо захисту працівників від впливу ЕМП.

Вплив ЕМП промислової частоти на здоров'я людини

Рівень ІМП В, мкТл	Наслідки для здоров'я	Країна /роки дослідження	Примітки (розрахунковий СІ та фактичний ОР ризику)
>0,3 мкТл	Дитяча лейкемія	США, Європа / 1962–2010	СІ 1,06...1,61%; ОР 1,31%
>0,4 мкТл	Лейкемія, пухлини центральної нервової системи і злоякісні лімфоми у дітей до 15 років	Данія / 1968–2003	СІ 0,77...3,46%; ОР 1,63%;
>1 мкТл	Деменція, зниження моторики, склероз, епілепсія, хвороба Паркінсона	Данія / 1982–2010	СІ 0,93...3,43%; ОР 1,78%
>1,4 мкТл	Зміни в ДНК, зміни в складі крові	Італія	Дослідження зміни крові у електрозварювальників
0,4 нТ...5 мкТл	Рак молочної залози, легенів, товстої кишки, карциноми клітинної лінії	США	Зміна клітин та ризик ракових захворювань
0,2...10 мкТл	Бічний аміотрофічний склероз	Нідерланди / 1986–2003	СІ 1,05...3,55%; ОР 1,93%
0,5...10 мкТл	Хвороба Альцгеймера, старече слабоумство	Швейцарія / 2000–2005	СІ 1,21...3,33%; ОР 2,0%;
0,25...0,7 мкТл	Порушення розвитку плоду у вагітних, ризик передчасних пологів	США	СІ 1,42...5,19%; ОР 2,72%;
>0,16 мкТл	Зниження активності та якості сперматозоїдів	Китай	
0,17...3 мкТл	Первинні ракові захворювання, вторинні види раку, а також ішемічні захворювання	Італія / 1954–2003	Дослідження захворювань населення, яке проживає поблизу ліній електропередач
>28,3 мкТл	Порушення фази сну, зміна серцевого ритму	США	
0,05...0,5 мкТл	Синдром електромагнітної гіперчутливості, неврологічні розлади, стомлюваність, склероз, порушення роботи серця	Швеція	Результати лікарняних оглядів 2...5% населення країни, яке проживає поблизу промислово розвинених районів



На основі проведеного аналізу дії фізичних факторів виробничого середовища на працюючих, заходів і засобів їх нормалізації при експлуатації промислового електрообладнання встановлено, що саме використання сучасних засобів комп'ютерного моделювання режимів роботи АМ різних технологічних процесів та упровадження автоматизованих систем моніторингу та контролю фізичних факторів виробничого середовища дозволить теоретично обґрунтувати і розробити заходи щодо своєчасного захисту працівників як від ураження електричним струмом, так і від шкідливої дії фізичних факторів при роботі з електричними машинами. А впровадження автоматизованих систем навчання (АНС) з використанням комп'ютерних тренажерів-імітаторів (КТІ) з технічними характеристиками, максимально наближеними до реальних умов експлуатації електротехнічного обладнання як додаткового засобу до існуючої системи навчання питань охорони праці на виробництві, дозволить формувати, розвивати та удосконалювати навчання працівників, тим самим підвищує як їх кваліфікацію, так і готовність до дотримання умов праці й вимог безпеки на робочих місцях під час виконання виробничих процесів.

Зазначене зумовлює необхідність розробки відповідного математичного апарату та проведення досліджень з метою комплексної оцінки пропонованих заходів і засобів захисту працівників при експлуатації АМ в умовах навчально-виробничого середовища.

**Другий розділ** присвячено синтезу математичних моделей та дослідженню режимів роботи АМ у складі нестационарного автономного джерела живлення (АДЖ), що дозволило розробити рекомендації щодо вибору засобів захисту працівників від ураження електричним струмом при роботі АМ як у двигунному, так і генераторному режимах. Окрім того, дослідження із застосуванням методів комп'ютерної симуляції на розробленій математичній моделі АДЖ дозволило розглянути особливості роботи АМ у аварійних режимах роботи, зокрема за наявності прихованих пошкоджень в електричній машині – виткових і міжфазних коротких замикань (КЗ) в обмотках статора АМ, обриві фази та несиметрії конденсаторів ємнісної системи збудження – та розвитку аварійних ситуацій, з метою аналізу заходів підвищення електробезпеки працівників. Адекватність математичної моделі підтверджена результатами натурних досліджень на експериментальній установці, розбіжності в результатах становить менше 5 %.

Проведені дослідження з оцінки електромагнітних процесів як в справній АМ, так і з прихованими пошкодженнями, дозволили визначити необхідні параметри з вибору засобів захисту працівників від ураження електричним струмом. Так, встановлено, що найбільш небезпечною, з точки зору електробезпеки працівників, які обслуговують електроустановки, є робота АМ у генераторному режимі з наявними тривідсотковими (3%) – як фазними, так і міжфазними – КЗ в обмотках (табл. 2). В цьому випадку струми КЗ ( $I_{к.з.}$ ) перевищують номінальні ( $I_{ф.н.}$ ) більш ніж в 6 разів (рис. 1,а). Однак фазні струми ( $I_{ф.н.}$ ) та напруга ( $U_{ф.н.}$ ) АМ, що працює в генераторному режимі, зменшуються в 1,3 рази відносно номінальних значень (рис. 1,б,в).

Результати досліджень роботи АМ з прихованими пошкодженнями

Параметр	Міжфазні замикання			Виткові замикання у фазі „А”				
	Фаза „А”- 3%	Фаза „В”- 3%	Фаза „С”	3%	10%	15%	50%	> 50%
$I_{\phi} / I_{\phi.н.}$	0,71	0,71	0,78	0,96	0,84	0,76	0,2	0
$U_{\phi} / U_{\phi.н.}$	0,74	0,74	0,83	0,94	0,92	0,89	0,17	0
$I_{емн} / I_{емн.н.}$	0,71	0,71	0,79	0,96	0,87	0,76	0,38	0
$I_{к.з.} / I_{\phi.н.}$	4,4	-	-	6,4	6,6	5,6	1,8	0

