

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

РЄЗНІК Дмитро Володимирович

УДК 658.382.3: 621.313

**НОРМАЛІЗАЦІЯ РІВНІВ МАГНІТНИХ ПОЛІВ НА РОБОЧИХ МІСЦЯХ
ВИПРОБУВАЛЬНИХ ДІЛЬНИЦЬ ЕЛЕКТРОРЕМОНТНИХ ЦЕХІВ**

Спеціальність 05.26.01 – охорона праці

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Покровськ – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Кременчуцькому національному університеті імені Михайла Остроградського Міністерства освіти і науки України (м. Кременчук)

Науковий керівник: доктор технічних наук, доцент
Сукач Сергій Володимирович,
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри охорони праці, цивільної та промислової безпеки

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

кандидат технічних наук, доцент

Панова Олена Василівна,
Київський національний університет будівництва і архітектури
Міністерства освіти і науки України,
доцент кафедри фізики

Захист відбудеться « 30 » листопада 2018 р. о 14.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 11.052.05 із захисту дисертації при Державному вищому навчальному закладі «Донецький національний технічний університет» Міністерства освіти і науки України за адресою: 85300, Донецька обл., м. Покровськ, пл. Шибанкова, 2; тел. (06239) 2-03-09

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет» Міністерства освіти і науки України (85300, Донецька обл., м. Покровськ, пл. Шибанкова, 2).
Автореферат розісланий « 29 » жовтня 2018 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради Д 11.052.05,
кандидат технічних наук, доцент



І. С. Лактіонов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сталий розвиток електротехнічних і комп'ютерних технологій дозволяє створювати різноманітні пристрої, що, з одного боку, спрощують технологічний процес, а з іншого – погіршують електромагнітну обстановку на виробництві. Серед виробництв зі значним рівнем електромагнітного забруднення слід відмітити заводи з виготовлення електричних машин (ЕМ) та електроремонтні підприємства. Для них є характерним розміщення великої кількості різноманітного електротехнічного обладнання (ЕТО) на ділянках робочого середовища, що формує складну картину просторового поширення електромагнітного поля (ЕМП). При цьому працівники, згідно з умовами проведення випробувань, вимушені постійно перебувати в безпосередній близькості до стендів з випробування ЕМ. Тим самим працівники підпадають під дію наднормових рівнів магнітних полів промислової частоти, що призводить до негативного впливу на стан їх здоров'я. Тому розробка та впровадження організаційно-технічних заходів із захисту працівників енергетичної та електротехнічної промисловості України від негативної дії магнітних полів (МП) є пріоритетним завданням охорони праці (ОП).

З 2016 р. в Україні методом підтвердження набули чинності загальноєвропейські стандарти з електротехнічної сумісності. Їх вимоги набагато жорсткіші за вимоги національних нормативів з електромагнітної безпеки. Таке відхилення вимагає проведення різносторонніх і неупереджених досліджень з метою визначення існуючих рівнів та просторового поширення МП від виробничого ЕТО. Особливо це стосується асинхронних двигунів (АД) як найбільш розповсюджених джерел МП, у зоні дії яких працівники знаходяться безпосередньо та тривалий час. Проте, станом на сьогодні, відсутній математичний апарат ідентифікації електромагнітних параметрів АД та його МП у випадках зміни режимів навантаження, довготривалої експлуатації чи ремонту, що дозволило б оперативно контролювати рівень магнітної обстановки та своєчасно вживати заходи з її нормалізації.

Отже, зниження негативного впливу МП промислової частоти на робочих місцях на ділянках випробування ЕМ електроремонтних підприємств є актуальною науково-практичною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основний зміст роботи складають результати досліджень, проведені автором протягом 2004–2018 років.

Дисертаційну роботу виконано відповідно до вимог Концепції 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, Закону України «Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2020 року» (№ 2519–VI від 9.09.2010 р.) і комплексної спрямованості тематики науково-дослідних робіт кафедр «Охорони праці, цивільної та промислової безпеки» й «Систем автоматичного управління і електропривода» Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. Результати дисертаційної роботи використано при виконанні науково-дослідної

роботи «Дослідження властивостей двигуна змінного струму при живленні від джерела низької частоти» (2013 р., № держреєстрації 0113U001188), у якій автор брав участь як відповідальний виконавець.

Мета та завдання дослідження. Метою роботи є науково-практичне обґрунтування та впровадження заходів і засобів нормалізації рівнів магнітних полів на робочих місцях випробувальних дільниць електроремонтних цехів.

Для досягнення зазначеної мети в роботі сформульовано та виконано наступні завдання дослідження:

- провести аналіз існуючих засобів і заходів захисту працівників від впливу магнітних полів промислової частоти;
- провести експериментальні дослідження просторового поширення магнітного поля та визначити фактичні рівні індукції магнітного поля (ІМП) навколо асинхронних двигунів;
- розробити метод визначення потужності асинхронного двигуна після проведення ремонтних операцій або тривалого часу його експлуатації;
- отримати аналітичні залежності індукції магнітного поля навколо асинхронного двигуна з урахуванням його потужності, відстані до працівника та коефіцієнта екранування сіткового захисного екрана;
- розробити рекомендації щодо розташування робочої зони працівників залежно від потужності асинхронного двигуна та захисних властивостей сіткових екранів;
- розробити алгоритм впровадження організаційно-технічних заходів з охорони праці персоналу під час випробування та експлуатації асинхронних двигунів.

Ідея роботи полягає у зниженні рівнів магнітних полів у зоні робочих місць працівників шляхом визначення допустимих відстаней до асинхронних двигунів з урахуванням захисних екранів, потужності та режиму роботи двигунів.

Об'єкт дослідження – процеси просторового поширення магнітного поля від електромеханічних перетворювачів енергії електроремонтних підприємств.

Предмет дослідження – закономірності формування безпечної електромагнітної обстановки в робочій зоні з випробування асинхронних двигунів.

Методи дослідження. При вирішенні завдань дослідження використовувалися методи аналізу й узагальнення науково-технічних досягнень і літературних джерел з тематики досліджень; методи проведення натурних вимірювань рівнів індукції магнітного поля промислової частоти електротехнічного обладнання; теорії електротехніки та розрахункові методи визначення електромагнітних параметрів асинхронних двигунів; моделювання просторового розподілу фізичних факторів електромагнітної обстановки і динаміки їх змін; математичної теорії планування експерименту і математичної статистики для обробки результатів досліджень і перевірки теоретичних положень і наукових результатів.

Наукові положення, що висувуються на захист у дисертації:

1. Поширення небезпечного рівня потужності низькочастотних магнітних полів, що створюють відремонтовані асинхронні двигуни під час випробувань з урахуванням частоти напруги живлення, частоти комутації силових ключів перетворювачів енергії, характеру та величини навантаження, нелінійно впливає на

зони розташування робочих місць.

2. Розраховані під час випробування потужності відремонтованих асинхронних двигунів, для яких індукція магнітного поля змінюється на 10–15 %, визначають безпечну відстань до них у процесі експлуатації.

3. Нормалізація рівнів магнітних полів асинхронних двигунів потужністю від 1,3 до 315 кВт, що випробовуються після ремонту, досягається спеціальними конструкціями металевих сіткових захисних екранів з вічком 6 мм, що знижують до 40 % діюче значення індукції магнітного поля та підвищують на 60 % рівень безпечності в робочих зонах.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

- уперше отримано аналітичні залежності гранично допустимої відстані до асинхронного двигуна з урахуванням його потужності та коефіцієнта екранування захисної поверхні, що дозволяє визначити пріоритетність впровадження заходів і засобів захисту працівників від впливу низькочастотного магнітного поля;

- удосконалено математичний метод визначення потужності асинхронного двигуна за результатами його випробування, що дозволяє визначити заходи з підвищення рівня електромагнітної безпеки шляхом уточнення зони безпечного перебування працівників;

- отримали подальшого розвитку засоби захисту працівників від дії магнітних полів на основі сіткових захисних екранів, що дозволяє розширити безпечну зону до АД в процесі експлуатації.

Наукове значення роботи полягає у науковому обґрунтуванні заходів і засобів забезпечення безпечних умов праці в процесі випробування та експлуатації асинхронних двигунів.

Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:

- розроблено методику вимірювання індукції магнітного поля на випробувальних дільницях, що дає змогу визначити безпечні зони перебування працівників;

- розроблено рекомендації щодо встановлення захисних сіткових екранів асинхронних двигунів з оцінкою ефективності їх застосування у виробничих умовах;

- розроблено метод визначення потужності відремонтованих асинхронних двигунів, що дозволяє встановити фактичний рівень індукції магнітного поля та гранично допустимої безпечної відстані до них;

- розроблено науково-інженерний підхід до організації працезохоронних заходів з мінімізації впливу магнітних полів на працюючих.

Результати досліджень упроваджено на робочих дільницях ПрАТ «АвтоКрАЗ» (м. Кременчук) і до навчального процесу Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського під час виконання курсових проєктів 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, у реалізації низки

сучасних підходів до вирішення теоретичних й інженерних задач. Автором самостійно сформульовані наукові положення, висновки та рекомендації.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися та отримали позитивну оцінку на таких конференціях: II–VIII, XI, XII, XVI Всеукраїнські науково-технічні конференції молодих учених і спеціалістів «Електромеханічні системи методи моделювання та оптимізації» (Кременчук, 2004–2010, 2013, 2014, 2018); VI–XII, XVII Міжнародні науково-технічні конференції «Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика» (Кременчук, 2004–2010, 2018); IX Міжнародна науково-методична конференція на 121-й Міжнародній конференції EAS «Безпека людини у сучасних умовах» (Харків, 07–08 грудня 2017 р.); XVI Міжнародна науково-методична конференція «Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика» (Львів, 25–27 квітня 2018 р.).

