

УДК 538.61.331.45

doi: <https://doi.org/10.31474/1999-981x-2020-1-181-188>

Н.В. Касаткіна  
Л.О. Левченко  
О.В. Панова  
О.М. Тихенко  
В.В. Ченчевой

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ЕКРАНУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ РІЗНОРІДНИХ ДЖЕРЕЛ У ВИРОБНИЧИХ БУДІВЛЯХ

*Мета роботи* – розроблення методологічних засад оптимізації параметрів екранування електромагнітних полів різного походження у будівлях та спорудах.

*Методика.* Для аналізу даних експериментальних досліджень була використана методика математичного планування експерименту за схемою ротатбельного центрального композиційного планування, 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.

*Результати.* Математична обробка отриманих даних дозволила встановити спільний вплив відсотку екрануючої субстанції та товщини екрана на величину індукції геомагнітного поля, індукції магнітного поля промислової частоти та рівень електромагнітного випромінювання. Кількісно оцінено вплив варіювання кожного з досліджуваних факторів на величину індукції геомагнітного поля, індукції магнітного поля промислової частоти та рівня електромагнітного випромінювання.

*Наукова новизна.* Оптимізація коефіцієнтів екранування магнітних та електромагнітних полів можлива із застосуванням методики математичного планування експерименту за схемою ротатбельного центрального композиційного планування. Вихідними даними для цього є результати експериментальних досліджень залежності ефективності екранування у залежності від геометричних та якісних характеристик захисного матеріалу.

*Практична значимість.* Отриманий результат може бути застосований при проектуванні захисних матеріалів. Відомості про необхідні ступені екранування магнітних та електромагнітних полів різного походження враховуються у проектних рішеннях щодо товщини, якісного та кількісного складу металевої та металовмісної компоненти у полімерній матриці композиційного матеріалу.

*Ключові слова:* електромагнітна обстановка, екранування електромагнітних полів, геомагнітне поле, магнітне поле промислової частоти, електромагнітне випромінювання, планування експерименту.

### Вступ.

Формування електромагнітної обстановки у будівлях, спорудах та довкіллі в цілому обумовлюється одночасним впливом електромагнітних полів та випромінювань різних частот та амплітуд – ліній електропередачі, силових внутрішніх джерел, потужного електротехнічного обладнання, базових станцій мобільного зв'язку, безпроводних комп'ютерних мереж тощо.

Поля різних частот мають різні гранично допустимі рівні, тому зниження їх амплітуд забезпечується різними ступенями екранування. На сьогоднішній день добре розроблено засоби екранування (металеві, композиційні) електромагнітних полів окремих частот або частотних смуг. За умови одночасного впливу кількох різномірних за генерованими частотами та амплітудами полів, використання окремих

екрануючих конструкцій складне та економічно недоцільне. Тому доцільне застосування єдиного екрануючого матеріалу, прийнятного для екранування електромагнітних полів різних частот з керованими захисними властивостями. Такими є композиційні металополімерні матеріали. Але потребує дослідження співвідношення коефіцієнтів екранування цих матеріалів для полів різних частот. Це дозволить певним чином оптимізувати електрофізичні та геометричні параметри матеріалів з точки зору електромагнітної безпеки працюючих та населення.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Моніторинг електромагнітної обстановки та аналіз випромінювальних спроможностей найбільш поширених джерел електромагнітних полів та