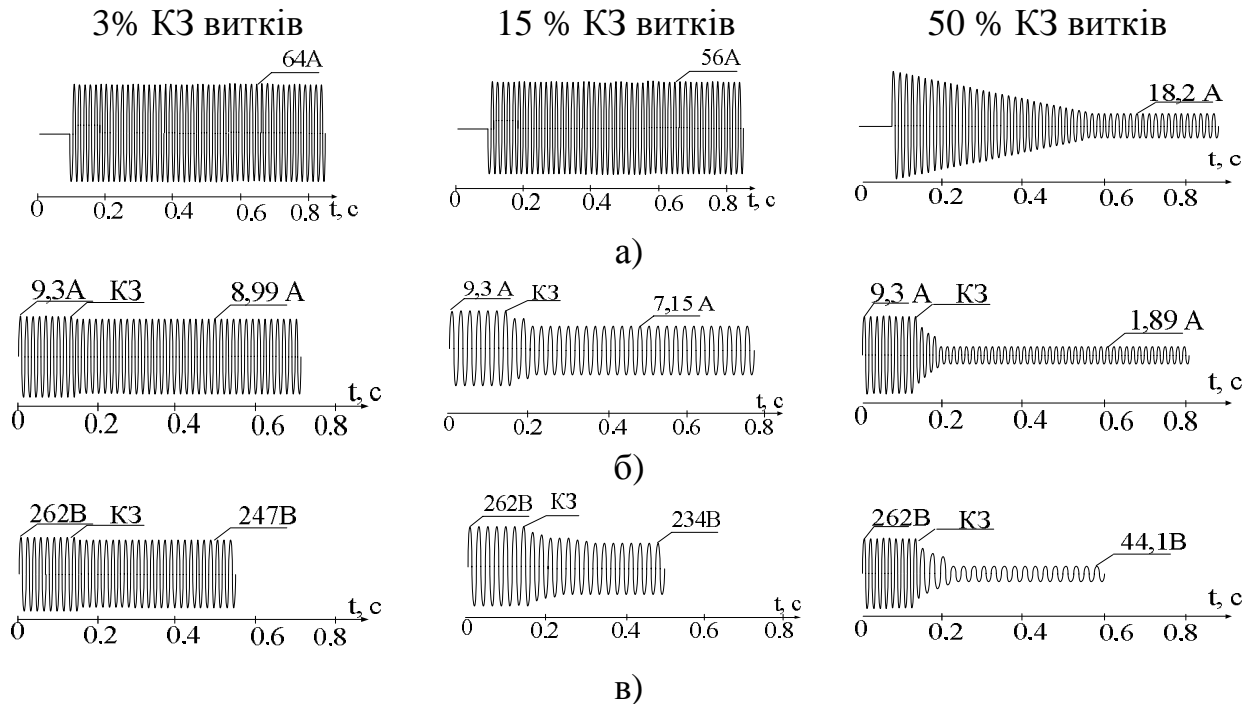


Рис. 1. Осцилограми зміни величин АГ з прихованими пошкодженнями у вигляді 3%, 15% та 50% виткових замикань у фазі «А» генератора:

а) струми КЗ, що циркулюють в пошкоджених витках; б) фазний струм пошкодженої фази; в) вихідна напруга генератора з пошкодженою фазою

Результати досліджень при обриві однієї фази ємностей показали, що струми КЗ в цьому випадку також значно перевищують номінальні значення як при роботі з активним (рис. 2,а) так і з активно-індуктивним навантаженням (рис. 2,б).

Ці процеси швидкоплинні і струми КЗ затухають за 2-3 періоди частоти генерованої напруги. Однак за цей час конденсатори не встигають повністю розрядитися. Так, у фазі, де відбувся обрив, конденсатор залишився повністю зарядженим і при усуненні працівниками наслідків такого режиму є пряма загроза отримання електротравми.

Таким чином встановлено амплітудно-часові залежності струмів та напруг АМ з основними видами пошкоджень, що дозволяє попередньо визначити рівні струмів короткого замикання та характер розвитку аварійної ситуації з метою правильного вибору та налаштування засобів захисту обслуговуючого персоналу від ураження електричним струмом в залежності від кількісної характеристики короткозамкнених

витків та доведено необхідність доповнення додатковими пристроями захисного відключення з відповідним налаштуванням з урахуванням зменшення амплітуди фазного струму АМ, що працює в генераторному режимі, в 1,3 рази.

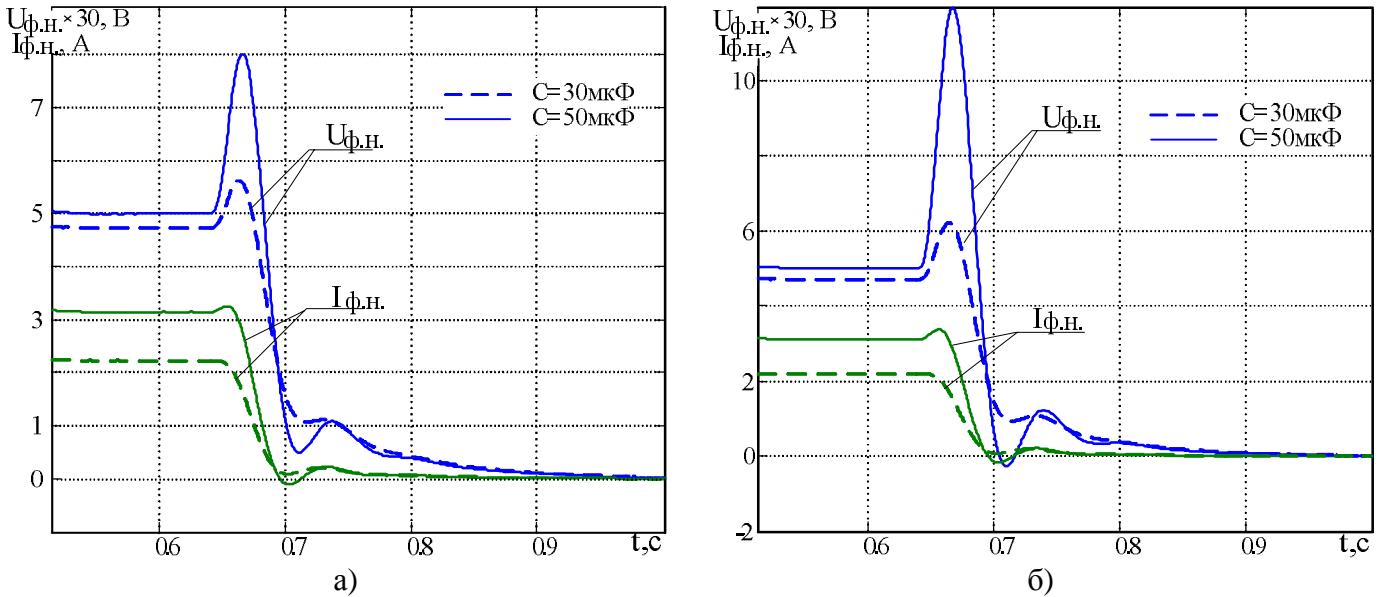


Рис. 2. Часові діаграми діючих значень напруги і струму генератора при КЗ:  
а) з активним навантаженням; б) з активно-індуктивним навантаженням ( $\cos \phi = 0,9$ )

У третьому розділі наведено дослідження зміни індукції магнітного поля (ІМП) АМ у робочій зоні навчально-виробничих приміщень. Для підвищення точності вимірювань експериментальні дослідження проводилися згідно розроблених карт дослідів зі спроектованими на них контурами двигунів (рис. 3). Це дозволило розділити досліджуваний об'єкт на площини, в яких відбувається вимір магнітної індукції. Одна площина містить 54 точки (дев'ять точок по горизонталі та шість по вертикалі), усього шість площин вимірів.

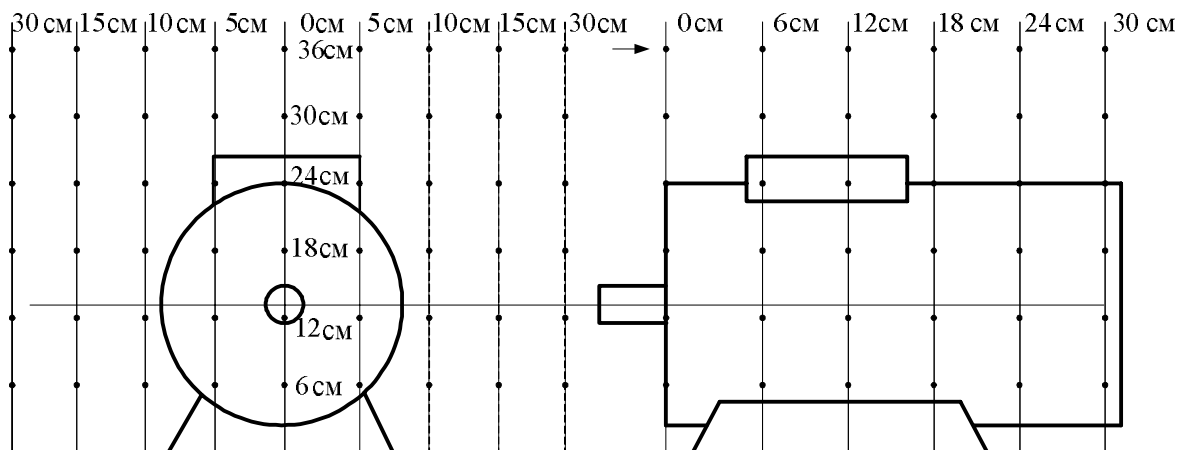


Рис. 3. Схема вимірювань ІМП АМ

Дослідження проводилися для АМ з живленням від мережі змінної напруги промислової частоти ( $f=50$  Гц, рис. 4,а) і від перетворювача частоти (ПЧ) з різними частотами живлення (50, 30 і 20 Гц, рис. 4,б).