Результати дисертаційної роботи були заслухані та обговорені на розширеному засіданні кафедри геодезії, землевпорядкування та кадастру факультету природничих наук Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського.

Публікації. Основний зміст дисертації опубліковано у 17 наукових публікаціях, з них 8 – у наукових фахових виданнях України, з яких 4 – індексуються міжнародними наукометричними базами даних («Index Copernicus», «CiteFactor», «Polish Scholarly Bibliography», «Directory of Research Journals Indexing», «Scientific Indexing Services»), 7 – матеріали конференцій та симпозіумів; 2 – патенти України на корисну модель.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 222 найменувань на 24 сторінках і 7 додатків, містить 39 рисунків, 17 таблиць, із них 14 рисунків на окремих 9 сторінках. Загальний обсяг роботи становить 182 сторінки друкованого тексту, у тому числі 116 сторінок основного тексту.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи та показано зв'язок теми з проблемою шкідливого впливу МП промислової частоти на стан здоров'я працівників, які задіяні на підприємствах з виготовлення, випробування та експлуатації асинхронних двигунів. Сформульовано мету та завдання досліджень, визначено об'єкт і предмет дослідження, наведено наукові положення, наукову новизну, практичну цінність і рівень апробації отриманих результатів, кількість публікацій за темою дисертації та особистий внесок автора.

У **першому розділі** на підставі розгляду робіт науковців медичних установ різних країн світу, таких як Мартинюк В. С., Бінгі В. Н., Ледньов В. В., Blackman С. F., Cordelli E., Koyama S., Nakahara T., Sakurai T. та інших, проведено аналіз біологічної дії на організм працівників магнітної складової електромагнітного випромінювання (ЕМВ) промислової частоти.

У результаті визначено, що при перевищенні фонового значення ІМП ($B_{\text{фон}} = 0,2$ мкТл) у клітинах організму людини запускається низка механізмів (іон-резонансний, гідратний, генерація активних форм Оксигену, модифікація форми білків), які призводять до непоправних змін у здоров'ї людини, зокрема до

збільшення відносного ризику захворювання на рак з 1,63 до 2,00 % (табл. 1).

Таблиця 1 – Вплив МП промислової частоти на стан здоров'я людини

Рівень МП	Вплив на людину (або біологічний об'єкт)
> 0,2 мкТл	Збільшується ризик захворювання на мієлоїдний лейкоз серед дорослих: > 0,2 мкТл у 2,3 рази; > 0,3 мкТл – 2,7 рази; > 0,4 мкТл – 4,6 рази, що становить СІ 0,77...3,46 %; ВР 1,63 %
	У 2,6 рази збільшується ризик появи злоякісної меланоми шкіри у дорослих
	У 2,6 рази збільшується ризик появи раку головного мозку у дорослих
0,2...10 мкТл	Підвищення ризику захворювань на рак. Бічний аміотрофічний склероз. СІ 1,05...3,55 %; ВР 1,93 %
> 0,41 мкТл	У 2,1 рази збільшується ризик появи раку яєчок у чоловіків
0,5...50 мкТл	Характеризується ростом трансформованих клітин у печінці. Підвищення активності гліколітичних реакцій та підвищення продукції молочної кислоти в різних тканинах (утома)
0,8...1 мкТл	Підвищується ризик захворювання на хворобу Альцгеймера та старече слабоумство. СІ 1,21...3,33 %; ВР 2,0 %
1 мкТл	Скорочування фази повільного сну. Зниження уваги та активності клітин головного мозку людини. СІ 0,93...3,43 %; ВР 1,78 %
1,4 мкТл	Генетичні зміни: вплив на синтез пептидів, що виконують функції біологічних датчиків
4,2...15,4 мкТл	У 1,5 рази збільшується ризик появи раку легень у дорослих
20 мкТл	Невеликі зміни серцевої функції, зниження пульсу на 3–5 ударів/хв.

Також розглянуто національні та міжнародні нормативні акти з електромагнітної безпеки, проаналізовано існуючі підходи щодо захисту працівників від шкідливого впливу фізичних факторів виробничого середовища та засоби і заходи щодо їх нормалізації.

Вагомий внесок у розв'язання проблеми електромагнітної безпеки зробили вітчизняні і закордонні вчені: Ю. Д. Думанський, В. А. Глива, О. Г. Левченко, В. І. Назаренко, О. Д. Подольцев, О. В. Панова, М. М. Резинкіна, М. Ledent, А. Smith, К. Dezelak, А. Huss, N. Patil та інші.

Узагальнення матеріалів першого розділу стало основою для постановки завдань дослідження, вирішення яких дозволить оперативно контролювати рівень магнітної обстановки при експлуатації ЕТО та своєчасно впроваджувати заходи і засоби захисту, що підвищать рівень охорони праці персоналу випробувальних дільниць електроремонтних цехів.

У другому розділі розглянуті особливості визначення рівнів МП ЕТО у виробничих умовах та розроблено лабораторно-дослідницький стенд (ЛДС) і комп'ютерно-вимірювальний комплекс (КВК) (рис. 1), що дозволяє в реальних умовах без попередніх підготовчих робіт здійснювати експериментальні вимірювання рівнів і розподілу ІМП промислової частоти від ЕТО (рис. 2).

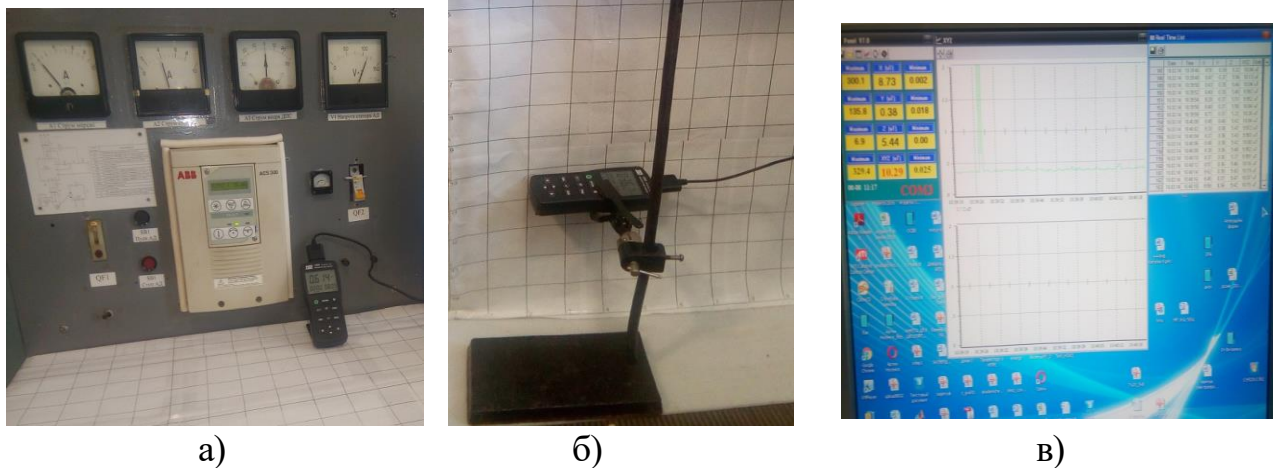


Рис. 1. Зовнішній вигляд ЛДС з комп'ютерно-вимірювальним комплексом:
 а) – лицьова панель ЛДС; б) – вимірювальний пристрій типу TES-1394;
 в) – робоча панель комплексу з фіксації, візуалізації та збереження даних

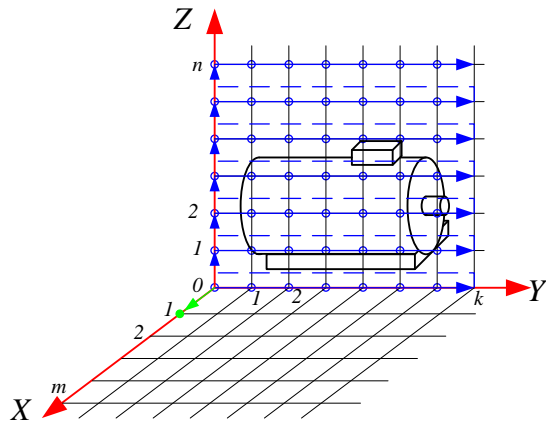


Рис. 2. Карта вимірювань ІМП ЕТО

для створення математичного апарату з ідентифікації електромагнітних параметрів ЕТО і побудови моделі взаємозв'язку рівня фізичних факторів виробничого середовища.

У третьому розділі наведені результати досліджень ІМП АД як найбільш розповсюдженого джерела ЕМП у навчально-виробничих умовах – лабораторії Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, виробничих цехах ВАТ «Кредмаш» (м. Кременчук), Полтавського ГЗК (м. Горішні Плавні) і ТОВ «Агросвіт СВ» (м. Глобине). Дослідження проведені для широкого діапазону потужностей $P_{АД} = 1,3...315$ кВт АД (рис. 3). При цьому враховувались параметри режиму роботи – частота напруги живлення, частота комутації силових ключів перетворювачів енергії, характер і величина навантаження. За результатами експериментів встановлено залежність поширення ІМП АД від відстані L і потужності двигуна P :

$$B(L, P) = (A(P) + C(P)L)^{-1/D(P)}, \quad (1)$$

де B – індукція магнітного поля, мкТл; L – відстань від АД до точки заміру, м; $A(P)$, $C(P)$, $D(P)$ – коефіцієнти рівняння.