випромінювань дозволяє дійти висновку, що найбільш критичними є магнітні поля наднизької частоти (промислової, її гармонік та інтергармонік), а також електромагнітні випромінювання ультрависоких частот, що притаманні засобам бездротового зв'язку та радіотехнічним об'єктам різного призначення. Значна кількість досліджень присвячена екрануванню магнітного поля промислової частоти (електричне поле легко екранується будь-яким металевим і металовмісним матеріалом). У роботі [1] наведено ефективність екранування магнітного поля промислової частоти сітчастою металевою конструкцією. Дослідження [2] також стосується зниження рівнів електромагнітних полів промислової частоти та її гармонік. Результати наведені у роботах [3, 4] надають ефективність екранування електромагнітних полів ультрависоких частот. В останні роки виконано низку досліджень щодо обґрунтування і розроблення матеріалів для одночасного екранування низькочастотних та високочастотних електромагнітних полів [5, 6]. Але [5] пропонує у якості екрануючої субстанції наночастинки магнітної рідини, що робить матеріал дуже дорогим. Перевагою [6] є додатковий захист від шуму, але коефіцієнти екранування магнітного поля промислової частоти недостатні, принаймні порівняно з ультрависокими частотами. У роботі [7] замість залізородного пилу запропоновано застосовувати залізородний концентрат, що підвищує коефіцієнти екранування. При цьому розглядається можливість узгодження коефіцієнтів екранування полів різних частот. Але висновки зроблені на основі табличних даних, що не завжди дозволяє отримати оптимальне рішення. Тому доцільним є повним чином оптимізувати процес автоматизації. Такий підхід запропоновано у роботі [8], де оптимізація показників середовища здійснювалася на основі аналізу експериментальних даних за методикою математичного планування експерименту. Це надасть змогу обрати параметри захисного матеріалу з максимальними можливостями або компромісними коефіцієнтами екранування для найбільш критичних частот.

**Мета роботи** – розроблення методологічних засад оптимізації параметрів

екранування електромагнітних полів різного походження у будівлях та спорудах.

#### **Методи дослідження.**

Для аналізу даних експериментальних досліджень 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.

#### **Виклад основного матеріалу.**

Головною проблемою при впровадженні екранування окремого приміщення або будівлі в цілому є те, що разом з електромагнітним полем, яке потребує екранування частково або повністю екрануються поля інших джерел. Наприклад, екрануючи магнітне поле промислової частоти, ми обов'язково знижуємо рівень геомагнітного поля. Особливо це критично при облицюванні вертикальних поверхонь великих площ. В той же час існує міжнародний норматив [9], який забороняє знижувати у виробничих умовах природне геомагнітне поле більш ніж вдвічі (менше 25 мкТл). Для електромагнітного випромінювання мобільного зв'язку (ультрависокі частоти) існує гранично допустимий рівень ( $10 \text{ мкВт/см}^2$ ), але за зниження сигналу нижче за  $0,15 \text{ мкВт/см}^2$  відбувається різке підвищення рівня випромінювання самого мобільного телефону та переривання зв'язку, необхідного для виконання службових обов'язків.