У ході експериментальних досліджень встановлено зони безпечного розташування робочих місць працівників відносно зосередженого електроустаткування. Так, під час організації й планування розташування робочих місць біля працюючих АМ необхідно враховувати визначені зони з кутами, що відповідають бісектрисам першого ( $45^\circ$ ), другого ( $135^\circ$ ), третього ( $225^\circ$ ) і четвертого ( $315^\circ$ ) квадрантів, де величина ІМП є максимальною (рис. 4).

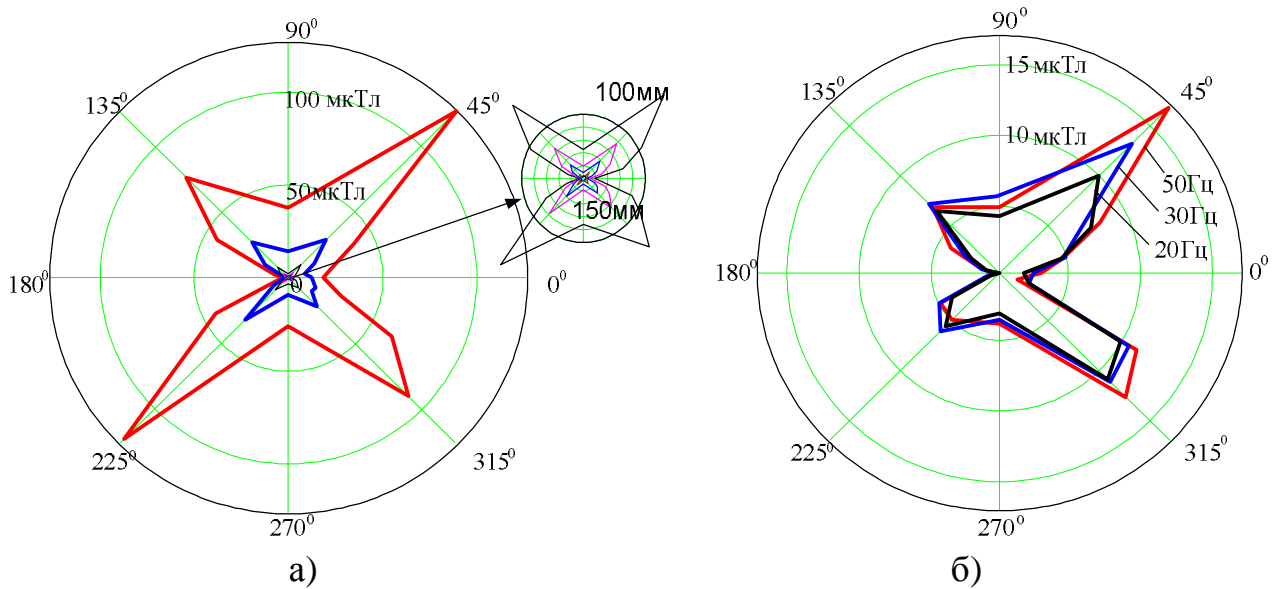


Рис. 4. Епюри ІМП навколо АМ: а) з живленням від мережі змінного струму промислової частоти; б) з живленням від ПЧ для частот напруги живлення 50, 30 і 20 Гц відповідно

Установлено, що на величину ІМП АМ значною мірою впливає напрям її обертання. Так, максимальне значення ІМП при обертанні проти годинникової стрілки (режим «НАЗАД», рис. 5) є більшим у три рази порівняно з обертанням АМ за годинниковою стрілкою (режим «ВПЕРЕД», рис. 6).

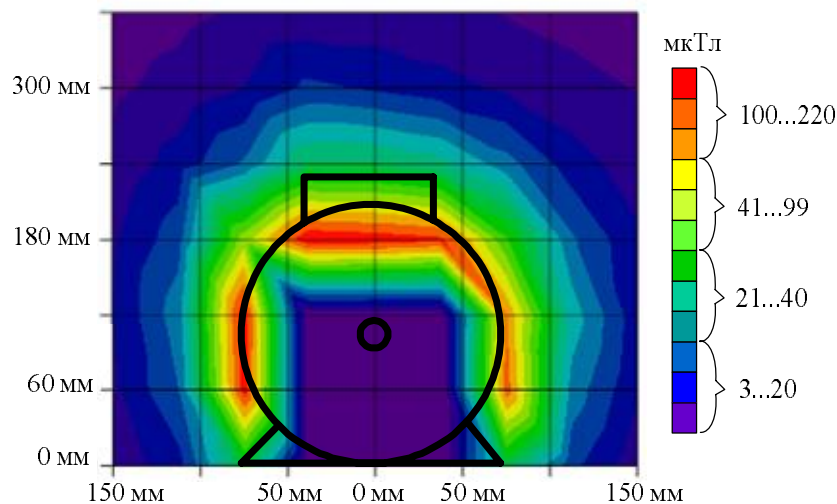


Рис. 5. Картина поширення магнітного поля навколо АМ при обертанні валу проти годинникової стрілки

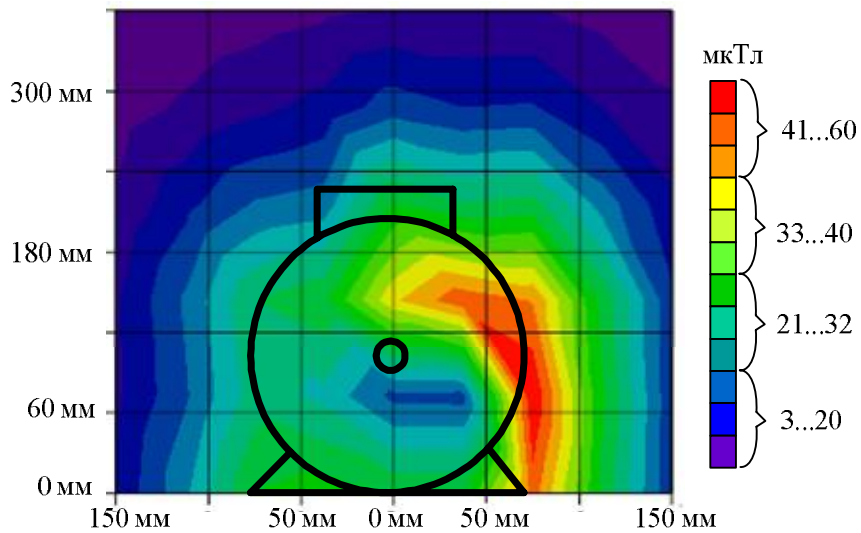


Рис. 6. Картина поширення магнітного поля навколо АМ при обертанні валу за годинниковою стрілкою

Визначено, що для АМ малої потужності, зокрема 1,5 кВт, відстань від працюючої машини до робочої зони працівників повинна складати не менше  $L_1 \approx 0,45$  м (рис. 7).

