

Д.В. Резнік, О.П. Чорний, Ю.В. Зачепа, В.В. Ченчевой, А.О. Богодист, О.О. Вовк

*Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Кременчук  
Державна установа «Національний НДІ промислової безпеки та охорони праці», Київ*

## ЕКРАНУВАННЯ ЯК ЗАСІБ НОРМАЛІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ОБСТАНОВКИ РОБОЧОГО СЕРЕДОВИЩА

*Виконано аналіз впливу електромагнітних полів промислової частоти на здоров'я людини. Експериментально встановлені фактичні рівні електромагнітних полів асинхронних двигунів у виробничих умовах. Розглянуті організаційні заходи та технічні засоби у вигляді захисних екранів з нормалізації електромагнітної обстановки у робочій зоні виробничих приміщень. Встановлено, що застосування захисних екранів дозволяє зменшити більше ніж на 40 % рівень індукції магнітного поля у робочій зоні. На основі регресійного аналізу отримана математична модель залежності індукції магнітного поля асинхронного двигуна, застосування якої на етапі проектування технічних засобів захисту дозволяє оцінити їх ефективність щодо забезпечення допустимої електромагнітної обстановки на робочому місці з урахуванням характеристик встановленого електротехнічного обладнання та технологічно можливих у виробничих умовах місць встановлення захисних конструкцій.*

**Ключові слова:** індукція електромагнітного поля, асинхронний двигун, екранування.

### Вступ

Сучасне виробництво важко уявити без використання електротехнічного обладнання (ЕТО). Але саме це обладнання є джерелом електромагнітного поля промислової частоти (ЕМП ПЧ). На сьогодні відсутнє чітке визначення рівня безпечного рівня ЕМП ПЧ [1]. У різних країнах світу граничні норми різні і залежать здебільшого від рівня розвитку промисловості [2]. В [3, 4] зазначено, що люди, які знаходяться тривалий час в зоні підвищеного ЕМП ПЧ з індукцією  $B > 0,2$  мкТл отримують додатковий тепловий вплив. Крім того, в залежності від частоти поля клітини людини перетворюються на провідники, що призводить до зміни структури крові; впливу на ендокринну систему та обміну речовин. Як наслідок у людини виникають нервові й серцево-судинні розлади, підвищується рівень стомлюваності, спостерігаються розлад сну, зміна кров'яного тиску, уповільнення пульсу, болю в ділянці серця, аритмії тощо.

Тому одним із пріоритетних напрямків розвитку виробництва з позиції охорони праці є використання екологічно «чистих» матеріалів та технологій. Так, сьогодні під час конструювання електричних машин (ЕМ) застосовують сучасні композитні матеріали, що дозволяють суттєво знизити рівень ЕМП ПЧ. Однак масштаби застосування такого ЕТО та значна вартість композитних матеріалів не дозволяють повністю оновити виробництво.

В системі охорони праці запропоновано ряд заходів спрямованих на зниження рівня електромагнітного випромінювання. Одними з найбільш розповсюджених та дієвих є віддаленість робочих зон від джерел ЕМП ПЧ та їх екранування [5]. Ефективність

останнього заходу залежить від багатьох факторів – конструкції та матеріалів, з яких виготовлено екран, місця розташування тощо.

**Мета роботи** – дослідження ефективності застосування екранування джерел ЕМП ПЧ для зниження їх негативного впливу на здоров'я людини.

### Результати досліджень

Одними із головних джерел ЕМП ПЧ є лінії електропередач, трансформатори, ЕМ тощо. Вплив їх ЕМП на здоров'я людини досить широко висвітлено в науковій літературі (табл. 1). Слід відмітити, що в більшості досліджень ЕМ як потужні джерела ЕМП ПЧ не розглядалися, так як згідно [19] їх відносять до першої категорії безпечного ЕТО, рівень ЕМП яких знаходиться в допустимих межах. При цьому ЕМ застосовуються у всіх галузях промисловості, на транспорті, у сільському господарстві та побуті [20]. Наразі ЕМ саме змінного струму займають до 80 % від загальної сукупності промислових електродвигунів, з них лівова частина – це асинхронні двигуни (АД).

Визначення рівнів ЕМП та зон його максимального поширення проводилися для АД середньої потужності у виробничих умовах.