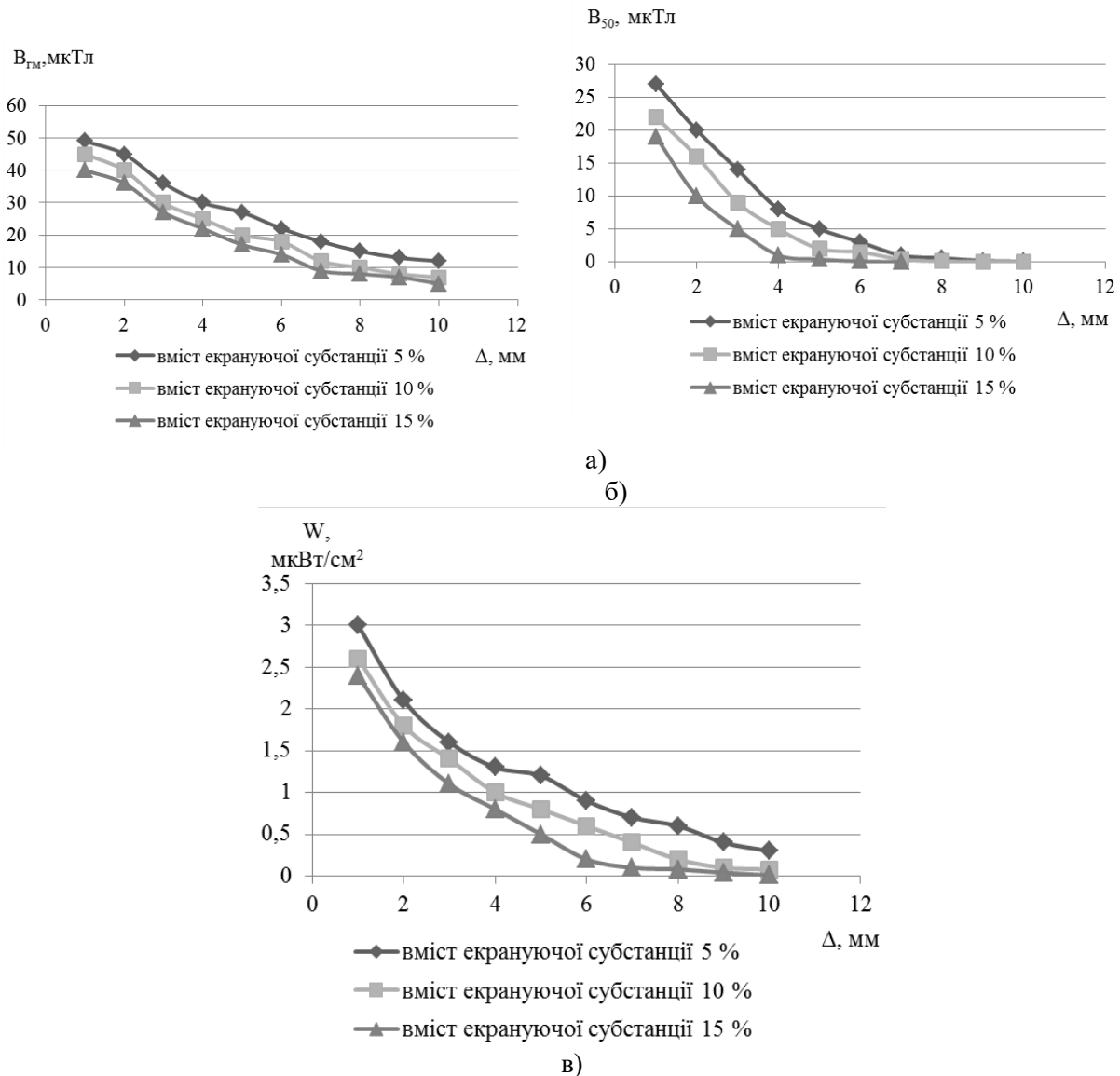
Таким чином, при застосуванні екранування електромагнітного поля будь-якого походження слід враховувати, що усі техногенні поля мають максимально допустимий рівень (а на частотах мобільного зв'язку є й нижня межа його безперебійного функціонування). Це ж стосується й випромінювань бездротових комп'ютерних мереж.

Для природного геомагнітного поля існує мінімально допустимий рівень. Для узгодження екранування цих трьох полів було експериментально визначено коефіцієнти екранування кожного з них металополімерними композиційними матеріалами на основі латексу з різним вмістом залізородного концентрату (рис. 1).

Для аналізу даних цих експериментальних досліджень була використана методика математичного планування експерименту.

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.



**Рис. 1.** Залежності екрануючих властивостей металополімерних матеріалів від товщини та вмісту екрануючої субстанції: вміст залізородного концентрату – 5, 10, 15 % (за вагою);  $\Delta$  - товщина екрана,  $B_{tm}$  – геомагнітне поле (ГДР<sub>min</sub> – 25 мкТл),  $B_{50}$  – магнітне поле промислової частоти (ГДР – 0,5 мкТл),  $W$  – електромагнітне поле ультрависокої частоти 1,8 ГГц (ГДР<sub>max</sub> – 10 мкВт/см<sup>2</sup>, ГДР<sub>min</sub> – 15 мкВт/см<sup>2</sup>).