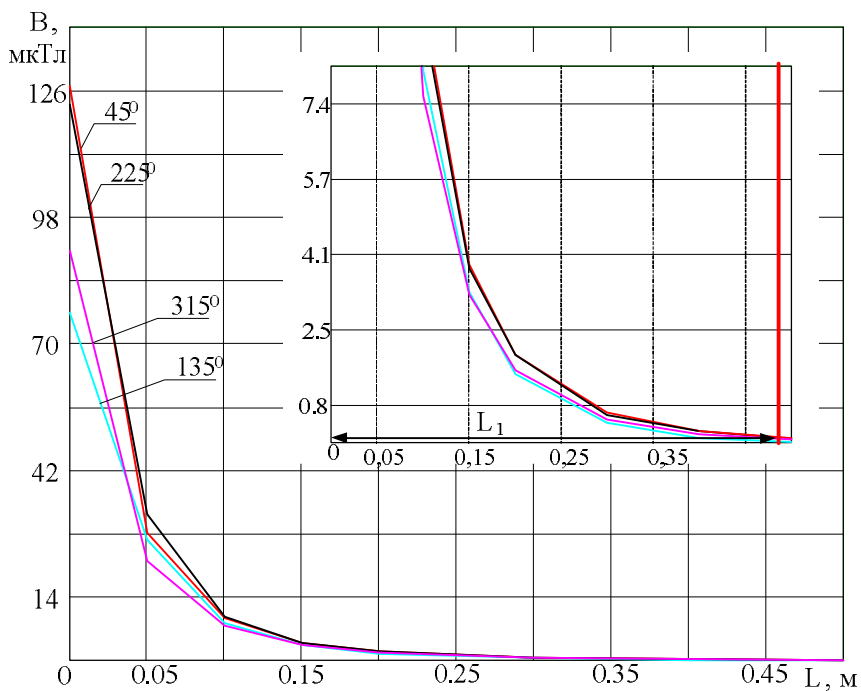


Рис. 7. Залежності ІМП від відстані до АМ

Для автоматизації розрахунку безпечних робочих зон навколо працюючої АМ в роботі на основі результатів експериментів отримано узагальнену модель розподілу ІМП:

$$B(a_{\max}, f_c, L) = \sum_{i=0}^2 a_i f_c^i + L \sum_{j=0}^2 b_j f_c^j \frac{\partial}{\partial L} \left( \sum_{i=0}^2 c_i f_c^i \right)^{-1/2} \quad (1)$$

де  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_i$  – коефіцієнти апроксимації для відповідної частоти  $f_c^i$ , Гц мережі живлення АМ, що визначаються для критичних кутів розташування;  $L$ ,  $m$  – відстань до АМ.

Адекватність отриманої моделі (1) була підтверджена шляхом порівняння результатів аналітичних розрахунків за пропонованою залежністю та експериментальних даних; коефіцієнт детермінації склав

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (B_i - \bar{B})^2}{\sum_{i=1}^N (B_i^* - \bar{B})^2} = 99,9\% , \quad (2)$$

де  $\bar{B}$  – середнє значення ІМП за заданої частоти мережі живлення.

Отримана регресійна модель розподілу ІМП АМ дозволяє розраховувати безпечно відстань від працюючої машини до робочої зони працівників, враховуючи геометричне розташування АМ як з живленням від стаціонарної мережі промислової частоти 50 Гц, так і з живленням від джерел перетворення енергії, зокрема ПЧ, що створюють додаткове електромагнітне забруднення виробничого середовища, збільшуючи негативний вплив на здоров'я працівників.

**У четвертому розділі** з метою підвищення якісної характеристики навчання працівників з питань охорони праці запропоновано концептуальний підхід щодо створення та застосування КТІ для відпрацювання навичок безпечного виконання технологічних операцій (рис. 8).



Рис. 8. Склад програмного забезпечення КТІ

Зазначені програмні модулі забезпечують дотримання всіх вимог, що висуваються до КТІ, а також передбачають повний варіант програмного

забезпечення. Для реалізації запропонованої структури АНС необхідна наявність локальної мережі. У цьому випадку передбачається зберігання всіх даних на центральному (серверному) комп'ютері. Там же повинні знаходитися Модуль\_2 і Модуль\_3. На робочих станціях – комп'ютерних класах, де проходять навчання працівники – функціонують інтерактивні навчальні модулі – Модуль\_1.

На основі сформульованих загально технічних вимог, що висуваються до тренажерних програмних засобів, їх задач і функцій, розроблена базова тренінг-програма на прикладі комп'ютерного тренажера-імітатора автономної енергогенеруючої установки (рис. 9), що за програмно-апаратною реалізацією тотожна реальній фізичній автономній мініелектростанції на базі дизель-генераторної установки (ДГУ) з асинхронним генератором (АГ).

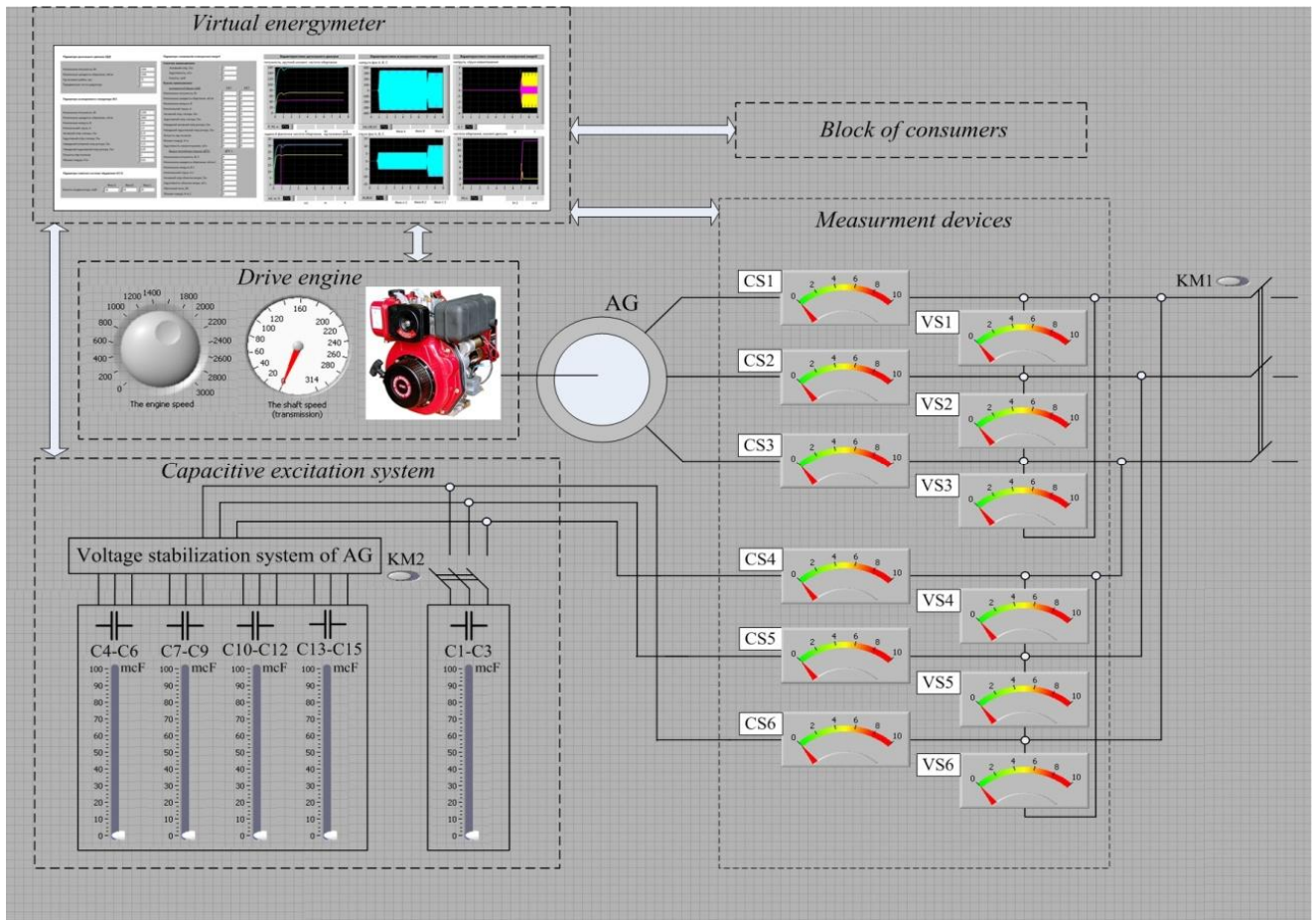
У наведеному КТІ пропонується блоковий принцип побудови математичного забезпечення, що полягає у формуванні підпрограм як незалежних елементів, здатних взаємодіяти між собою під керуванням організуючої програми.