На рис. 1 наведені експериментальні залежності зміни індукції магнітного поля (ІМП) від відстані до АД. З рисунку видно, що безпосередньо біля корпусу АД, в залежності від його потужності, рівень ІМП вимірюється сотнями мкТл. Однак зі збільшенням відстані до АД рівень ІМП знижується. Так, вже на відстані 0,2...0,4 м – рівень ІМП не перевищує 10 мкТл, а на відстані 2 м – ІМП не перевищує природного фону в  $B = 0,2$  мкТл. Аналогічні результати були отримані в роботах [19, 21, 22].

Вплив ЕМП ПЧ на здоров'я людини

Рівень ІМП В, мкТл	Наслідки для здоров'я	Країна / роки дослідження	Публікації	Примітки (розрахунковий СІ та фактичний ОР ризику)
>0,3 мкТл	Дитяча лейкемія	США, Європа / 1962–2010	[6]	СІ 1,06...1,61%; ОР 1,31%
>0,4 мкТл	Лейкемія, пухлини центральної нервової системи і злоякісної лімфоми у дітей до 15 років	Данія / 1968–2003	[7]	СІ 0,77...3,46%; ОР 1,63%;
>1 мкТл	Деменція, зниження моторики нейронів, розсіяний склероз, епілепсія, хвороба Паркінсона	Данія / 1982–2010	[8]	СІ 0,93...3,43%; ОР 1,78%
>1,4 мкТл	Зміни в ДНК, зміни в складі крові	Італія	[9]	Дослідження зміни крові у електроварювальників (робота в 4 зміни по 10 годин)
0,4 нТл... 5 мкТл	Рак молочної залози, легенів, товстої кишки, карциноми клітинної лінії	США	[10]	Зміна клітин та ризик ракових захворювань (опроміненні магнітним полем)
0,2...10 мкТл	Бічний аміотрофічний склероз	Нідерланди / 1986–2003	[11]	СІ 1,05...3,55%; ОР 1,93%
0,5...10 мкТл	Хвороба Альцгеймера, старече слабоумство	Швейцарія / 2000–2005	[12]	СІ 1,21...3,33%; ОР 2,0%;
0,25...0,7 мкТл	Порушення розвитку плоду у вагітних, ризик передчасних пологів	США	[13]	СІ 1,42...5,19%; ОР 2,72%;
>0,16 мкТл	Зниження активності та якості сперматозоїдів	Китай	[14]	
0,17...3 мкТл	Первинні ракові захворювання, вторинні види раку, а також ішемічні захворювання	Італія / 1954–2003	[15]	Дослідження захворювань населення, яке мешкає поблизу ліній електропередач
>28,3 мкТл	Порушення фази сну, скорочення активної фази сну, зміна серцевого ритму	США	[16]	
0,05...0,5 мкТл	Синдром електромагнітної гіперчутливості (симптоматика): неврологічні розлади, головний біль, швидка стомлюваність, втрата пам'яті, порушення сну і роботи серця, зниження імунологічної реактивності, схильність до алергічних захворювань	Швеція	[17], [18]	