У результаті математична модель досліджуваного процесу описується поліномом вигляду:

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

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 індукції геомагнітного поля, індукції магнітного поля промислової частоти та рівня електромагнітного випромінювання є відгуком, тобто залежать від контрольованих керованих факторів при випадковій їх зміні.

Математична обробка отриманих даних дозволила встановити спільний вплив відсотку екрануючої субстанції (%) та товщини екрана ( $\Delta$ ) на величину індукції геомагнітного поля ( $B_{ГМ}$ ), індукції магнітного поля промислової частоти ( $B_{50}$ ) та рівень електромагнітного випромінювання ( $W$ ). Для отримання поліноміальної моделі було застосовано двухфакторне ротатбельне планування другого порядку. Фактори у кодованому і натуральному вигляді й інтервали їх варіювання наведено в табл. 1.

При проведенні факторного експерименту, згідно з вимогами ротатбельного планування, у матрицю включалися дві змінні на двох рівнях (чотири точки), чотири «зіркові точки» з координатами  $\pm 1,41421$ ; 0 й дві точки в центрі експерименту (табл. 2). У матриці планування основний рівень позначений як «0», нижній рівень – знаком «-1», верхній рівень – знаком «+1».

**Таблиця 1** – Рівні й інтервали варіацій факторів дослідження

Рівні варіювання факторів	Найменування фактора	
	Відсоток екрануючої субстанції	Товщина екрана
	%	$\Delta$ , мм
Нижня «зіркова точка», $x_i = -1,41421$	3	1,0
Нижній рівень, $x_i = -1$	5	2
Основний рівень, $x_i = 0$	10	5
Верхній рівень, $x_i = +1$	15	8
Верхня «зіркова точка», $x_i = +1,41421$	17	9
Інтервал варіювання	5	3

**Таблиця 2** – Матриця планування експерименту

	$\Delta$	%	$B_{ГМ}$	$B_{50}$	$W$
1	5	10	20	2	0,8
2	8	5	15	0,6	0,6
3	5	10	20	2	0,8
4	1	10	45	22	2,6
5	5	3	35	7	1,5
6	2	5	45	20	2,1
7	2	15	36	10	1,6
8	9	10	8	0,08	0,1
9	8	15	8	0,001	0,08
10	5	17	16	0,35	0,45

Загальна кількість дослідів складала:

$$N = 2^k + 2k + k_0 = 10, \quad (2)$$

де  $k = 2$  – кількість факторів;  
 $2^k = 4$  – повний факторний експеримент (ядро плану);  
 $2k = 4$  – «зіркові точки» (величина «зіркового плеча»  $\alpha = 1,41421$ );  
 $k_0 = 2$  – дослід в центрі плану.

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 Стюдента; перевірки адекватності отриманої моделі за критерієм Фішера (F); побудови поверхонь відгуку при попарній зміні одного фактора і фіксуванні іншого на заданому рівні.

В результаті статистичної обробки експериментальних даних отримано наступні рівняння регресії:

– геомагнітне поле

$$B_{ГМ} = 75,3965 - 8,54135\Delta - 3,43841\% + 0,361111\Delta^2 + 0,0333333\Delta\% + 0,11\%^2 \quad (3)$$

– магнітне поле промислової частоти

$$B_{50} = 43,8197 - 9,18698\Delta - 2,01205\% + 0,510354\Delta^2 + 0,156683\Delta\% + 0,0364275\%^2 \quad (4)$$

– електромагнітне поле мобільного зв'язку 1,8 ГГц

$$W = 3,77481 - 0,556619\Delta - 0,117456\% + 0,0286805\Delta^2 - 0,000333333\Delta\% + 0,002825\%^2 \quad (5)$$

Коефіцієнтом детермінації  $R^2$ , рівним 97,6887 % для  $B_{ГМ}$ , 99,7613% –  $B_{50}$ , 97,6137 % –  $W$ .

Перевірка статичної значущості факторів проводилася за допомогою стандартизованих карт Парето (рис. 2). 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.