Запропонована методика проведення експериментальних досліджень рівнів і просторового поширення ІМП ЕТО промислової частоти, на основі якої визначається безпечно розташування робочих місць, формулюються рекомендації щодо розміщення такого обладнання на етапі конструювання, модернізації та експлуатації.

Окрім того, за рахунок автоматизації обробки даних вимірювань і побудови карт поширення ІМП ЕТО отримано базу знань

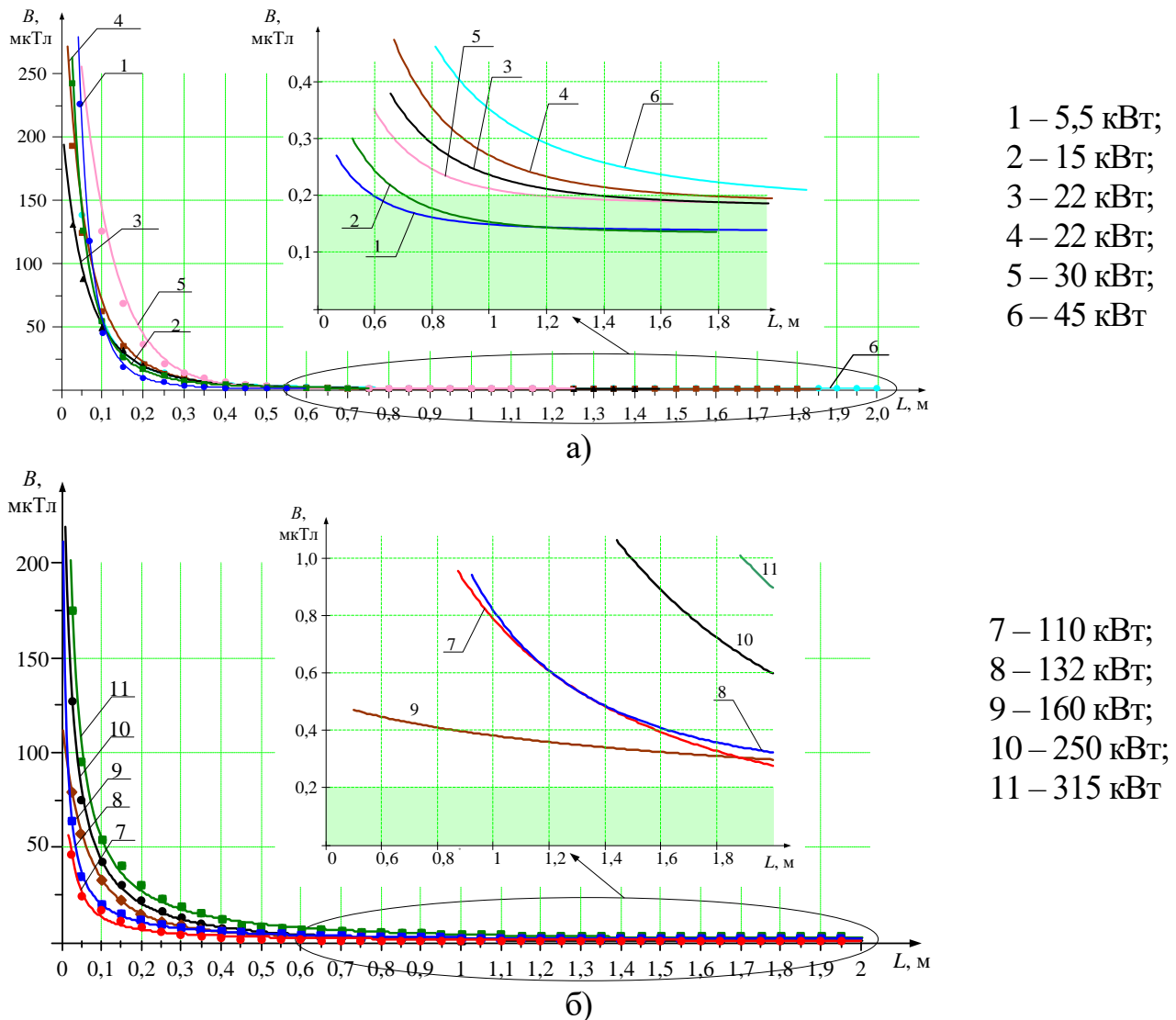


Рис. 3. Залежність ІМП від відстані до АД для частот напруги живлення:

а) $f=50$ Гц; б) $f=40$ Гц

У результаті експериментальних досліджень встановлено, що безпечна відстань до працюючих АД для працівників має складати не менше: 0,7 м – для двигунів потужністю до 15 кВт; 1 м – для двигунів до 30 кВт; 2 м – для двигунів понад 100 кВт. Визначення рівнів ІМП іншого ЕТО – приладів типу «амперметр» і «вольтметр», силових автоматичних перемикачів, кнопок типу «Пуск/Стоп», силового перетворювача енергії типу «АВВ 300» тощо – здійснювалось на ЛДС (рис. 4) з дослідження режимів роботи та ідентифікації електромагнітних параметрів АД, що за своїми функціональними можливостями та видом обладнання схожий на установки з проведення післяремонтних випробувань двигунів в умовах електроремонтних цехів. Дослідження проводились згідно з розробленою методикою та відповідних карт замірів (рис. 2).

Аналіз експериментальних даних показав, що найбільше значення ІМП спостерігається у трьох зонах: *зона 1* (рис. 4,б) – на панелі керування біля амперметрів – знаходиться на висоті 1,30 м від рівня підлоги. Рівень ІМП досягає позначки у 6,79 мкТл, що перевищує у 34 рази значення фону ($B_{\text{фону}} = 0,2$ мкТл); *зона 2* (рис. 4,б) – на панелі керування під перетворювачем частоти (ПЧ) –

знаходиться на висоті 0,95 м від рівня підлоги. Рівень ІМП досягає позначки 9,98 мкТл, що перевищує у 49,9 разів значення фону; зона 3 (рис. 4,д) – біля клемної коробки АД – знаходиться на висоті 0,25 м від рівня підлоги. Рівень ІМП досягає позначки у 39,51 мкТл, що у 197,5 разів перевищує значення фону.

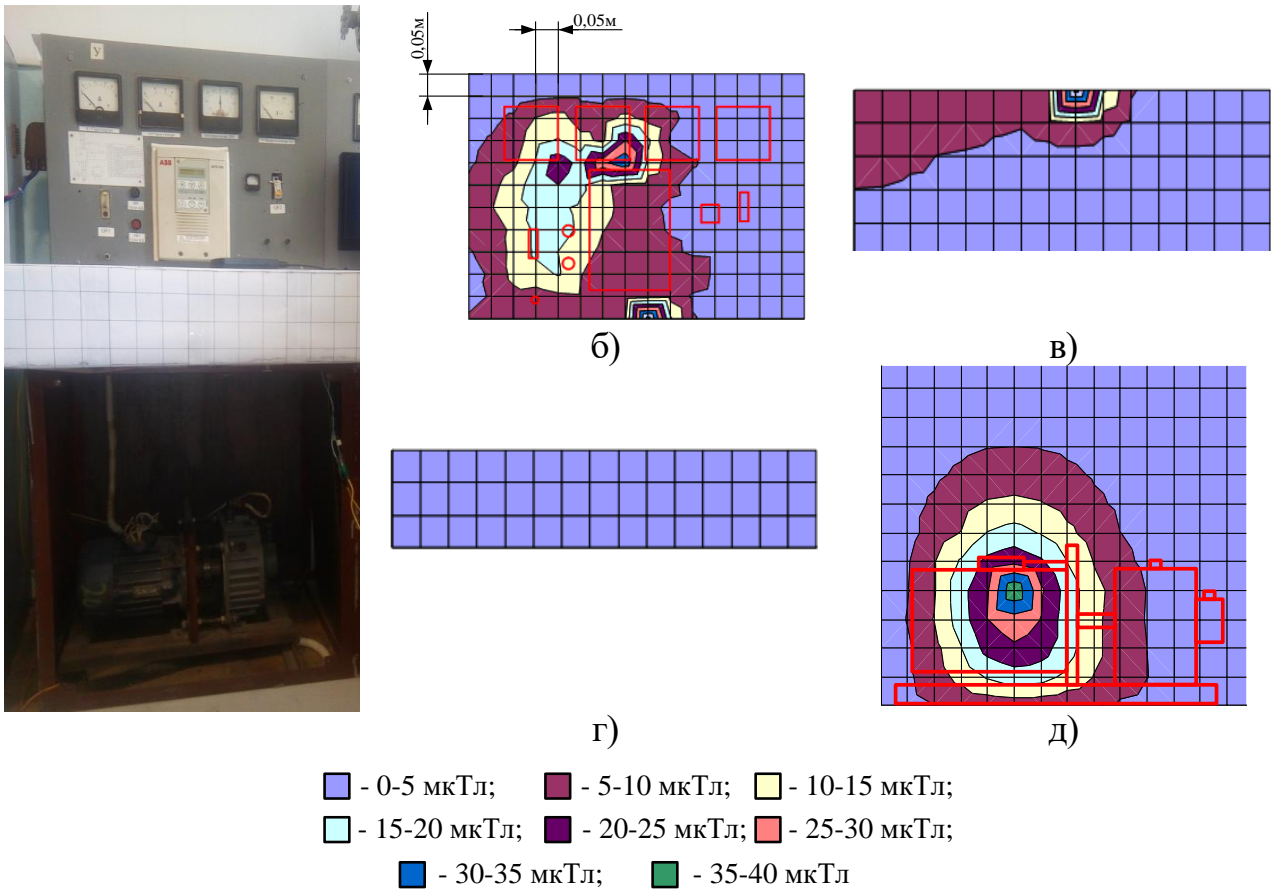


Рис. 4. Зовнішній вигляд ЛДС та відповідне поширення індукції магнітного поля його електротехнічним обладнанням:

- а) фото стенду; б) панель керування стендом; в) робоча поверхня оператора;
 г) передня частина столу оператора; д) АД потужністю 1,3 кВт

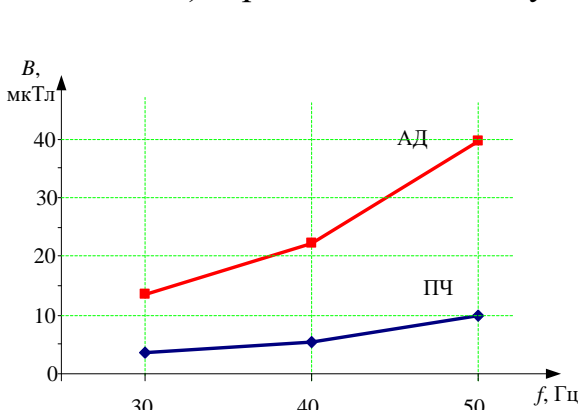


Рис. 5. Індукція МП АД і ПЧ лабораторно-дослідницького стенду залежно від частоти напруги живлення

З метою забезпечення електромагнітної безпеки перебування персоналу та електромагнітної сумісності технічних засобів проведено дослідження поширення ІМП частотно-регульованим електроприводом (ЧРЕП). Отримані результати (рис. 5) показали, що зменшення частоти напруги живлення на 60 % призводить до зниження величини ІМП на 37 % біля клемної коробки АД і на 50 % біля силових дратів ПЧ. Це пояснюється тим, що при зниженні частоти напруги на виході ПЧ знижується значення струму та напруги, і, як наслідок, знижується і значення ІМП.

Встановлено, що на величину ІМП впливає режим роботи ЕТО. Так, при збільшенні навантаження АД (струм статора збільшився на 35 % відносно струму неробочого ходу) значення ІМП збільшується в межах 55–65 % для ПЧ (рис. 6,а) і 5–15 % – для АД (рис. 6,б).

Отже, для зменшення негативного впливу МП на працівників, які знаходяться поблизу задіяних у технологічному процесі АД, слід використовувати напругу живлення в межах 30–40 Гц (рис. 6,б), якщо такий режим роботи дозволено технологічним процесом.

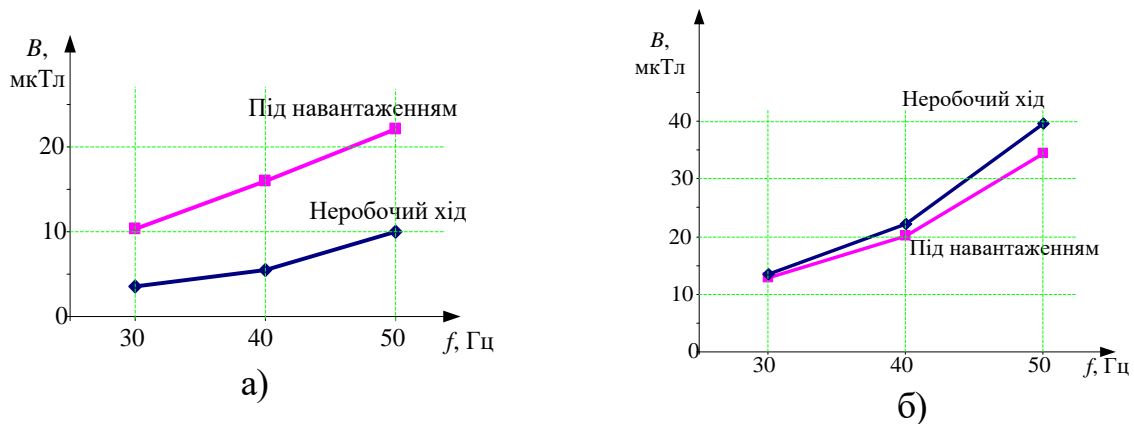


Рис. 6. Індукція МП АД та ПЧ лабораторно-дослідницького стенду залежно від навантаження та частоти напруги живлення:
а) ПЧ; б) АД

Аналіз результатів досліджень (рис. 7, 8) з визначення безпечної відстані до ЕТО залежно від їх режимів роботи показав, що:

- значення ІМП від ПЧ на неробочому ходу на 60 % менше, ніж під навантаженням. Зі збільшенням відстані до ПЧ ця різниця зменшується, і вже на відстані 0,2 м складає 13 %, а відстань з безпечним для працівників рівнем ІМП $V = V_{фон} = 0,2$ мкТл співпадає для обох режимів і становить $L = 0,6$ м. Зниження рівня ІМП від ПЧ на неробочому ходу пов'язано зі зменшенням струму навантаження;

- значення ІМП від АД на неробочому ходу на 15 % більше, ніж під навантаженням. Зі збільшенням відстані до АД ця різниця зменшується, а відстань з безпечним для працівників рівнем ІМП $V = V_{фон} = 0,2$ мкТл співпадає для обох режимів і становить $L = 0,65$ м. Зниження рівня значення ІМП від АД при роботі під навантаженням пов'язано зі зниженням напруги на затискачах АД, що є характерним для таких режимів. Тому, слід скоротити час роботи АД на неробочому ходу або для такого режиму роботи зменшити частоту напруги живлення ЧРЕП.

Встановлено, що тривала експлуатація та ремонтні роботи з відновлення ЕМ призводять до зміни їх електромагнітних параметрів, а, отже, і до рівнів МП. Так, аналіз отриманих результатів (рис. 9) експериментальних даних показав відносне збільшення до 43 % рівня ІМП для АД, що вже довгий час експлуатується, порівняно з подібним, але новим двигуном.

У результаті безпечна відстань для працівників з обслуговування АД з тривалим терміном експлуатації збільшується. Зокрема для двигуна потужністю 22 кВт ця відстань становить $L = 1,8$ м, що на 29 % більше ніж для АД з коротким терміном

експлуатації. Даний факт необхідно враховувати під час проведення діагностики та моніторингу стану ЕТО з метою захисту працівників від шкідливої дії ЕМП з урахуванням оновлених електромагнітних характеристик обладнання.

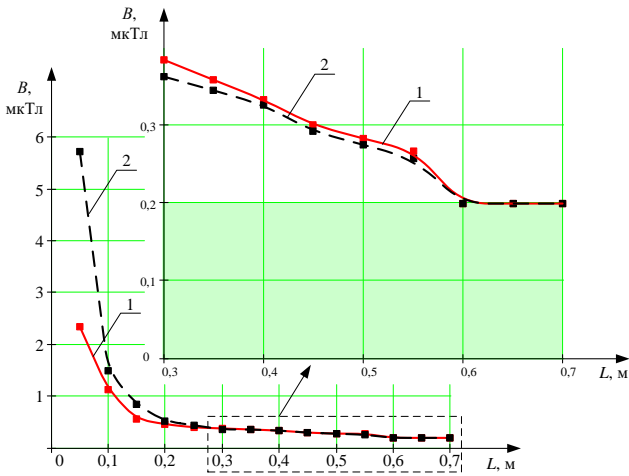


Рис. 7. Залежність ІМП ПЧ від відстані:

1 – неробочий хід; 2 – під навантаженням

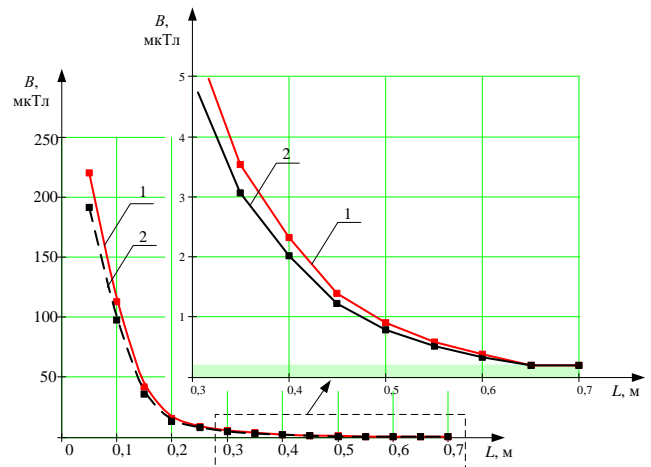


Рис. 8. Залежність ІМП АД потужністю 1,3 кВт від відстані:

1 – неробочий хід; 2 – під навантаженням

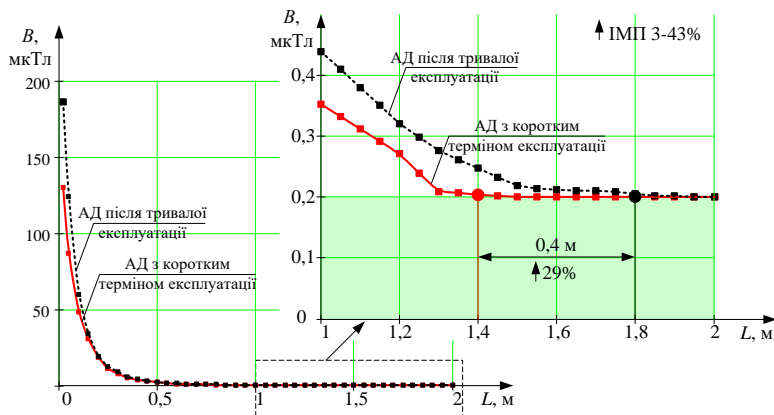


Рис. 9. Рівні ІМП АД потужністю 22 кВт з різним терміном експлуатації

Отже, вирішення завдання щодо нормалізації електромагнітної обстановки в робочій зоні працівників і правильний вибір заходів і засобів їх захисту неможливі без визначення фактичних електромагнітних параметрів ЕТО, задіяного у виробничому процесі. Виходячи з цього, у роботі розроблено метод з визначення електромагнітних параметрів АД, алгоритм якого наведено на рис. 10.