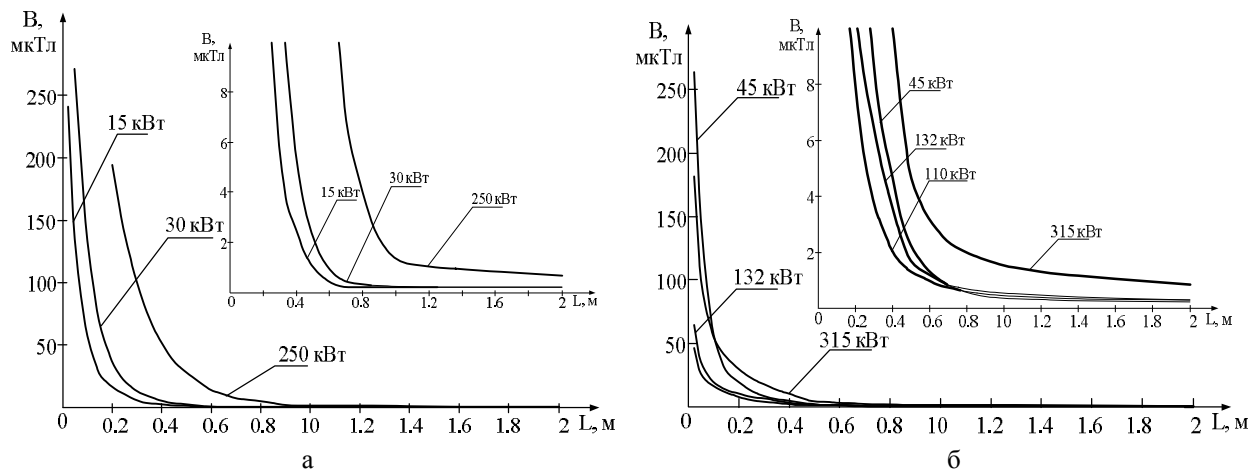


Рис. 1. Залежність зміни ІМП від відстані до АД з частотою напруги живлення: а) 50 Гц, б) 40 Гц

Аналізуючи отримані результати, можна відмітити, що на рівень ІМП має вплив потужність двигуна та частота напруги живлення. Безпечна відстань для працівників знаходиться в діапазоні від 0,7 м для АД потужністю 15 кВт та понад 2 м для двигунів потужністю 250 кВт і більше.

Таким чином, враховуючи рівні ІМП досліджуваних АД та дані табл. 1, можна стверджувати, що ЕМ являються також потужними джерелами ЕМП ПЧ, які потребують додаткових заходів та технічних засобів для нормалізації електромагнітної обстановки в робочій зоні виробничого приміщення.

Як вже було зазначено вище, крім віддалення ЕМ на безпечну відстань від робочої зони, що в реальних умовах виробництва здебільшого неможливо, дієвим засобом нормалізації електромагнітної обстановки є екранування розповсюдження ЕМП.

Найбільш поширеними у виробничих умовах екранами є суцільні захисні поверхні з феромагнітного матеріалу, зокрема, електротехнічної сталі. Однак згідно [23], довільне розташування такого екрану біля джерела низькочастотного ЕМП може не тільки знижувати напруженість магнітного поля, а й підвищувати її. Суцільний екран знижує рівні

ІМП з частотами до 50 Гц, але підвищує напруженість магнітного поля з частотами до 100 Гц. Крім того застосування таких екранів не завжди зручно через брак вільного місця біля ЕМ, необхідність контролю режимів її роботи тощо. Для ефективного екранування поширення ЕМП ПЧ необхідно врахувати як конструктивні та геометричні характеристики такого екрана, так і місце його встановлення.

З [24] відомо, що власне магнітне поле феромагнітного екрану, що перебуває у зовнішньому магнітному полі, обумовлене вихровими електричними струмами, які циркулюють у феромагнітному матеріалі. Тому для зменшення рівнів ІМП АД було використано магнітні екрани у вигляді сіток з різними розмірами вічок, що, по-перше, дозволяє мінімізувати вихрові струми у матеріалі екранів, а, по-друге, встановлювати такі екрани безпосередньо біля ЕМ і не створювати незручностей для обслуговуючого персоналу в процесі експлуатації.

Конструктивні характеристики досліджуваних екранів та їх коефіцієнти екранування  $K_E$  наведено в табл. 2. Коефіцієнт екранування  $K_E$  розрахований згідно формули вигляду

$$K_E = 20 \lg(B_0 / B_1), \quad (1)$$

де  $B_0$ ,  $B_1$  – значення ІМП без екрану та з екраном відповідно.

Під час експериментів екрани мали однаковий розмір 0,75x1 м і були встановлені на відстані 0,15 м від АД, а заміри значень ІМП здійснювалися в центрі кожного з екранів.

Залежність значень ІМП АД від типу екрану та режиму роботи наведено на рис. 2, де характеристики позначені відповідно: 1 – без екрану; 2 – з екраном із металевої ізолюваної сітки, 50 × 50 мм; 3 – з екраном із металевої ізолюваної сітки, 25 × 25 мм; 4 – з екраном із металевої неізолюваної заземленої сітки, 25 × 25 мм; 5 – з екраном із металевої неізолюваної заземленої сітки, 12,5 × 12,5 мм; 6 – з екраном із металевої неізолюваної заземленої сітки, 6 × 6 мм.