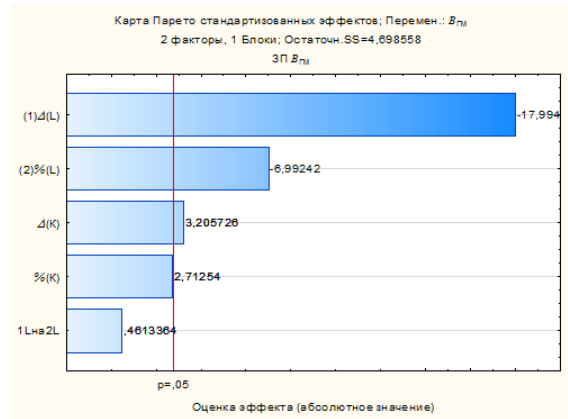
Аналіз отриманих рівнянь виду (3–5) з урахуванням карт Парето (рис. 2) дозволив кількісно оцінити вплив варіювання кожного з досліджуваних факторів на величину індукції геомагнітного поля, індукції магнітного поля промислової частоти та рівня електромагнітного випромінювання. Перетин стандартизованих ефектів вертикальною лінією, яка представляє собою 95 % довірчу ймовірність, означає, що вплив факторів на функцію відгуку статично значимо.

Вплив факторів за ступенем значущості розподілився в наступному порядку: найбільший ефект на величину індукції геомагнітного поля та рівня електромагнітного випромінювання має вплив лінійної залежності відсотку екрануючої субстанції (%) та товщини екрана ( $\Delta$ ), причому знак «плюс» на карті Парето вказує на збільшення відгуку при збільшенні фактора, а знак «мінус» на зменшення відгуку при збільшенні фактора. На величину індукції магнітного поля промислової частоти має вплив лінійна та квадратична залежності товщини екрана.

Поверхні відгуку, що відображають вплив найбільш значимих факторів та дозволяють оцінити не тільки вплив окремого фактора на вихідну величину, а й їх парну взаємодію, згідно отриманих моделей (3–5), представлено на рис. 3

Як видно з отриманих даних такий підхід, за певних параметрів захисного матеріалу може надати можливість досягти або оптимізувати співвідношення коефіцієнтів екранування, або мінімізувати компроміс між бажаними та досяжними ефективностями екранування.

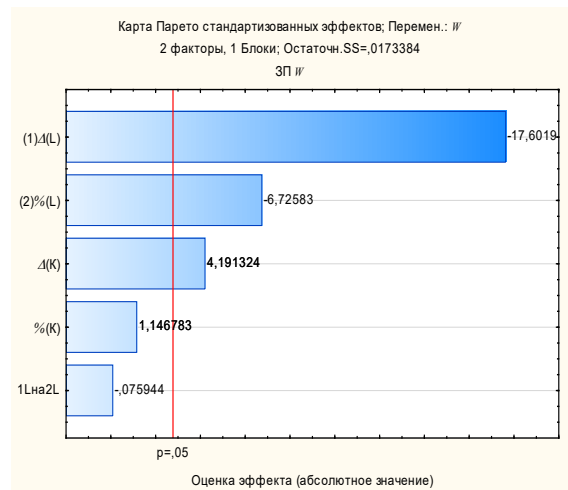
Отриманий результат може бути



а)



б)



в)

**Рис. 2.** Карта Парето регресійної моделі: а) – індукція геомагнітного поля; б) – індукція магнітного поля промислової частоти; в) – рівень електромагнітного випромінювання.

застосований при проектуванні захисних матеріалів. Відомості про необхідні ступені екранування магнітних та електромагнітних полів різного походження враховуються у проектних рішеннях щодо товщини,

якісного та кількісного складу металевої та металовмісної компоненти у полімерній

матриці композиційного матеріалу.