Проведені розрахунки показали, що під час тривалої експлуатації споживана потужність АД збільшується до 5...10 %, а потужність на валу зменшується на відповідну величину, що дозволяє стверджувати про збільшення небезпечної зони поширення ІМП від АД і вимагає постійного контролю умов праці працівників, задіяних на підприємствах з ремонту та обслуговування ЕТО.

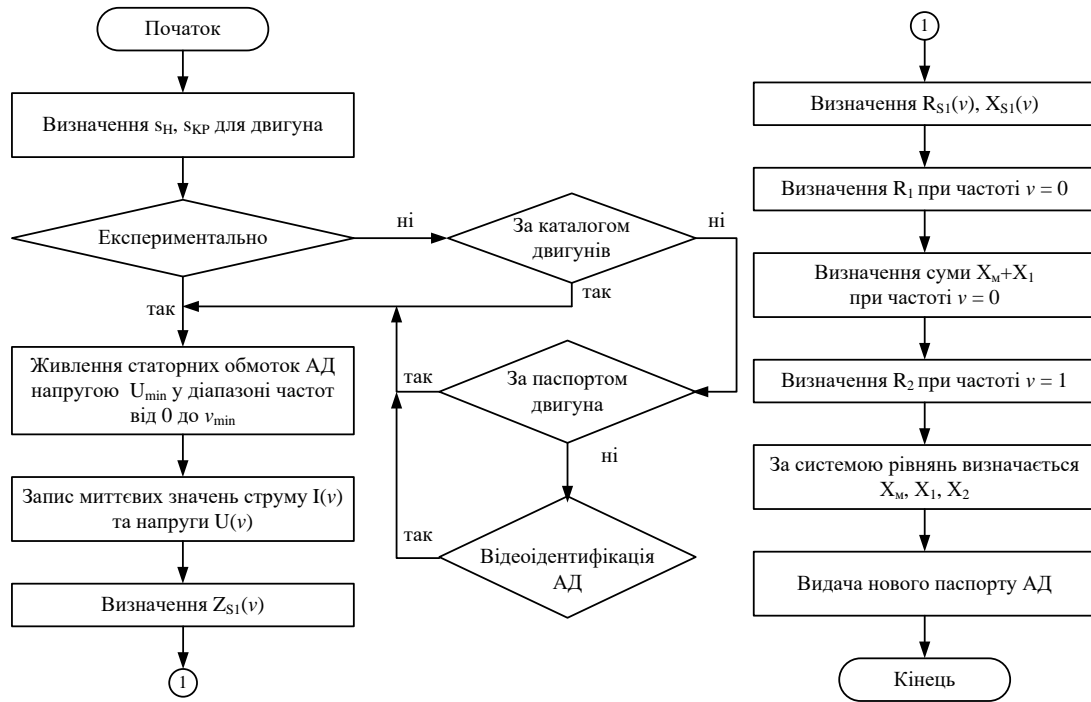


Рис. 10. Алгоритм визначення електромагнітних параметрів асинхронних двигунів з використанням низькочастотної напруги живлення

У четвертому розділі приведені дослідження пасивних заходів захисту працівників від дії ЕМП АД, зокрема розглянуто застосування захисних сіткових екранів. Дослідження проведені із застосуванням таких типів екранів (рис. 11): 1 – без екрану; 2 – із металеві ізолюваної сітки, 50x50 мм; 3 – із металеві ізолюваної сітки, 25x25 мм; 4 – із металеві неізолюваної заземленої сітки, 25x25 мм; 5 – із металеві неізолюваної заземленої сітки, 12,5x12,5 мм; 6 – із металеві неізолюваної заземленої сітки, 6x6 мм.

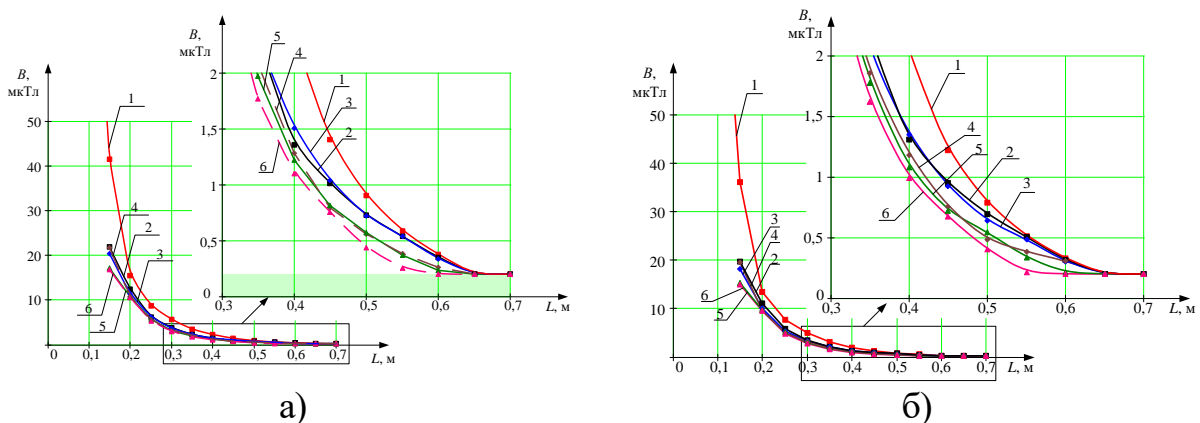


Рис. 11. Залежність ІМП після встановлення екрану для режимів:
а) неробочий хід, б) під навантаженням

Встановлено, що найбільш ефективним засобом захисту працівників від впливу МП АД є встановлення заземленого неізолюваного металевого сіткового екрану з розміром вічка 6x6 мм. При цьому коефіцієнт екранування K_E на неробочому ходу АД становить 8,8, а при роботі АД під навантаженням – 7,7. За обох режимів роботи АД відносно зниження рівнів ІМП знаходиться в межах 30...60 % порівняно з рівнем без екрану.

Для аналізу отриманих результатів та автоматизації процедури розрахунку в роботі була використана методика математичного планування експерименту за схемою РЦКП. У результаті розрахунків отримано математичну модель залежності ІМП АД:

$$B = 2,11 + 6,61P - 2,83L - 5,70 \cdot 10^{-2} K_E + 7,08 \cdot 10^{-6} P^2 - 2,91 \cdot 10^{-3} PL - 4,06 \cdot 10^{-4} K_E P + \quad (3) \\ + 0,96L^2 + 4,68 \cdot 10^{-2} LK_E - 3,38 \cdot 10^{-4} K_E^2,$$

де P – потужність АД, кВт; L – відстань до АД, м; K_E – коефіцієнт екранування, дБ.

Адекватність отриманої залежності за коефіцієнтом детермінації становить $R^2 = 0,96$. Перевірка статичної значущості факторів з використанням стандартизованої карти Парето показала, що найбільший вплив на рівень ІМП мають потужність P , відстань L , коефіцієнт екранування K_E і квадратичне значення відстані L^2 . Графічне відображення отриманої залежності приведено у вигляді поверхонь відгуку (рис. 12). Отримана математична модель зміни ІМП АД дозволяє оцінити ефективність екранування ЕМП промислової частоти та сформулювати рекомендації щодо вибору типу екрану залежно від виробничих умов. Залежність (3) або поверхні відгуку (рис. 12) дозволяють математично або графічно вибрати тип захисного екрану чи визначити безпечну відстань, що забезпечує допустимий рівень значення ІМП на робочому місці працівника. Так, на рис. 13 наведені порівняльні картини просторового розподілу ІМП навколо АД без установки та з установкою захисного екрану на відстані 0,15 м від двигуна. Захисний екран встановлено по контуру з металеві заземленої сітки з $K_E = 7,5$.