Таблиця 2

Коефіцієнт екранування різних типів екрану

Тип екрану, розмір вічка	$K_E$ для відповідного режиму роботи АД	
	неробочий хід	Під навантаженням
ізолювана металева сітка, 50x50 мм	5,582	5,249
ізолювана металева сітка, 25x25 мм	6,179	5,977
заземлена неізолювана металева сітка, 25x25 мм	6,533	5,319
заземлена неізолювана металева сітка, 12,5x12,5 мм	8,66	7,446
заземлена неізолювана металева сітка, 6x6 мм	8,836	7,662

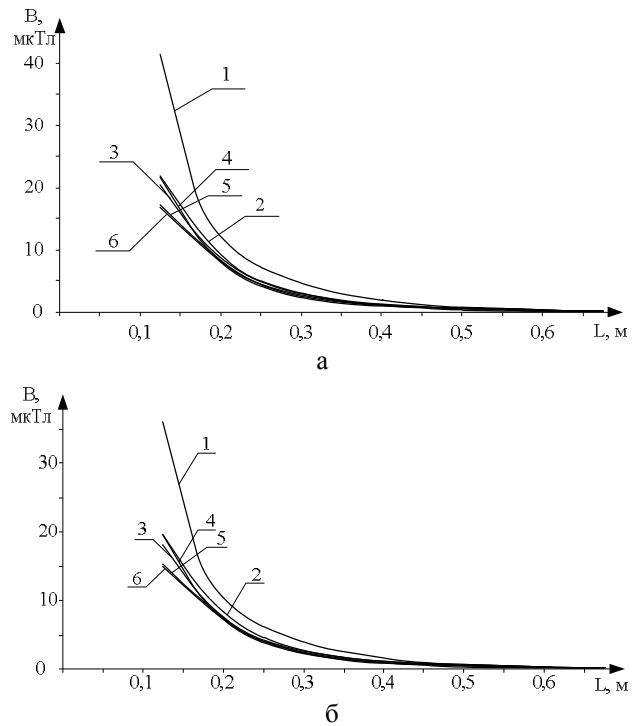


Рис. 2. Залежність зміни ІМП після встановлення екрану для режимів: а – неробочий хід, б – під навантаженням

Для аналізу отриманих результатів та з метою мінімізації досліджень в роботі була використана методика математичного планування експерименту за схемою ротатбельного центрального композиційного планування (РЦКП), в основі якої лежить регресійний аналіз, що включає метод найменших квадратів та статистичну обробку даних. Це дозволяє побудувати математичну модель з однаковою точністю, що передбачає значення відгуку в точках рівновіддалених від центру плану і з найбільшою точністю в точках, розташованих у його околиці. В якості критерію оптимізації прийнято величину ІМП. У результаті математична модель досліджуваного процесу описується поліномом вигляду:

$$y(x_1, \dots, x_k) = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i,j=1, i \neq j}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{i,j,u=1, i \neq j \neq u}^k b_{iju} x_i x_j x_u + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \dots, \quad (2)$$

де  $b_0$  – вільний член;  $b_i$  – лінійні ефекти;  $b_{ij}$  – ефекти парної взаємодії;  $b_{ii}$  – квадратичні ефекти;  $b_{iju}$  – ефекти потрійної взаємодії.

Пошук залежності між факторами проводився з використанням методів і процедур регресійного аналізу. Оскільки при проведенні експерименту в кожному конкретному досліді була можливість задавати будь-яке значення для факторів, тому їх можна віднести до групи контрольованих і керованих. Таким чином можна стверджувати, що величина  $B$  явля-

ється відгуком, тобто залежать від контрольованих керованих факторів при випадковій їх зміні.

Математична обробка отриманих даних дозволила встановити спільний вплив потужності АД (P), відстань до нього (L) і коефіцієнта екранування (K<sub>E</sub>) на величину ІМП (B). Для отримання поліноміальної моделі було застосовано трифакторне ротатбельне планування другого порядку. Функцією відгуку було обрано величину B ІМП. Фактори у кодованому і натуральному вигляді й інтервали їх варіювання зведено до табл. 3.

Таблиця 3

Рівні й інтервали варіацій факторів дослідження

Рівні варіювання факторів	Найменування фактора		
	Потужність двигуна	Відстань	Коефіцієнт екранування
	P, кВт	L, м	K <sub>E</sub>
Нижня «зіркова точка», x <sub>i</sub> = -1,68	1,3	0,15	5,00
Нижній рівень, x <sub>i</sub> = -1	7,12	0,24	5,61
Основний рівень, x <sub>i</sub> = 0	15,66	0,38	6,50
Верхній рівень, x <sub>i</sub> = +1	24,20	0,51	7,39
Верхня «зіркова точка» №, x <sub>i</sub> = +1,68	30,02	0,60	8,00
Інтервал варіювання	8,54	0,13	0,89

При проведенні факторного експерименту, згідно з вимогами ротатбельного планування, у матрицю включалися чотири змінні на двох рівнях (вісім точок), шість «зіркових точок» з координатами ±1,68179; 0; 0 й одна точка в центрі експерименту (табл. 4). У матриці планування основний рівень позначений як «0», нижній рівень – знаком «-1», верхній рівень – знаком «+1».