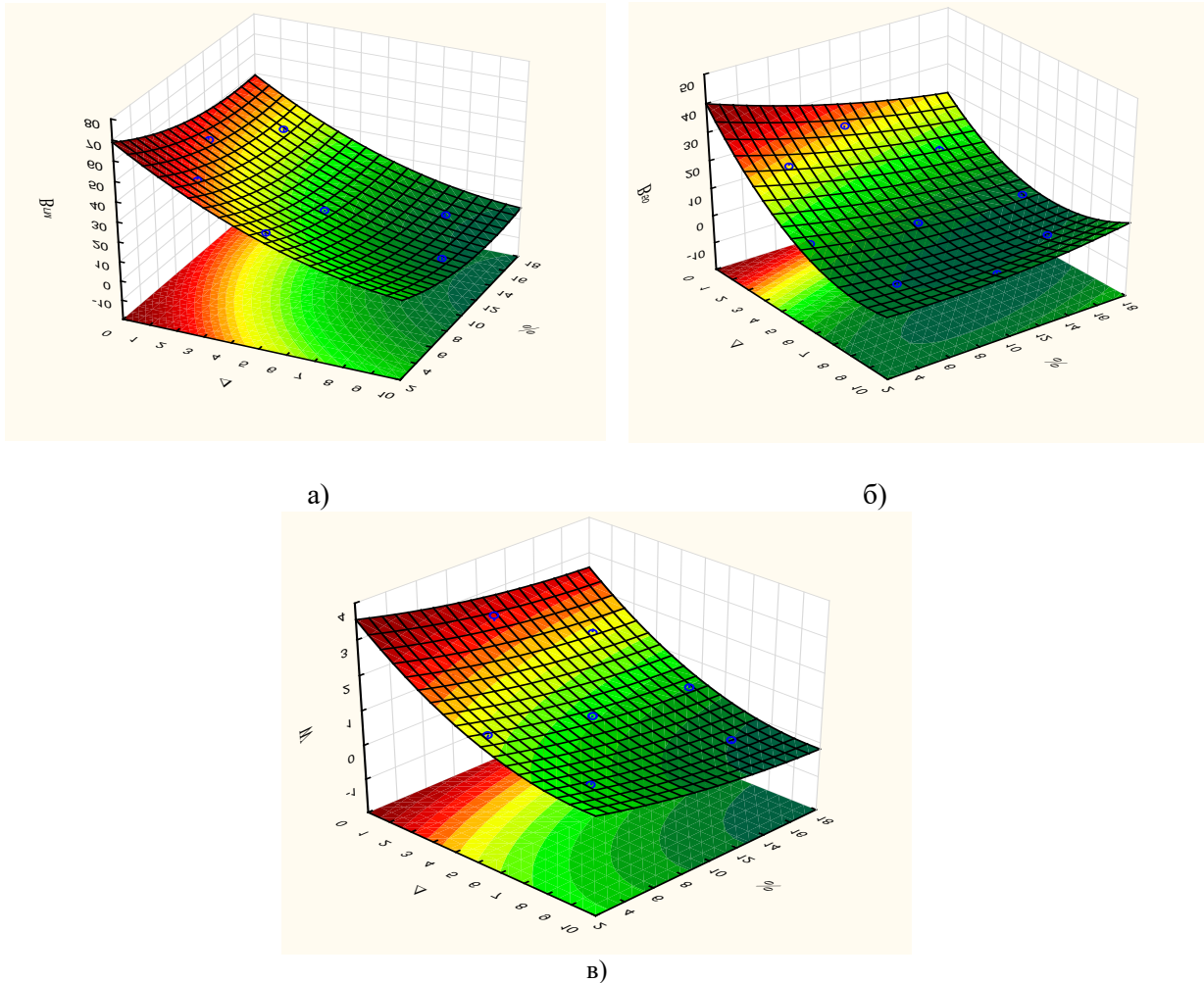


Рис. 3. Залежність індукції геомагнітного поля (а), індукції магнітного поля промислової частоти (б) та рівня електромагнітного випромінювання (в) від відсотку екрануючої субстанції та товщини екрана

### Висновки.

1. Оптимізація коефіцієнтів екранування магнітних та електромагнітних полів можлива із застосуванням методик математичного планування експерименту за схемою ротатбельного центрального композиційного планування. Вихідними даними для цього є результати експериментальних досліджень залежності ефективності екранування від геометричних та якісних характеристик захисного матеріалу.