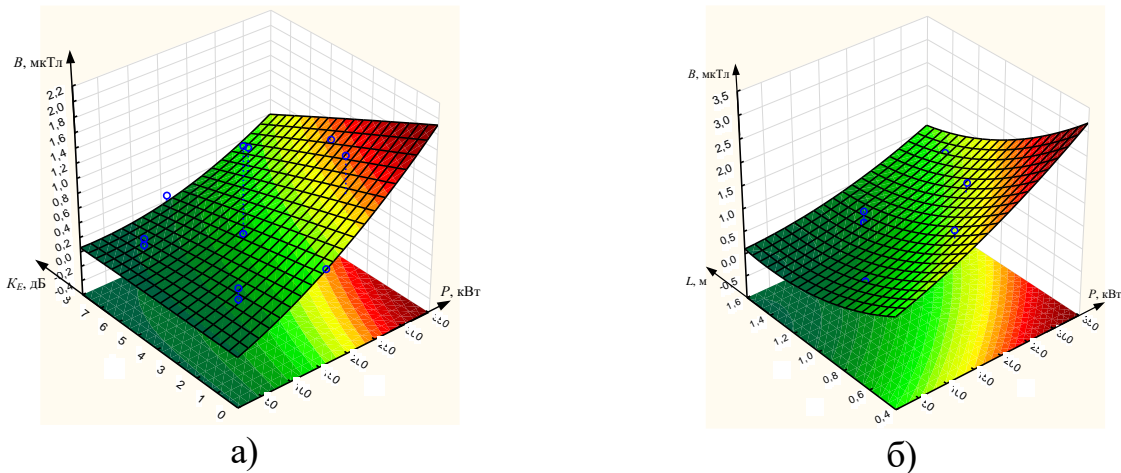


Рис. 12. Поверхня відгуку індукції магнітного поля від потужності асинхронного двигуна, відстані та коефіцієнта екранування
а) його потужності та коефіцієнта екранування;
б) його потужності та відстані до нього

З рис. 13 видно, що встановлення такого типу захисного екрану дозволяє знизити на 55 % рівень ІМП навколо АД, розширивши, тим самим, безпечну зону перебування працівників. Зокрема, для двигуна потужністю 22 кВт безпечна зона збільшується на 25 % (рис. 13,а), а для двигуна потужністю 45 кВт – на 45 % (рис. 13,б). Проекції поверхонь відгуку (рис. 12) дозволяють графічно визначити безпечну відстань до АД з урахуванням його потужності та часу перебування

працівників в зоні дії ЕМП відповідної інтенсивності ($B > B_{фон}$). Так, на рис. 14 показано залежність розподілу ІМП від АД у діапазоні потужностей 0–400 кВт із захисним екраном, що характеризується коефіцієнтом екранування 7,5 дБ.

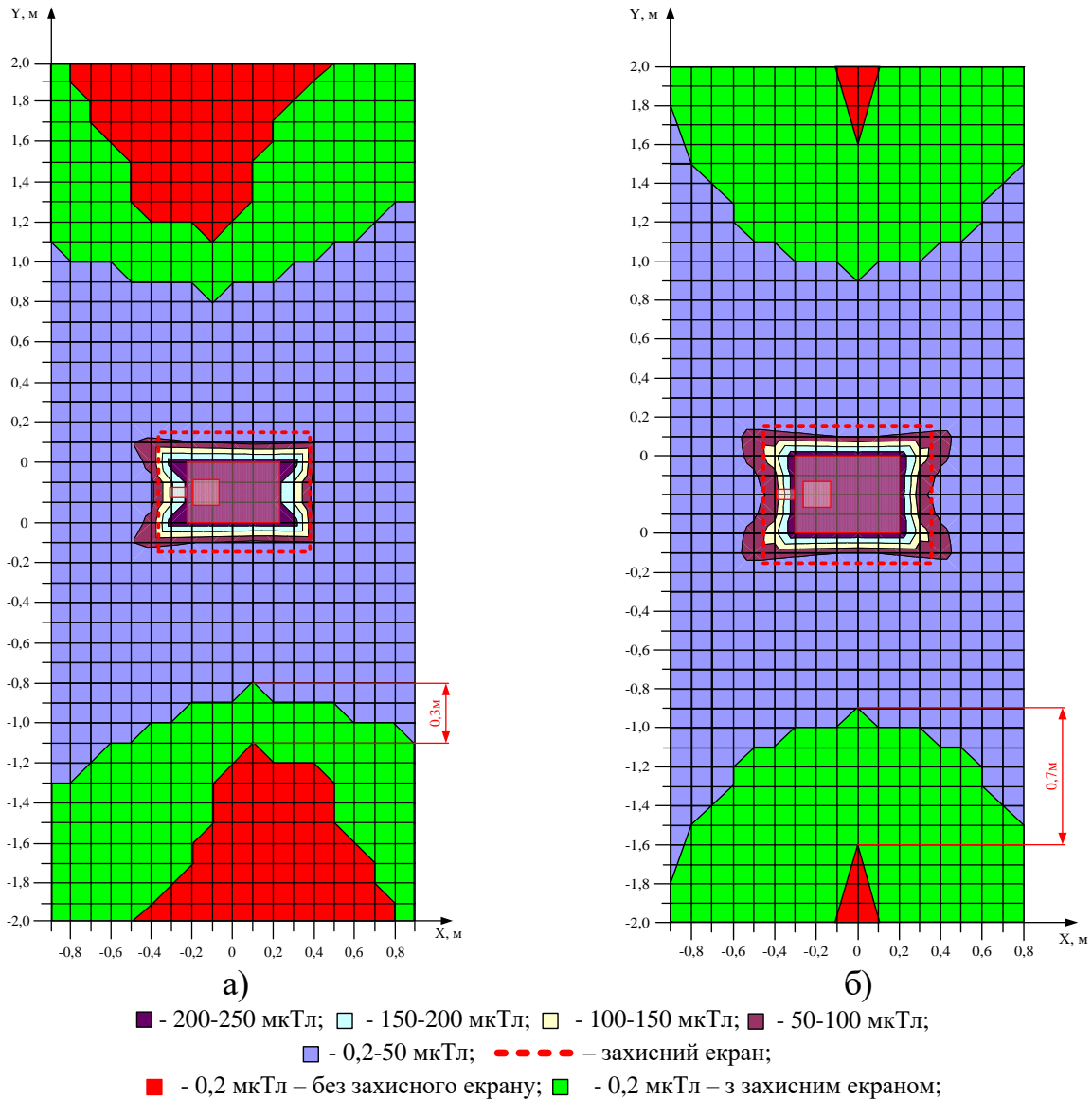


Рис. 13. Розподіл ІМП навколо АД без та із застосуванням захисного екрану:

а) $P = 22$ кВт; б) $P = 45$ кВт

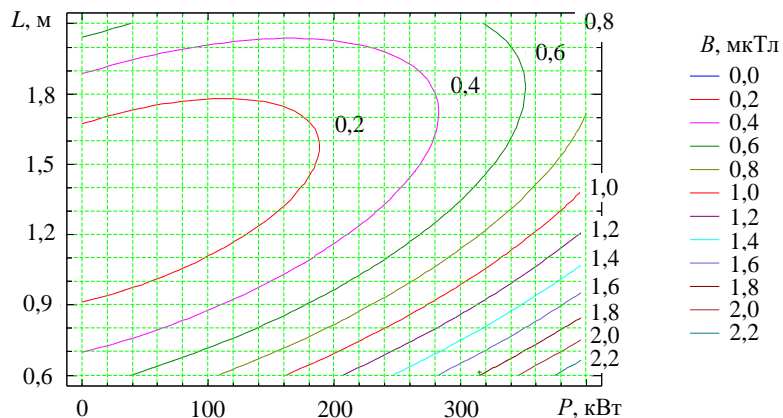


Рис. 14. Карта розподілу ІМП від АД із захисним екраном з $K_E = 7,5$ дБ

Експериментальні та теоретичні дослідження стали підґрунтям для формування алгоритму (рис. 15) застосування узагальненого комплексу організаційно-технічних заходів з захисту працівників електромеханічних підприємств від негативного впливу МП промислової частоти АД у виробничих умовах.

Проведені дослідження та отримані залежності дозволяють вже на етапі проектування надати рекомендації щодо встановлення захисних екранів та оцінити ефективність їх застосування у виробничих умовах та геометрично визначити безпечне розташування робочого місця.