Таблиця 4

Матриця планування експерименту

№ п/п	P	L	K <sub>E</sub>	P, кВт	L, м	K <sub>E</sub> , Дб	B, мкГл
1	0	0	0	15,66	0,38	6,5	0,37
2	0	-1,68	0	15,66	0,15	6,5	7,94
3	+1	+1	-1	24,20	0,51	5,61	0,96
4	-1	+1	-1	7,12	0,51	5,61	0,16
5	+1	-1	-1	24,20	0,24	5,61	9,22
6	0	0	-1,68	15,66	0,38	5,00	6,63
7	-1	-1	+1	7,12	0,24	7,39	0,51
8	-1,68	0	0	1,30	0,38	6,50	1,84
9	0	+1,68	0	15,66	0,60	6,50	0,2
10	0	0	+1,68	15,66	0,38	8,00	1,15
11	-1	+1	+1	7,12	0,51	7,39	0,15
12	-1	-1	-1	7,12	0,24	5,61	6,08
13	0	0	0	15,66	0,38	6,50	1,37
14	+1	+1	+1	24,20	0,51	7,39	1,78
15	+1	-1	+1	24,20	0,24	7,39	2,43
16	+1,68	0	0	30,00	0,38	6,50	4,29

Загальна кількість дослідів склала:

$$N = 2^k + 2k + k_0 = 16, \quad (3)$$

де k = 3 – кількість факторів; 2<sup>k</sup> = 8 – повний факторний експеримент (ядро плану), представлений у рядках 1–8 матриці планування; 2k = 6 – «зіркові точки», представлені в рядках 9–14 матриці планування (величина «зіркового плеча» α = 1,68); k<sub>0</sub> = 2 – досліди в центрі плану, представлені в рядках 15 і 16 матриці планування.

Математична обробка результатів експерименту проводилася з використанням персонального комп'ютера з відповідним програмним забезпеченням, що дозволило автоматизувати процедури розрахунку коефіцієнтів рівнянь регресії; величин усіх вихідних параметрів рівнянь регресії при заданих значеннях факторів; значень факторів, при яких забезпечуються максимальні значення полінома апроксимації в області варіювання факторів; оцінки значущості коефіцієнтів рівнянь регресії за критерієм Ст'юдента; перевірки адекватності отриманої моделі за критерієм Фішера (F); побудови поверхонь відгуку при попарній зміні двох факторів і фіксуванні інших на заданому рівні.

У результаті математичної обробки результатів експерименту отримали рівняння регресії вигляду

$$B = 99,61 + 0,16P - 141,451L - 20,3K_E + 0,007P^2 - 0,395PL - 0,023PK_E + 48,789L^2 + 14,79LK_E + 1,036K_E^2. \quad (4)$$

При перевірці на адекватність в отриману математичну модель послідовно включали незначущі, але близькі до межі значущості, коефіцієнти рівняння регресії з максимальною абсолютною величиною. Зазначені коефіцієнти залишали в рівнянні, якщо розрахункове значення критерію Фішера зменшувалося, в іншому випадку такі коефіцієнти виключали з рівняння.

Адекватність рівняння перевіряли шляхом розрахунку і порівняння дисперсій. Встановлено, що адекватність отриманої моделі за критерієм Фішера при 95% рівні значимості склала F = 1,84 і не перевищує табличного значення F<sub>0,95</sub> = 3,6. Перевірка статичної значущості факторів проводилася за допомогою стандартизованої карти Парето (рис. 3).

Отримана математична модель є адекватною. Коефіцієнти, що стоять перед факторами, говорять про значимість вхідних параметрів та вплив їх на досліджувані величини, а також їх парну взаємодію факторів на вихідну величину. Коефіцієнт детермінації для B становить R<sup>2</sup> = 0,959.