Такий агрегатний принцип побудови дозволяє забезпечити комплексний підхід щодо професійної підготовки працівників з питань безпеки праці, налаштувати КТІ задля відпрацювання різного роду навичок – швидкість прийняття рішення в конкретній ситуації, відпрацювання чіткої послідовності дій чи операцій як у штатних, так і у нештатних режимах роботи тощо.

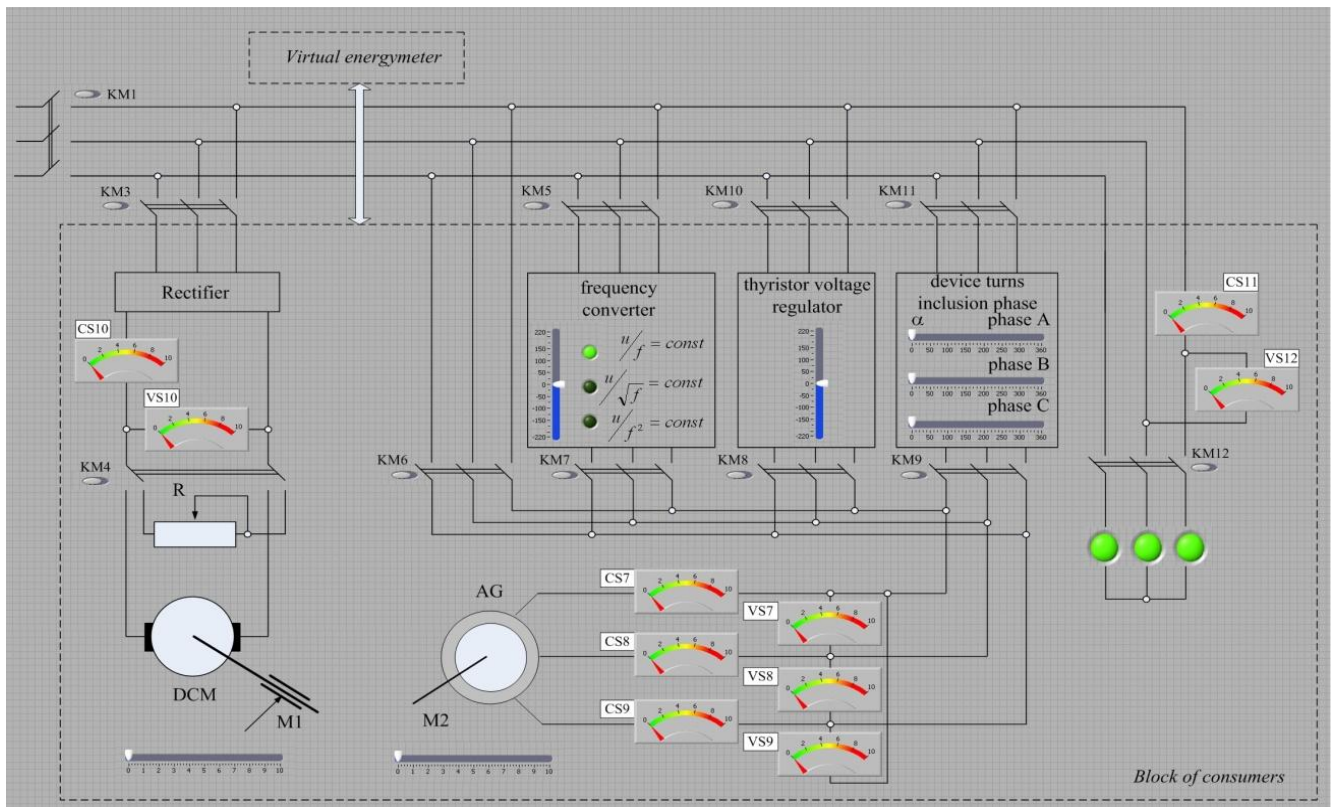
КТІ складається з таких основних блоків:

- блок «приводний двигун» – дизельний двигун внутрішнього згоряння (Drive engine);
- блок «перетворювач електричної енергії» – АГ з ємнісною системою збудження та стабілізацією вихідної напруги (AG, Capacitive excitation system);
- блок «споживачі електричної енергії» – включає споживачів змінного струму, як однофазного, так і трифазного. Завдяки випрямлячу реалізована можливість підключення споживачів постійного струму (Blok of consumers);
- блок «контрольно-вимірювальна апаратура» – містить датчики струму й напруги, частоти обертання, крутного моменту тощо (CS і VS). Ці блоки складають основу інтерактивного програмного модуля особи, що проходить навчання;
- блок «віртуальний вимірювач» – відбувається формування сигналів потужності з наступним визначення показників енергопроцесів, що відбуваються у системі, та відповідною реалізацією в режимі реального часу (Virtual energymeter). Блок також доповнено фіксатором дій операторів, що дозволяє реалізовувати програми щодо відпрацювання навичок безпечного виконання технологічних операцій.

Таким чином розроблений КТІ, тотожний реальній фізичній автономній мініелектростанції на базі дизель-генераторної установки, задовольняє вимоги, що висуваються до тренажерних програмних засобів для відпрацювання навичок безпечного виконання робіт і характеризується: надійністю (відсутність збоїв і відмов як за вірних, так і за помилкових дій працівників, які навчаються), гнучкістю (простота внесення змін до програми з метою її модифікації), ергономічністю (зручність і простота роботи з програмою) та мобільністю (простота переносу тренажера-імітатора на інші персональні комп'ютери).



a)



б)

Рис. 9. Лицьова панель КТІ:  
а) ДГУ; б) типові споживачі електроенергії



У роботі ефективність підготовки, перепідготовки та підвищення кваліфікації фахівців і набуття ними навичок безпечного виконання технологічних операцій із застосуванням КТІ визначена з використанням моделі Дональда Кіркпатріка яка включає чотири рівні контролю якості:

- оцінка реакції учасників на навчання;
- контроль рівня отриманих знань;
- демонстрація отриманих знань і навичок на практиці;
- оцінка результатів навчання.

Для інтегрованої оцінки якості навчання та засвоєння інформації із застосуванням КТІ як доповнення до основної системи навчання з питань охорони праці запропоновано критерій набуття навичок виконання технологічних операцій:

$$K_{nn} = 1 - \overline{x_n}, \quad (3)$$

де  $K_{nn}$  – коефіцієнт набуття навичок виконання технологічних операцій;

$\overline{x_n} = \frac{1}{K} \sum_{n=1}^K x_n^*$  – середнє значення помилкових чи надлишкових дій персоналу при

відпрацюванні певного алгоритму технологічного циклу;  $K$  – мінімально-допустима кількість операцій для виконання певного алгоритму технологічного циклу;  $x_n$ ,  $x_n^* = x_n / K$  – відповідно фактична та нормована кількість операцій, виконаних працівником при відпрацюванні певного алгоритму технологічного циклу.

Експериментально доведено, що упровадження КТІ при проведенні практичної підготовки фахівців із засвоєння навчально-практичної інформації підвищує якість її засвоєння не менше ніж на 13 % (рис. 10).