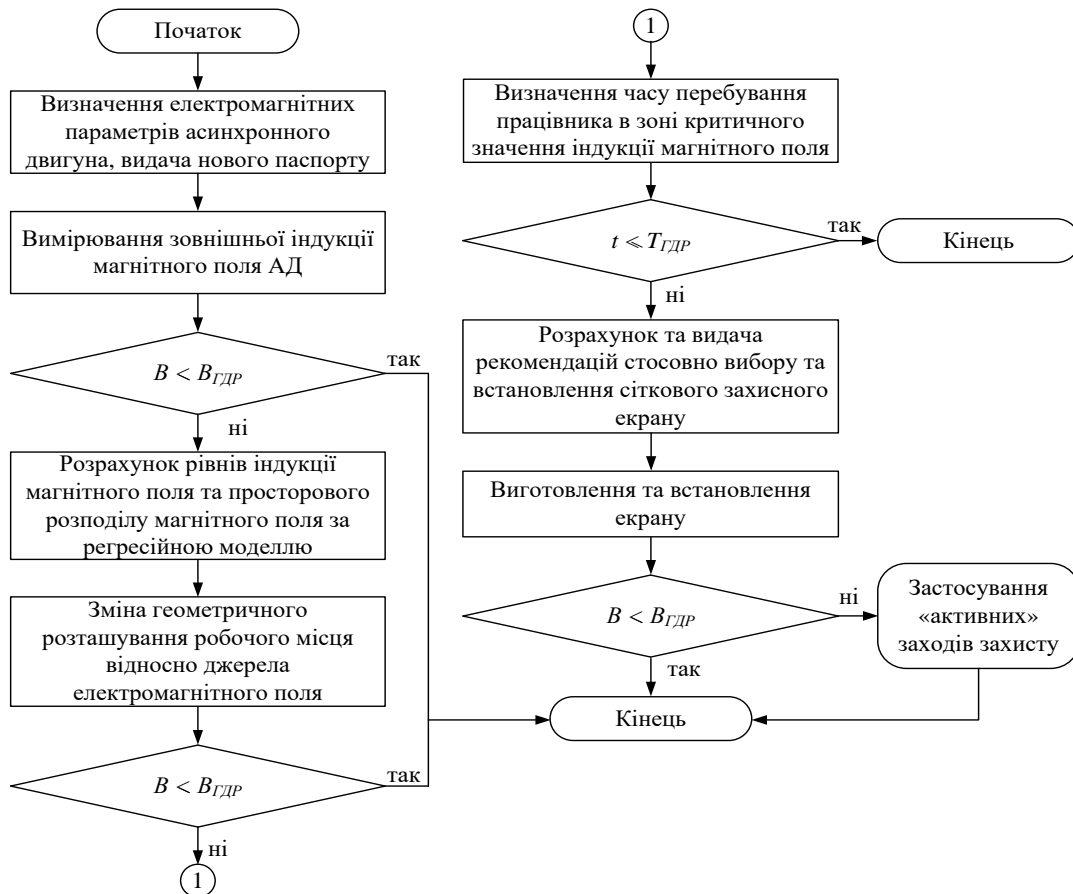


Рис. 15. Алгоритм застосування організаційно-технічних заходів з нормалізації рівнів МП АД у виробничих умовах

Таким чином, моделювання просторового поширення МП працюючого ЕТО є ефективним методом визначення та прогнозування електромагнітного навантаження на виробниче середовище.

Перевагою запропонованого алгоритму є концептуальний науково-інженерний підхід щодо прогнозування просторового поширення та нормалізації рівнів магнітних полів АД у робочій зоні з використанням технічних засобів.

Визначення пріоритетності та впровадження працезохоронних заходів не вимагають зміни технологічного процесу, режимів роботи електрообладнання та технічних засобів і, як наслідок, не потребують значних матеріальних вкладень.

Практична реалізація зазначеного алгоритму у виробничих приміщеннях показала коректність його побудови та доцільність використання, за яких рівні магнітних полів відповідають загальноєвропейським нормам з електромагнітної безпеки.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язана актуальна науково-практична задача зі зниження негативного впливу МП промислової частоти на робочих місцях випробувальних дільниць електроремонтних цехів.

Основні наукові і практичні результати роботи полягають у наступному:

1. На основі проведеного аналізу шкідливого впливу на стан здоров'я людини магнітних полів промислової частоти, доведено необхідність застосування сучасних засобів й заходів захисту.

2. Отримано шляхом апроксимації експериментальних даних просторову залежність поширення ІМП АД, що дозволяє визначити безпечну відстань до робочого місця залежно від потужності електричної машини та режиму її роботи. Так, приймаючи за граничнодопустимий рівень $B = 0,2$ мкТл, безпечна відстань становить для двигунів малої потужності до 0,65 м, а великої потужності – понад 2 м.

3. За експериментально отриманою картиною поширення МП промислової частоти встановлено, що найбільше значення рівнів ІМП спостерігаються на затискачах АД складає $B = 39,51$ мкТл і ПЧ – $B = 9,98$ мкТл, а також у місцях зосередження вимірювальних приладів $B = 6,791$ мкТл.

4. Розроблено метод визначення електромагнітних параметрів АД, що дозволяє визначити споживану потужність ЕМ і розподіл її ІМП. Це дозволяє під час проведення випробувальних операцій визначити безпечну відстань для обслуговуючого персоналу та обрати заходи та засоби захисту працівників від наднормової дії магнітних полів промислової частоти.

5. Встановлено, що під час зміни навантаження на валу на затискачах АД і ПЧ значення ІМП збільшується більш ніж у 2 рази, що пов'язано зі зростанням комутаційних струмів. А для регульованого електроприводу зі зростанням частоти напруги живлення з 30 до 50 Гц значення ІМП збільшується у середньому у 2,8 рази.

6. Отримано регресійну модель розподілу індукції магнітного поля, яка враховує потужність, відстань до АД і коефіцієнт екранування сіткового захисного екрану та є ефективним інструментарієм визначення заходів захисту працюючих від небезпечної дії ЕМП. Визначено, що використання екранів сіткової структури дозволяє знизити на 55 % рівень магнітного поля навколо працюючих АД і, тим самим, зменшити безпечну відстань до робочого місця від 25 до 45 % залежно від потужності.

7. Планування та практична реалізація заходів з нормалізації рівнів магнітних полів АД повинні здійснюватися за певним алгоритмом, який передбачає визначення фактичних електромагнітних параметрів АД, попередні вимірювання кількісних значень рівнів МП, побудови карт і прогнозування їх поширення у складних виробничих умовах і визначення пріоритетності впровадження заходів і засобів залежно від специфіки технологічного процесу.

Основні наукові результати і положення дисертації відображені у 17 наукових працях, основні з яких

Публікації у фахових виданнях України:

1. Резник Д. В., Калинов А. П., Родькин Д. И., Ромашихин Ю. В. Определение электромагнитных параметров асинхронных двигателей при питании напряжением низких частот. *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету*. 2006. № 4 (39), Ч. 1. С. 117–121.
2. Резник Д. В., Родькин Д. И., Калинов А. П. Повышение точности определения электромагнитных параметров асинхронных двигателей при использовании низкочастотного испытательного напряжения. *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету*. 2007. № 3 (44), Ч. 2. С. 144–149.
3. Резник Д. В., Резник Е. А. Алгоритмизация метода определения электромагнитных параметров асинхронных двигателей при питании от источника низкочастотного напряжения. *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. 2009. № 2 (6). С. 14–18.
4. Резнік Д. В., Козяр С. В. Визначення електромагнітних параметрів асинхронних двигунів при псевдонизкочастотній напрузі живлення. *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету*. 2010. № 4 (63), Ч. 3. С. 136–139.
5. Резнік Д. В., Сукач С. В., Зачепа Ю. В., Ходаковський О. В. Організаційно-технічні заходи з мінімізації рівнів низькочастотних електромагнітних полів у виробничих умовах. *Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вісті Донецького гірничого інституту»*. 2018. № 1 (42). С. 21–29.

Публікації у виданнях які включені до міжнародних наукометричних баз:

6. Резник Д. В., Родькин Д. И., Ромашихин Ю. В. Оценка эффективности применения низкочастотных псевдоисточников при идентификации электромагнитных параметров асинхронных двигателей. *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. 2013. № 3 (23). С. 18–25. (*Index Copernicus*).
7. Резнік Д. В., Зачепа Н. В., Чорна О. А., Ніколаєв К. Д. Дослідження поширення магнітного поля асинхронної машини в умовах навчально-виробничих лабораторій. *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. 2017. № 3 (39). С. 38–45. (*Index Copernicus, Ulrich's periodicals directory, Citefactor, Polish scholarly bibliography, Info base index, Directory of research journals indexing, Universal impact factor, Research bible, Scientific indexing services*).
8. Резнік Д. В., Чорний О. П., Зачепа Ю. В., Ченчевой В. В., Богодист А. О. Екранування як засіб нормалізації електромагнітної обстановки робочого середовища. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2018. № 1 (47). С. 170–175. (*Index Copernicus, General Impact Factor, Google Scholar, Academic Resource Index, Scientific Indexed Service*).

Патенти

9. Спосіб визначення електромагнітних параметрів машин змінного струму : пат. на корисну модель 51956 Україна: G01R 27/28. заявл. 29.01.2010; опубл. 10.08.2010. Бюл. № 15.

10. Спосіб визначення параметрів асинхронного двигуна при живленні від джерела синусоїдальної напруги : пат. на корисну модель 91641 Україна: G01R 27/28. заяв. 21.02.2014; опубл. 10.07.2014. Бюл. № 13.

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

11. Резник Д. В., Родькин Д. И., Ромашихин Ю. В. Особенности определения электромагнитных параметров асинхронных двигателей при использовании низкочастотного испытательного напряжения. *Электроприводы переменного тока : труды Междун. четырнадцатой научно-технической конференции*, (Екатеринбург, 13–16 марта 2007 г.). Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2007. С. 279–283.

12. Резник Д. В., Резник Е. А. Рациональные пределы частот испытательного напряжения при идентификации электромагнитных параметров асинхронного двигателя. *Електромеханічні системи, методи моделювання та оптимізації : збірник наукових праць VII Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів* (Кременчук, 02–04 квітня 2009 р.). Кременчук : КДПУ, 2009. С. 221–224.

13. Резник Д. В. Оценка эффективности метода определения электромагнитных параметров асинхронных двигателей разного типа при использовании низкочастотного питающего напряжения. *Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації : збірник наукових праць XI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів* (Кременчук, 09–11 квітня 2013 р.). Кременчук : КрНУ, 2013. С. 132–133.

14. Резнік Д. В., Сукач С. В., Богодист А. О. Експериментальні дослідження поширення індукції магнітного поля від навчального стенду. *Безпека людини у сучасних умовах : збірник наукових статей та матеріалів IX Міжнародної науково-методичної конференції на 121 Міжнародній конференції EAS* (Харків, 07–08 грудня 2017 р.). Харків : НТУ «ХП», 2017. С. 101–104.