Аналіз отриманого рівняння вигляду (4) з урахуванням карти Парето (рис. 3) дозволило кількісно оцінити вплив варіювання кожного з досліджуваних факторів на величину ІМП.

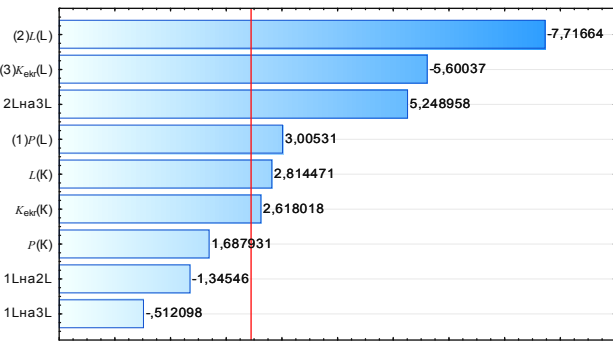


Рис. 3. Карта Парето регресійної моделі

Перетин стандартизованих ефектів вертикальною лінією, яка представляє собою 95%-ву довірчу ймовірність, означає, що вплив факторів на функцію відгуку статично значимо. Вплив факторів за ступе-

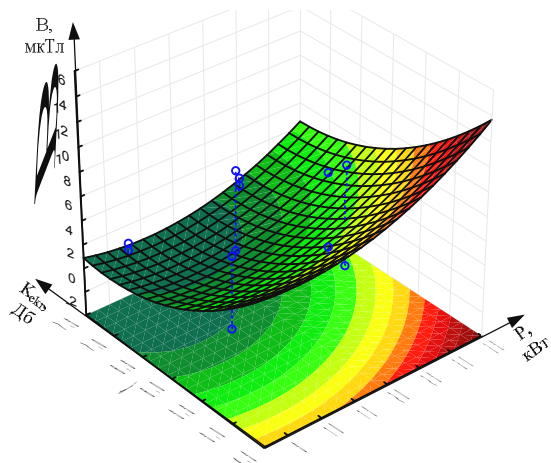


Рис. 4. Залежність величини ІМП від коефіцієнта екранування і потужності АД

З рис. 4 і 5 видно, що зменшення ІМП досягається при збільшенні коефіцієнта екранування  $K_E$  та відстані  $L$  до АД. При цьому чим менша потужність двигуна, тим менші рівні ІМП для аналогічних видів екранів та відстані до АД.

## Висновки

Проведені експериментальні дослідження розповсюдження електромагнітного поля навколо асинхронних двигунів. Отримана математична залежність значень індукції магнітного поля від потужності, відстані до двигунів і коефіцієнта екранування. Сформульовані рекомендації щодо застосування захисних екранів у вигляді металевої сітки для зменшення рівня електромагнітного поля у робочій зоні виробничого приміщення. Встановлення захисних екранів дозволяє не тільки зменшити на 40 % рівень індукції магнітного поля у робочій зоні, а й унеможливило доторкання працівників до рухомих і струмопровідних частин двигунів.

Отримана математична модель дозволяє на етапі проектування технічних засобів захисту провести аналітичну оцінку їх ефективності щодо забезпечення

незначущості розподілилося в наступному порядку: найбільший ефект на рівень магнітної індукції має відстань  $L$ , причому знак «мінус» на карті Парето вказує на зниження магнітної індукції при збільшенні фактору. Також істотно впливає квадратичне значення  $L^2$ , коефіцієнт екранування  $K_E$  і потужність  $P$ , які подолали граничний (95%) рівень значущості.

Наглядне представлення про вплив вхідних факторів на вихідну величину і їх взаємодію на функцію відгуку дають графічні залежності, побудовані за отриманою математичною моделлю вигляду (4).

Поверхні відгуку, що відображають вплив найбільш значимих факторів та дозволяють оцінити не тільки вплив окремого фактору на вихідну величину, а й їх парну взаємодію, згідно отриманої моделі вигляду (4), представлено на рис. 4 і 5.