2. При виконанні робіт з оптимізації захисних властивостей екрануючих матеріалів слід враховувати, що крім гранично допустимих рівнів техногенних

полів існує нижня межа інтенсивності сигналу мобільного зв'язку, яка його забезпечує, а також мінімально допустимий рівень природного геомагнітного поля.

3. Розглянутий варіант параметрів композиційного металополімерного матеріалу свідчить, що повна оптимізація ступенів захисту неможлива. Тому для впровадження екранування необхідне інструментальне обстеження електромагнітної обстановки. Це дозволяє визначити пріоритетний фактор впливу (джерело поля, його частотно-амплітудні характеристики), який потребує нормалізації у першу чергу, тобто вищих коефіцієнтів екранування.

## Список літератури

1. Grinchenko V. S. Mitigation of three-phase power line magnetic field by grid electromagnetic shield. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2018. № 4. С. 29–32.
2. Панова О. В. Екранування електромагнітних полів та забезпечення електромагнітної сумісності електронного обладнання. *Управління розвитком складних систем*. 2015. Вип. 22. С. 207–213.
3. Mondal S., Ganguly S., Das P., Khastgir D., Das N.C. Low percolation threshold and electromagnetic shielding effectiveness of nano-structured carbon based ethylene methyl acrylate nanocomposites. *Composites Part B: Engineering*. 2017. Vol. 119. P. 41–56.
4. Yadav R. S., Kuritka I., Vilcakova J., Machovsky M., Skoda D., Urbanek P., Masar G., Kalina L., Havlica J. Polypropylene nanocomposite filled with spinel ferrite  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  nanoparticles and in-situ thermally-reduced graphene oxide for electromagnetic interference shielding application. *Nanomaterials*. 2019. Vol. 9. P. 621.
5. Glyva V.A., Podoltsev A.D., Bolibrukh B.V., Radionov A.V. A thin electromagnetic shield of a composite structure made on the basis of a magnetic fluid. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2018. № 4. P.14–18. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2018.04.014>.
6. Glyva V., Lyashok J., Matvieieva I., Frolov V., Levchenko L., Tykhenko O., Panova O., Khodakovskyy O., Khalmuradov B., Nikolaiev K. Development and investigation of protective properties of the electromagnetic and soundproofing screen. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Iss. 6/5 (96). P. 54–61.
7. Тихенко О. М. Загальні засади проектування електромагнітних екранів та екрануючих конструкцій. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2020. Вип. 1(59). С. 116–119.
8. Запорожець О. І., Сукач С. В., Галаган О. Г., Козловська Т. Ф. Визначення параметрів оптимальної комфортності у робочій зоні приміщення за показниками повітряного середовища. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2017. Вип. 1/2017 (102). С. 17–21.
9. Jianjun Li, Liang Li, Min Wan, Haiping Yu, Lin Liu. Innovation applications of electromagnetic forming and its fundamental problems. *Procedia Manufacturing*. 2018. Vol. 15. PP. 14–30.