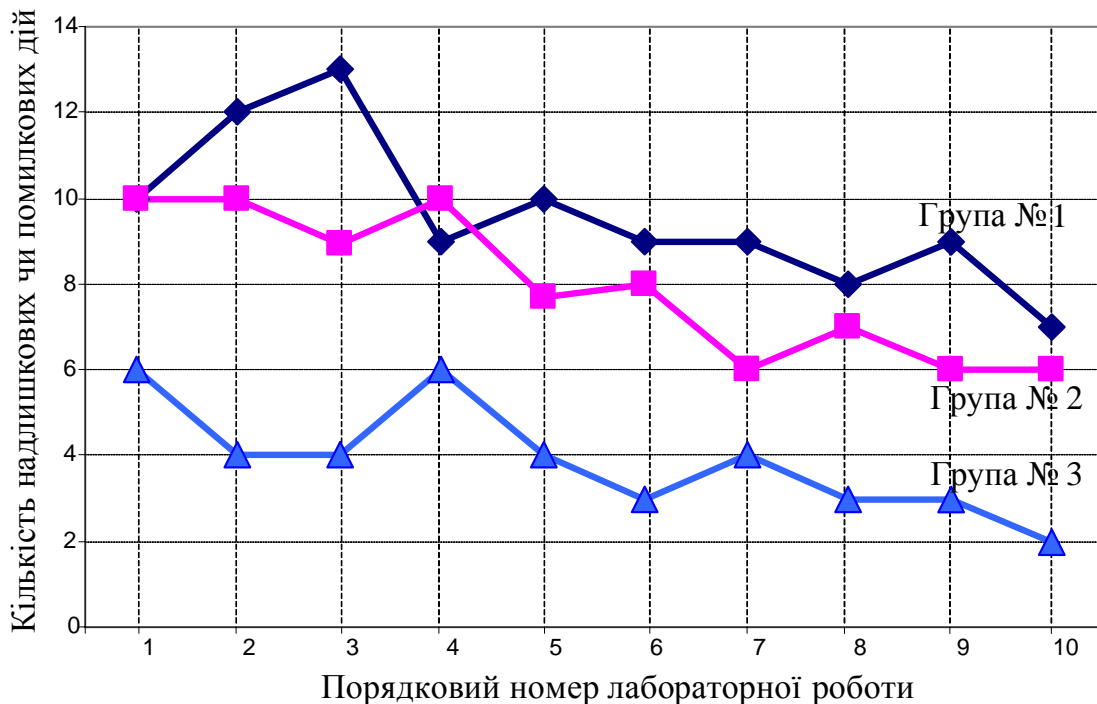


Рис. 10. Середня кількість надлишкових операцій, виконаних слухачів за групами

Оцінка проводилася шляхом проведення лабораторного практикуму з 10 робіт для трьох груп слухачів таким чином: група № 1 – виконувала практикум на фізичному стенді; група № 2 – на КТІ, а група № 3 – підготовку виконувала на КТІ, а результати зараховувалися при практикумі на фізичному стенді.

Встановлено, що середнє значення коефіцієнту набуття навичок виконання технологічних операцій  $K_{mn\_cp}$  становить: група № 1 – 0,49; група № 2 – 0,58; група № 3 – 0,809.

Отримані результати значення коефіцієнта  $K_{mn}$  як інтегрованої оцінки критерію (3) набуття навичок виконання технологічних операцій повністю корелюється з результатами, отриманими на кожному з етапів оцінки за моделлю Дональда Кіркпатріка.

Для підтвердження адекватності та автоматизації розрахунку критерію набуття навичок безпечного виконання технологічних операцій отримано узагальнену модель на основі даних респондентів (рис. 11):

$$K_{mn} = a(\bar{x}_n)^b, \quad (4)$$

де  $a = 0,6819$ ;  $b = 0,1008$  – значення коефіцієнтів регресійного рівняння.

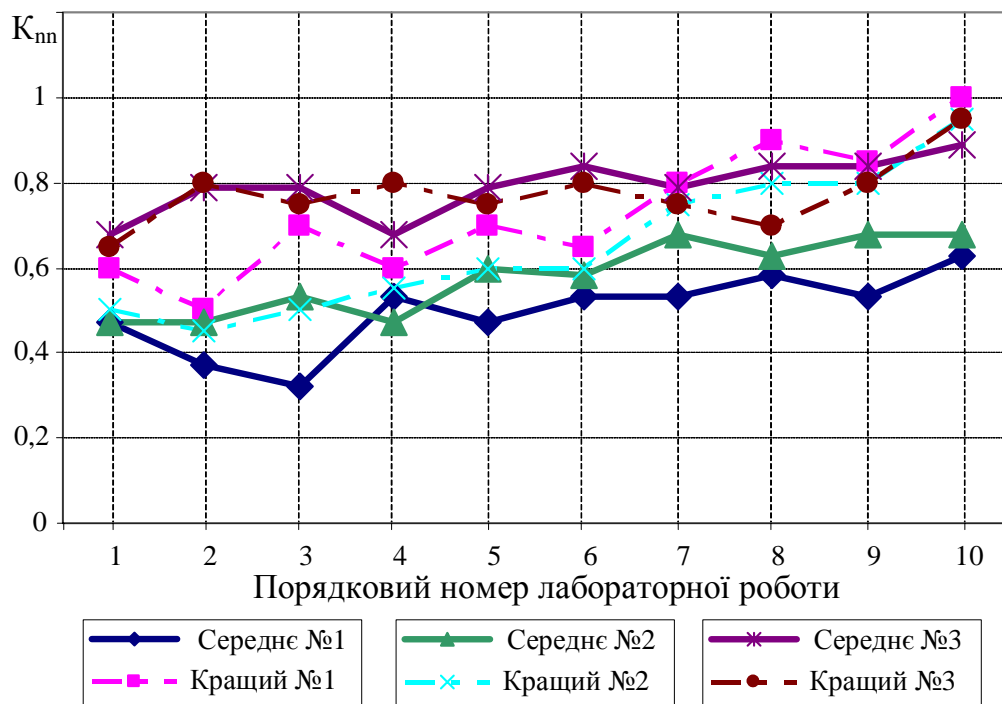


Рис. 11. Динаміка зміни коефіцієнта  $K_{mn}$  залежно від хронологічного виконання лабораторного практикуму за середнім значенням коефіцієнта у відповідній групі та даними кращого слухача цієї групи

Адекватність залежності виду (4) перевірена за коефіцієнтом детермінації  $R^2$  і склала:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (K_{mn\_i} - K_{mn\_cp})^2}{\sum_{i=1}^N (K_{mn\_i}^* - K_{mn\_cp})^2} = 99,3 \%. \quad (5)$$

Таким чином, у роботі запропонована як кількісна оцінка якості навчання у вигляді коефіцієнта набуття навичок безпечного виконання технологічних операцій, так і отримана залежність ефективності застосування КТІ у складі АНС з охорони праці. У результаті встановлено, що впровадження КТІ до вже прийнятої системи навчання з питань охорони праці дозволяє не менш ніж на 30 % (рис. 11) підвищити якісну характеристику відпрацювання навичок безпечного виконання технологічних операцій.

Отже, на підставі одержаних наукових і практичних результатів розроблений КТІ автономної енергогенеруючої установки впроваджено до навчального процесу Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, а запропонований концептуальний підхід щодо створення комп'ютерних тренажерних програмних засобів упроваджено в роботу відділу охорони праці ВАТ «Крюківський вагонобудівний завод» (м. Кременчук) КТІ дозволяє забезпечити високий рівня професійно-технічного навчання з питань охорони праці.