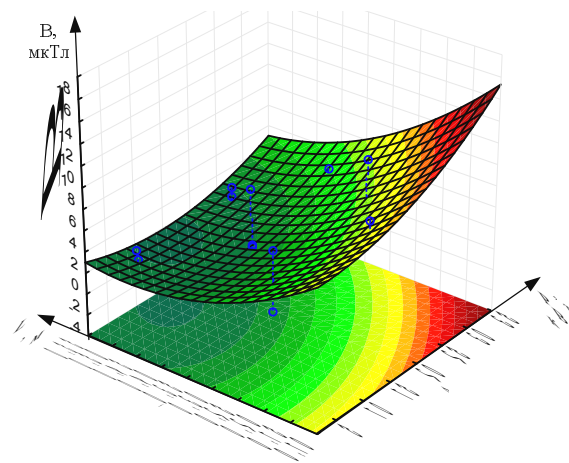


Рис. 5. Визначення допустимого рівня ІМП

допустимої електромагнітної обстановки на робочому місці з урахуванням характеристик встановленого електротехнічного обладнання та технологічно можливих у виробничих умовах місць встановлення захисних конструкцій.

## Список літератури

1. Халмурадов Б.Д. Проблеми узгодженості нормативної бази з електромагнітної сумісності та електромагнітної безпеки / Б.Д. Халмурадов, Л.О. Левченко, В.А. Глива, Т.М. Перельот // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України – 2015 - № 4 – С. 103 – 106.
2. Перельот Т.М. Моніторинг та нормалізація рівнів низькочастотних електромагнітних полів у виробничих умовах: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01/ Перельот Тетяна Миколаївна. – К., 2017 – 145 с.
3. Березуцький В.В. Основи охорони праці / В.В. Березуцький, Т.С. Бондаренко, Г.Г. Валенко; Х.: Факт, 2007. – 480 с.
4. Карнаух Н.Н. Охрана труда / Н.Н. Карнаух; М.: Издательство Юрайт, 2014. – 380 с.
5. Резинкина М.М. Использование численных расчётов для выбора средств экранирования от действия магнитных полей / М.М. Резинкина // Журнал технической физики – 2007 – Т.77 – № 11. – С. 17 – 24.
6. Zhao L. Magnetic fields exposure and childhood leukemia risk: a meta-analysis based on 11,699 cases and

13,194 controls. *epidem. / L. Zhao, X. Liu, C. Wang, et al.; Leuk Res – 2014 – № 38 (3) – Pp. 269-274.*

7. Pedersen C. Residential exposure to extremely low-frequency magnetic fields and risk of childhood leukaemia, CNS tumour and lymphoma in Denmark. / C. Pedersen, C. Johansen, J. Schüz, et al.; *Br J Cancer – 2015 – № 113 (9) – Pp. 1370-1374.*

8. Pedersen C. Occupational exposure to extremely low-frequency magnetic fields and risk for central nervous system disease: an update of a Danish cohort study among utility workers. / C. Pedersen, A.H. Poulsen, N.H. Rod N.H, et al.; *Int Arch Occup Environ Health – 2017.*

9. Villarini M. Primary DNA damage in welders occupationally exposed to extremely-low-frequency magnetic fields (ELF-MF) / M. Villarini, L. Dominici, C. Fatigoni, et al.; *Ann Ig – 2015 – № 27 (3) – Pp. 511-519.*

10. Li Y. Extra-low-frequency magnetic fields alter cancer cells through metabolic restriction / Y. Li, P. Heroux; *Electromagn Biol Med – 2014 – № 33 (4) – Pp. 264-275.*

11. Koeman T. Occupational exposure and amyotrophic lateral sclerosis in a prospective cohort / T. Koeman, P. Slotte, L.J. Schouten, et al.; *Occup Environ Med – 2017 – № 74 (8) – Pp. 578-585.*

12. Huss A. Residence near power lines and mortality from neurodegenerative diseases: longitudinal study of the Swiss population / A. Huss, A. Spoerri, M. Egger, et al.; *Am J Epidemiol – 2009 – № 169 (2) – Pp. 167-175.*

13. Li D.K. Exposure to Magnetic Field Non-Ionizing Radiation and the Risk of Miscarriage / D.K. Li, H. Chen, J.R. Ferber, et al.; *Sci Rep – 2017 – № 7 (1) – Pp. 75-84.*

14. Li D.K. Exposure to magnetic fields and the risk of poor sperm quality / D.K. Li, B. Yan, Z. Li, et al.; *Reprod Toxicol – 2010 – 29 (1) – Pp. 86-92.*

15. Fazzo L. Morbidity experience in populations residentially exposed to 50 Hz magnetic fields: methodology and preliminary findings of a cohort study / L. Fazzo, V. Tancioni, A. Polichetti, et al.; *Int J Occup Environ Health – 2009 – № 15 (2) – Pp. 133-142.*