15. Резнік Д. В., Зачепа Н. В., Кісліцин О. Ю., Кулік Д. О., Прошин Д. О. Чисельне моделювання розподілу індукції зовнішнього магнітного поля асинхронного двигуна. *Електромеханічні та енергетичні системи. Методи моделювання та оптимізації : збірник наукових праць XVI Міжнародної науково-технічної конференції* (Кременчук, 12–13 квітня 2018 р.). Кременчук : КрНУ, 2018. С. 91–92.

16. Резнік Д. В., Богодист А. О., Мирко В. В., Мельник К. І. Вплив типу захисного сіткового екрану на величину індукції магнітного поля навколо асинхронного двигуна. *Електромеханічні та енергетичні системи. Методи моделювання та оптимізації : збірник наукових праць XVI Міжнародної науково-технічної конференції* (Кременчук, 12–13 квітня 2018 р.). Кременчук : КрНУ, 2018. С. 132–133.

17.Резнік Д., Ченчевой В., Богодист А. Екранування магнітного поля асинхронної машини у виробничих умовах. *Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика* : матеріали XVI Міжнародної науково-методичної конференції БЖДЛ–2018 (Львів, 25–27 квітня 2018 р.). Львів, 2018. С. 165–166.

Особистий внесок у надруковані у співавторстві наукові праці:

[1–4, 6, 11–13] – розробка методу з визначення електромагнітних параметрів та потужностей АД; [9, 10] – розробка експериментальної установки для дослідження якості перетворення електричної енергії в середині ЕМ і поширення МП від неї; [7, 14, 15] – дослідження просторового поширення ІМП від АД; [5, 8, 16, 17] – дослідження можливості застосування захисних екранів з метою зниження рівнів МП промислової частоти АД.

АНОТАЦІЯ

Резнік Д. В. Нормалізація рівнів магнітних полів на робочих місцях випробувальних дільниць електроремонтних цехів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.26.01 – Охорона праці. – ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Покровськ, 2018.

У дисертації розв'язано актуальну науково-практичну задачу зі зниження негативного впливу магнітних полів промислової частоти на робочих місцях випробувальних дільниць електроремонтних цехів.

Сучасне виробництво характеризується щільним розташуванням електротехнічного обладнання, яке насичує простір виробничого середовища електромагнітними полями промислової частоти. Найбільша увага приділяється саме електричним машинам. По-перше, це пов'язано з їх розповсюдженістю та розташуванням біля робочих місць працівників, а, по-друге, вони є одними з головних джерел електромагнітного випромінювання на виробництві. У процесі експлуатації двигунів рівень полів може змінюватись і перевищувати нормовані показники. Дослідження останніх 50 років показують, що тривале перебування працівників під дією наднормових показників індукції магнітного поля призводить до збільшення ризиків виникнення онкологічних захворювань через порушення функціонування клітин та органів людини. Тому актуальною задачею є розгляд і застосування заходів захисту від наднормових показників магнітних полів у виробничому середовищі.

Для розв'язання цієї проблеми у роботі виконано дослідження на реальному обладнанні. Приймаючи за гранично допустимий рівень значення індукції магнітного поля $B = 0,2$ мкТл, встановлено, що безпечна відстань для асинхронних двигунів малої потужності становить до 0,65 м, а великої потужності – понад 2 м. У результаті отримано аналітичну залежність між впливом на величину індукції магнітного поля потужності асинхронного двигуна та відстані до нього. У зв'язку з тим, що на виробництві електротехнічне обладнання розташовується дуже щільно, то було розроблено лабораторно-дослідницький стенд з використанням комп'ютерно-вимірального комплексу. Зазначене обладнання дозволило

дослідити вплив на значення індукції магнітного поля частоти живлення та режиму роботи асинхронного двигуна. Встановлено, що під час зміни навантаження на валу електричної машини на його затискачах і перетворювачі частоти значення індукції магнітного поля збільшується більш ніж у 2 рази, що пов'язано зі зростанням комутаційних струмів, а для регульованого електроприводу зі зростанням частоти напруги живлення з 30 до 50 Гц значення індукції магнітного поля збільшується в середньому у 2,8 рази.

Під час проведення досліджень було виявлено, що на значення індукції магнітного поля впливає час експлуатації, а саме, тривале використання електричних машин призводить до збільшення небезпечної відстані навколо них. Вирішення цієї задачі потребує розгляду енергетичних процесів, що відбуваються в асинхронних двигунах. Тому був розроблений метод з визначення електромагнітних параметрів асинхронних двигунів і споживаної потужності.

Проведені розрахунки показали, що споживана потужність змінюється в межах 10–15 %, що призводить до зміни картини поширення індукції магнітного поля навколо асинхронного двигуна. Тому запропоновано використання сіткових захисних екранів, застосування яких дозволило отримати базу даних для математичного планування експерименту за схемою ротатабельного центрального композиційного планування. Отримана модель розподілу індукції магнітного поля враховує потужність, відстань до асинхронного двигуна і коефіцієнт екранування сіткового захисного екрану та є ефективним інструментарієм визначення заходів захисту працюючих від небезпечної дії електромагнітних полів. Визначено, що використання екранів сіткової структури дозволило знизити на 55 % рівень магнітного поля навколо працюючих асинхронних двигунів і, тим самим, зменшити безпечну відстань до робочого місця від 25 до 45 % залежно від потужності. Базуючись на проведених розрахунках розроблено алгоритм, за яким обираються заходи і засоби для побудови карт і прогнозування поширення індукції магнітного поля від асинхронних машин.

Ключові слова: охорона праці, виробниче середовище, асинхронний двигун, індукція магнітного поля.

ABSTRACT

Reznik D. V. Normalization of the level of magnetic fields at workplaces of test areas of electrical repair shops. “Published in manuscript form”.

Thesis for the degree of Candidate of Technical Sciences in specialty 05.26.01 – Labor protection. – HSEU “Donetsk National Technical University”, Pokrovsk, 2018.

The dissertation is devoted to the actual scientific and practical task of normalization of the electromagnetic environment of the working zone at the testing sites of electric machines of electrical repair enterprises.

Modern production is characterized by a dense location of electrotechnical equipment, which polluted the space of the industrial environment with electromagnetic fields of industrial frequency. The greatest attention is paid to electric motors. First, this is due to their prevalence and location at the workplace, and secondly, they are one of the main sources of electromagnetic radiation in the workplace. In the process of motor operation, the level of the fields may vary and exceed the normalized performance. Studies of the last 50

years show that prolonged stay of workers under the influence of excessive indices of magnetic field induction leads to an increased risk of oncological diseases due to impaired functioning of cells and organs of a person. Therefore, the actual task is to consider and apply protection measures against over-norm indicators of magnetic fields in the production environment.

To solve this problem, the research has been carried out on the real equipment. Taking into account the maximum value of the magnetic field induction value $B = 0.2$ microTl for the maximum permissible level, it is established that the safe distance for low power motors is up to 0,65 m, and for high power motors - more than 2 m. As a result, an analytical dependence was obtained between the effect of the magnetic field induction of the power of the asynchronous motor and the distance to it.

Due to the fact that the electrical equipment in real conditions situated very densely, a laboratory-research bench using a computer-measuring complex was developed. The mentioned equipment allowed to determine the influenced value of the induction magnetic field during different power frequencies and the mode of operation of the asynchronous motor. It is established that during the change in the load on the shaft on the clamps of the asynchronous motor and the FC the magnitude of the induction magnetic field increases by more than 2 times, which is due to the increase of switching currents, and for a regulated electric drive with an increase in the frequency of the supply voltage from 30 to 50 Hz values the induction of the magnetic field increases by an average of 2,8 times.

During the research, it was found that the value of induction magnetic field affects the operating time, namely, prolonged use of electric machines leads to an increase in the dangerous distance around them. Solving this problem requires consideration of the energy processes occurring in asynchronous motors. Therefore, a method was developed for determining the electromagnetic parameters of asynchronous motors and power consumption.

The performed calculations showed that the power consumption varies within 10-15%, which leads to a change in the pattern of the propagation of magnetic field induction around the asynchronous motor. Therefore, the use of protective screens was proposed, which allowed to obtain a database for mathematical planning of the experiment under the scheme of rotatable central composite planning. The received magnetic field distribution model takes into account the power, the distance to the asynchronous motor and the coefficient of screening of the protective screen, and it is an effective tool for determining the measures for protecting workers from the dangerous effects of electromagnetic fields. It has been determined that the use of screens of grid structure allowed to reduce the level of magnetic field around working asynchronous motors by 55% and, thus, reduce the safe distance to the workplace from 25 to 45% depending on the power. Based on the calculations, an algorithm was developed for selecting the measures and means for mapping and predicting the propagation of the magnetic field induction from asynchronous motors.

Key words: labor protection, production environment, asynchronous motor, induction of magnetic field.

Резнік Дмитро Володимирович

**НОРМАЛІЗАЦІЯ РІВНІВ МАГНІТНИХ ПОЛІВ НА РОБОЧИХ МІСЦЯХ
ВИПРОБУВАЛЬНИХ ДІЛЬНИЦЬ ЕЛЕКТРОРЕМОНТНИХ ЦЕХІВ**

(Автореферат)

Підписано до друку 27.10.2018
Формат 60×84 1/16. Папір офсетний
Умовно. друк. арк. 0,8. Наклад 100.

Видавництво ПП Щербатих О.В.
Свідоцтво про внесення до Державного
реєстру суб'єкта видавничої справи
ДК №2129 від 17.03.2005р.
вул. Софіївська, 36-Б, м. Кременчук, 39601