## **ВИСНОВКИ**

У дисертаційній роботі розв'язана актуальна науково-практична задача з розробки та впровадження заходів і засобів щодо забезпечення безпечних умов праці при експлуатації асинхронних машин. За результатами виконаних досліджень зроблено такі висновки:

1. На основі проведеного аналізу існуючих заходів захисту працівників від ураження електричним струмом та дії електромагнітних полів при роботі з електрообладнанням доведено необхідність оцінювати електромагнітні процеси як в справній електричній машині, так і з прихованими пошкодженнями у вигляді короткозамкнених витків в обмотках, що дозволяє вчасно попередити виникнення та розвиток аварійних ситуацій при роботі з працюючим електроустаткуванням.

2. За результатами проведеного аналізу сучасних автоматизованих засобів контролю та моніторингу фізичних факторів виробничого середовища з працюючим електрообладнанням доведено доцільність упровадження розвинутого підходу щодо оцінювання рівня ефективності засвоєння інформації, що дозволяє формувати, розвивати та вдосконалювати навчання працівників, підвищуючи тим самим як їх кваліфікацію, так і готовність дотримуватись умов праці й вимог безпеки на робочих місцях під час виконання виробничих процесів.

3. Встановлено, що в разі виткових замикань в короткозамкнутій частині обмотки циркулює такий струм, який здатний викликати пошкодження асинхронної машини. У міру збільшення числа короткозамкнених витків з 1 до 30% струм у цих витках змінюється в інтервалі  $(1,7...4)I_{ном}$ . Максимальний струм короткого замикання перевищує номінальний в 5...7 разів і спостерігається приблизно при 3 % короткозамкнених витків, на значення якого і необхідно вибирати пристрої захисного відключення. Однак фазні, емнісні струми та напруга при роботі асинхронної машини в генераторному режимі зменшуються в 1,3 рази. Тому з метою попередження розвитку аварійної ситуації та покращення умов електропожегобезпеки з пошкодженнями в обмотках асинхронного генератора автономні джерела електроживлення повинні доповнюватися додатковими

пристроями захисного відключення, які налаштовані на диференціальний струм з урахуванням зменшення амплітуди фазного струму генератора.

4. Отримано трифакторну регресійну модель розподілу магнітної індукції від відстані до асинхронної машини за різних частот мережі живлення, що дозволяє під час планування і організації геометричного розташування робочих місць біля працюючих машин рекомендувати враховувати критичні зони з визначеними кутами, що відповідають бісектрисам першого ( $45^{\circ}$ ), другого ( $135^{\circ}$ ), третього ( $225^{\circ}$ ) і четвертого ( $315^{\circ}$ ) квадрантів, де поширення магнітного поля є максимальним.

5. Визначено, що відстань для малопотужних асинхронних машин повинна складати не менше  $L_1^3 0,45$  м, а також встановлено, що максимальне значення магнітної індукції при обертанні валу проти годинникової стрілки є більшим ніж у три рази порівняно з обертанням валу машини за годинниковою стрілкою.

6. Встановлено, що застосування автоматизованих навчальних систем на базі комп'ютерних тренажерних програм при проведенні практичної підготовки фахівців із засвоєння навчально-практичної інформації підвищує якість її засвоєння не менше ніж на 13 %, що дозволяє реалізувати стратегію забезпечення і підтримки високої якості процесу навчання з дотримання безпечних умов праці на робочому місці.

7. Визначено коефіцієнт набуття навичок безпечного виконання технологічних операцій та отримана залежність ефективності впровадження до прийнятої системи навчання з питань охорони праці комп'ютерних тренажерів-імітаторів, що дозволяє підвищити якісну характеристику відпрацювання навичок виконання виробничих завдань на 30 %.

8. На підставі одержаних наукових і практичних результатів розроблено та впроваджено до навчального процесу Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського та у відділ охорони праці та навколишнього середовища ВАТ «Крюківський вагонобудівний завод» (м. Кременчук) комп'ютерний тренажер-імітатор автономної енергогенеруючої установки, що дозволяє забезпечити високий рівень професійно-технічного навчання з питань охорони праці під час трудової діяльності.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

*Статті у журналах України, занесених до міжнародних наукометричних баз даних «Україніка наукова», Index Copernicus, Scientific Indexing Services*

1. Зачепа Н. В., Зачепа Ю. В., Сергієнко С. А. Віртуальний дослідницький комплекс «Автономне джерело живлення з асинхронним генератором». *Електромеханічні і енергозберігаючі системи: щоквартальний науково-виробничий журнал*. Кременчук, 2015. Вип. 4 (32). С. 10–17.

2. Зачепа Н. В., Зачепа Ю. В., Сергієнко С. А. Вимірювач показників енергопроцесів в асинхронному генераторі на базі віртуальної моделі у програмному середовищі LABVIEW. *Електромеханічні і енергозберігаючі системи: щоквартальний науково-виробничий журнал*. Кременчук, 2016. Вип. 1 (33). С. 138–144.

3. Zacheпа N. Susik D., Zacheпа Iu. Measuring indicators of energy processes in the asynchronous generator on the basis of the virtual model in the LABVIEW software.

*Електромеханічні і енергозберігаючі системи: щоквартальний науково-виробничий журнал.* Кременчук, 2017. Вип. 2 (38). С. 26–32.

4. Зачепа Н. В., Чорна О. А., Резнік Д. В., Ніколаєв К. Д., Луценко І. А. Дослідження поширення магнітного поля асинхронної машини в умовах навчально-виробничих лабораторій. *Електромеханічні і енергозберігаючі системи: щоквартальний науково-виробничий журнал.* Кременчук: КрНУ, 2017. Вип. 3/2017(39). С. 38–45.

5. Зачепа Н. В., Чорний О. П., Зачепа Ю. В., Сукач С. В., Сергієнко С. А. Оцінка ефективності процесу навчання та підвищення рівня безпеки при виконанні технологічних операцій. *Системи управління, навігації та зв'язку: збірник наукових праць.* Полтава, 2017. Вип. 5 (45). С. 128–132.

#### *Статті у фахових виданнях України*

6. Зачепа Н. В., Зачепа Ю. В., Сергієнко С. А. Програмно-логічний комплекс для дослідження дизель-генераторних установок з асинхронними генераторами. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».* Харків, 2015. Вип. 12 (1121). С. 330–333.

7. Zachepa N., Zachepa Iu. Virtual gage for analysis of energy conversion quality in electromechanical systems. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».* Харків, 2017. Вип. 27. С. 415–418.

#### *Матеріали конференцій*

8. Зачепа Н. В., Зачепа Ю. В., Коека Т. Н. Короткое замыкание в контуре возбуждения асинхронного генератора. *Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації:* збірник наукових праць XIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів (м. Кременчук, 08–09 квітня 2015 р.). Кременчук: КрНУ, 2015. С. 91–92.

9. Зачепа Н. В., Сусік Д. Ю., Піддубний В. В. Навчальний стенд для дослідження режимів роботи автономних джерел живлення на базі асинхронного генератора *Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації:* збірник наукових праць XIV Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів (м. Кременчук, 11–12 квітня 2017 р.). Кременчук: КрНУ, 2017. С. 91–95.

10. Зачепа Н. В., Сусік Д. Ю., Зачепа Ю. В., Сергієнко С. А., Єфімов С. Структура енергонаглядача у складі віртуального комплексу для дослідження дизель-генераторних установок з асинхронним генератором. *Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика:* наукове видання XVII Міжнародної науково-технічної конференції (м. Кременчук, 7–19 травня 2016 р.). Кременчук: КрНУ, 2016. Вип. 1 (4). С. 129–131.

11. Зачепа Н. В., Сусік Д. Ю., Зачепа Ю. В. Автоматизована система моніторингу показників перетворення електричної енергії автономного джерела електропостачання. *Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації:* збірник наукових праць XV Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів (м. Кременчук, 11–12 квітня 2017 р.). Кременчук: КрНУ, 2017. С. 93–94.