16. Graham C. Nocturnal magnetic field exposure: gender-specific effects on heart rate variability and sleep / C. Graham, A. Sastre, M.R. Cook M. R, et al.; *Clin Neurophysiol – 2000 – № 111 (11) – Pp. 1936-1941.*

17. Carlsson F. Prevalence of annoyance attributed to electrical equipment and smells in a Swedish population, and relationship with subjective health and daily functioning / F. Carlsson, B.P. Karlsson, K. Orbaek, et al.; *Health – 2015 – № 119 (7) – Pp. 568-77.*

18. Electromagnetic fields and public health: Electromagnetic Hypersensitivity, World Health Organisation (WHO) – 2005 – 296 p.

19. Bolte J.F.B. Electromagnetic fields in the working environment / J.F.B. Bolte, M.J.M. Pruppers; Ministry of Social Affairs and Employment (SZW) report. – 2006. – 175 p.

20. Епифанов А.П. Основы электропривода / А.П. Епифанов; М.: Лань, 2009. – 192 с. – ISBN 978-5-8114-0770-5.

21. Allen S. G. Review of Occupational Exposure to Optical Radiation and Electric and Magnetic Fields with Regard to the Proposed CEC Physical Agents Directive / S.G. Allen, R.P. Blackwell, P.J. Chadwick; National Radiological Protection Board – 1994 – 68 p.

22. Зачепа Н.В. Дослідження поширення магнітного поля асинхронної машини в умовах навчально-виробничих лабораторій / Н.В. Зачепа, О.А. Чорна, Д.В. Резнік, інш.; Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал Кременчук: КрНУ – 2017. – 3 (39). – С. 45 – 52.

23. Глива В.А. Просторові критерії екранування низькочастотних магнітних полів / В.А. Глива, Л.О. Левченко, Т.М. Перельот; Управління розвитком складних систем – 2015. – Вип. 22. – С. 158-164.

Надійшла до редколегії 16.01.2018

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.А. Глива, Національний авіаційний університет, Київ.

### ЭКРАНИРОВАНИЕ КАК СРЕДСТВО НОРМАЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ

Д.В. Резник, А.П. Черный, Ю.В. Зачепа, В.В. Ченчевой, А.А. Богодист, А.О. Вовк

Выполнен анализ влияния электромагнитных полей промышленной частоты на здоровье человека. Экспериментально установлены фактические уровни электромагнитных полей асинхронных двигателей в производственных условиях. Рассмотрены организационные мероприятия и технические средства в виде защитных экранов по нормализации электромагнитной обстановки в рабочей зоне производственных помещений. Установлено, что применение защитных экранов позволяет уменьшить более чем на 40% уровень индукции магнитного поля в рабочей зоне. На основе регрессионного анализа получена математическая модель зависимости индукции магнитного поля асинхронного двигателя, применение которой на этапе проектирования технических средств защиты позволяет оценить их эффективность по обеспечению допустимой электромагнитной обстановки на рабочем месте с учетом характеристик установленного электротехнического оборудования и технологически возможных в производственных условиях мест установки ограждающих конструкций.

**Ключевые слова:** индукция электромагнитного поля, асинхронный двигатель, экранирование.

### SHIELDING AS METHOD OF NORMALIZATION OF ELECTROMAGNETIC SETTINGS WORKING ENVIRONMENT

D.V. Reznik, O.P. Chornyi, Yu.V. Zachepa, V.V. Chechevoy, A.O. Bogodyst, O.O. Vovk

An analysis of the influence of electromagnetic fields of industrial frequency on human health is performed. The actual levels of electromagnetic fields of asynchronous motors are experimentally established in production conditions. Organizational measures and technical means in the form of protective screens for normalizing the electromagnetic environment in the working area of industrial premises are considered. It has been established that the use of protective screens can reduce the level of magnetic field induction in the working area by more than 40%. On the basis of regression analysis a mathematical model of the induction of the magnetic field of an asynchronous motor, the application of which at the design stage of technical means of protection, allows us to assess their effectiveness in terms of ensuring an acceptable electromagnetic environment at the workplace, taking into account the characteristics of the installed electrical equipment and technologically feasible places for the installation of protective structures in production conditions.

**Keywords:** induction of electromagnetic field, asynchronous motor, shielding.