12. Зачепа Н. В. Сукач С. В. Комп'ютерний тренажер-імітатор по відпрацюванню навичків безпечного виконання технологічних операцій працівниками електроенергетичної галузі. *Безпека життєдіяльності на транспорті і виробництві – освіта, наука, практика (SLA–2017)*: збірка матеріалів IV Міжнародної науково-практичної конференції (м. Херсон, 14–16 серпня 2017 р.). Херсон: ХДМА, 2017. С. 134–137.

### АНОТАЦІЯ

**Зачепа Н. В. Заходи і засоби забезпечення безпечних умов праці при експлуатації асинхронних машин. – На правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.26.01 – Охорона праці. – ДУ «Національний науково-дослідний інститут промислової безпеки та охорони праці», Київ, 2018.

У дисертації розв'язано актуальну науково-практичну задачу з розробки та впровадження заходів і засобів щодо забезпечення безпечних умов праці при експлуатації асинхронних машин.

Модернізація та перебудова технологічного процесу з метою оптимізації енергоспоживання та мінімізації енергозатрат призводить до ущільнення розташування електрообладнання на виробничих площах, що збільшує ймовірність отримання працівниками електричних і механічних травм. Крім того сталою тенденцією останніх років є зростання впливу електромагнітних полів критичних амплітуд та частот на виробниче середовище. Вплив та заходи захисту від зазначених факторів виробничого середовища при експлуатації асинхронних машин практично не досліджено.

Для розв'язання цієї проблеми в роботі синтезовані математичні моделі асинхронної машини, що дозволяють оцінити електромагнітні процеси як в справній електричній машині, так і з прихованими пошкодженнями у вигляді короткозамкнених витків в обмотках з метою вибору та налаштування засобів захисту працівників від ураження електричним струмом. А також отримано регресійну модель розподілу індукції зовнішнього електромагнітного поля асинхронної машини, що дозволяє визначати безпечне розташування робочих місць з урахуванням відстані до машини, її геометричного розташування та значення частоти напруги живлення.

Запропонована автоматизована навчальна система на базі розробленого комп'ютерного тренажера-імітатора для проведення практичної підготовки фахівців, що дозволяє підвищити якісний показник засвоєння інформації та відпрацювання навичок виконання виробничих завдань з дотриманням безпечних умов праці на робочому місці, тим самим реалізувати стратегію забезпечення належного рівня навчання з питань охорони праці.

**Ключові слова:** охорона праці, виробниче середовище, асинхронна машина, електробезпека, індукція магнітного поля, комп'ютерний тренажер-імітатор.

## АННОТАЦИЯ

**Зачепа Н. В. Мероприятия и средства обеспечения безопасных условий труда при эксплуатации асинхронных машин. – На правах рукописи.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.26.01 – Охрана труда. – ГУ «Национальный научно-исследовательский институт промышленной безопасности и охраны труда», Киев, 2018.

В диссертации решена актуальная научно-практическая задача по разработке и внедрению мер и средств по обеспечению безопасных условий труда при эксплуатации асинхронных машин.

На энергетических и промышленных предприятиях наблюдается достаточно жесткая электромагнитная обстановка. При этом, чем выше энергетическая мощность предприятия, тем интенсивнее уровни электрических и магнитных полей. Поэтому проблема исследования элементов энергосистем с обеспечением безопасности рабочих является актуальной задачей.

Длительному воздействию переменных электрических и магнитных полей промышленной частоты подвергаются рабочие при эксплуатации различных электроустановок. Поэтому в работе научно обоснованы и разработаны мероприятия и средства безопасного взаимодействия человека и электрооборудования в системе производства с целью повышения безопасности труда при эксплуатации асинхронных машин в штатных и аварийных режимах работы, а также минимизации негативного влияния электромагнитных полей на работников.

С целью повышения уровня электробезопасности при работе с электрооборудованием были синтезированы математические модели асинхронной машины, позволяющие оценить электромагнитные процессы, как в исправной электрической машине, так и со скрытыми повреждениями в виде короткозамкнутых витков в обмотках, а также осуществлять выбор и настройку средств защиты работников от поражения электрическим током.

Для минимизации негативного влияния электромагнитных полей на рабочих получены экспериментальные и теоретические зависимости магнитной индукции внешнего электромагнитного поля асинхронной машины, позволяющие на этапе проектирования электроустановок определять безопасное расположение рабочего места.

С целью предупреждения травмоопасных производственных ситуаций на производстве, повышения профессиональной подготовки, тренированности и опыта персонала в работе предложена методика применения автоматизированных обучающих систем на базе компьютерных тренажеров-имитаторов для проведения практической подготовки, позволяющая реализовать стратегию обеспечения и поддержания высокого качества процесса обучения вопросам охраны труда. Доказана эффективность внедрения компьютерных тренажеров-имитаторов при проведении практической подготовки работников по усвоению учебно-практической информации, тем самым повышая как квалификацию самого работника, так и условия труда на рабочем месте, безопасность технологических процессов, машин, механизмов, оборудования и других средств производства.

Установлено, что применение компьютерных тренажеров-имитаторов повышает количественные и качественные показатели усвоения информации и отработки навыков безопасного выполнения технологических операций.

Для проверки основных теоретических положений было создано алгоритмическое, программное и аппаратное обеспечение. Анализ экспериментальных исследований показал адекватность теоретических выкладок и результатов, полученных при математическом моделировании.

**Ключевые слова:** охрана труда, производственная среда, асинхронная машина, электробезопасность, индукция магнитного поля, компьютерный тренажер-имитатор.

### ABSTRACT

**Zachepa N. V.** Asynchronous electric-powered autonomous asynchronous generator of comparable capacity. – Manuscript.

The candidate's thesis for a speciality 05.26.01 – Labour Protection. – Public Agency «National Scientific and research Institute of Industrial safety and Occupational Safety and health», Kyiv, 2018.

The dissertation is devoted to the actual scientific and practical task of developing and implementing measures and means to ensure safe working conditions during the operation of asynchronous machines.

Modernization and reorganization of the technological process to optimize energy consumption and minimize energy costs leads to the sealing of the location of electrical equipment in production areas, which increases the likelihood of receiving electrical and mechanical injuries. In addition, the constant tendency of recent years is the increase in the influence of electromagnetic fields of critical amplitudes and frequencies on the production environment. The impact and protection measures against these factors in the production environment during the operation of asynchronous machines have not been practically investigated.

To solve this problem, the mathematical models of the asynchronous machine are synthesized in order to evaluate the electromagnetic processes in a properly functioning electric machine and with existing damage in the form of short-circuited turns in the windings in order to select and configure the means of protecting workers against electric shock. Also, the analytical dependence of the induction spread of the external electromagnetic field of the asynchronous machine is obtained, which allows us to determine the safe location of working places, taking into account the distance to the machine, its geometric location and the value of the voltage supply frequency.

The offered automated educational system on the basis of the developed computer simulator for practical training of specialists on the acquisition of educational and practical information, which allows to raise qualitative indicators of assimilation of information and working out of skills of performance of production tasks with observance of safe working conditions in the workplace, thus realize a strategy for ensuring an adequate level of training in occupational safety.

**Key words:** labour protection, production environment, asynchronous machine, electrical safety, magnetic field induction, computer simulators.



Зачепа Наталія Василівна

**ЗАХОДИ І ЗАСОБИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕЧНИХ УМОВ ПРАЦІ  
ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АСИНХРОННИХ МАШИН**

(Автореферат)

Підписано до друку 15.03.2018. Формат 30x42/4  
Папір Polspeed. Ризографія. Ум. друк. арк. 0,9.  
Обліково-видавн. арк. 0,9. Наклад 100 прим. Зам. № \_\_\_\_\_

Видавничий відділ  
Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, Полтавська обл., 39600