## References

1. Grinchenko, V. S. (2018). Mitigation of three-phase power line magnetic field by grid electromagnetic shield. *Technical electrodynamics*, 4, 29-32.
2. Panova O. V. (2015). Ekranuvannya elektromagnitnykh poliv ta zabezpechennia elektromagnitnoi sumisnosti elektronnoho obladnannia. *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system*, №22, 207–213. (in Ukrainian).
3. Mondal, S., Ganguly, S., Das, P., Khastgir, D., & Das, N. C. (2017). Low percolation threshold and electromagnetic shielding effectiveness of nano-structured carbon based ethylene methyl acrylate nanocomposites. *Composites Part B: Engineering*, Vol.119, 41–56.
4. Yadav R. S., Kuritka I., Vilcakova J., Machovsky M., Skoda D., Urbanek P., Masar G., Kalina L., & Havlica J. (2019). Polypropylene nanocomposite filled with spinel ferrite  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  nanoparticles and in-situ thermally-reduced graphene oxide for electromagnetic interference shielding application. *Nanomaterials*, Vol.9.
5. Glyva, V., Podoltsev, A., Bolibrukh, B. & Radionov, A.V. (2018). A thin electromagnetic shield of a composite structure made on the basis of a magnetic fluid. *Tekhnichna elektrodynamika*, №4, 14–18.
6. Glyva V., Lyashok J., Matvieieva I., Frolov V., Levchenko L., Tykhenko O., Panova O., Khodakovskyy O., Khalmuradov B., & Nikolaiev K. (2018). Development and investigation of protective properties of the electromagnetic and soundproofing screen. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Iss. 6/5 (96), 54–61.
7. Tykhenko O. M. (2020). Zahalni zasady proektuvannia elektromagnitnykh ekraniv ta ekranuiuuchykh konstruksii. *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku*, №1(59), 116–119. (in Ukrainian).
8. Zaporozhets O. I., Sukach S. V., Halahan O. H., Kozlovska T. F. (2017). Vyznachennia parametriv optymalnoi komfortnosti u robochoi zoni prymyshchennia za pokaznykamy povitrianoho seredovyscha. *Visnyk Kremenchutskoho natsionalnoho universytetu imeni Mykhaila Ostrohradskoho*. № 1/2017 (102), 17–21. (in Ukrainian).
9. Jianjun, Li, Liang, Li, Min, Wan, Haiping, Yu, & Lin, Liu. (2018). Innovation applications of electromagnetic forming and its fundamental problems. *Procedia Manufacturing*, Vol.15, 14–30. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.07.16>

Надійшла до редакції 29.04.2020

Рецензент д-р техн. наук, проф. В.А. Глива.

**Касаткіна Наталія Вікторівна** - доктор технічних наук, завідувачка відділу докторантури та аспірантури Національного університету харчових технологій (вул. Володимирська, 68, м. Київ, 03001, Україна).

E-mail: [nkasatkina@ukr.net](mailto:nkasatkina@ukr.net).

**Левченко Лариса Олексіївна** - кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації проектування енергетичних процесів і систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (пр. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

E-mail: [larlevch@ukr.net](mailto:larlevch@ukr.net).

**Панова Олена Василівна** - кандидат технічних наук, доцент, завідувача кафедрою фізики Київського національного університету будівництва і архітектури (пр. Повітрофлотський, 31, м. Київ, 03037Україна).

E-mail: [elenapanova169@gmail.com](mailto:elenapanova169@gmail.com).

**Тихенко Оксана Миколаївна** - кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології Національного авіаційного університету (пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, 03058, Україна).

E-mail: [okstih@ua.fm](mailto:okstih@ua.fm)

**Ченчевой Володимир Віталійович** - кандидат технічних наук, доцент кафедри систем автоматичного управління і електроприводу Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського (вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна).  
E-mail: [vladchen.86@gmail.com](mailto:vladchen.86@gmail.com)

#### OPTIMIZATION OF SHIELDING OF ELECTROMAGNETIC FIELDS OF DIFFERENT SOURCES IN PRODUCTION BUILDINGS

*The purpose of the work is to develop methodological bases for optimizing the parameters of the shielding of electromagnetic fields in buildings and constructions.*

*Method.* To analyse the data of experimental studies, the method of experiment mathematical planning according to the scheme of rotatable central composite planning on the base of regression analysis, including the least squares method and statistical data processing, was used. This makes it possible to build the mathematical model with the same accuracy, which forecasts the response value at points equidistant from the centre of the plan and with the highest accuracy at points located in its vicinity.

*Results.* Mathematical processing of the obtained data allowed establishing the joint effect of the percentage of shielding substance and screen thickness on the geomagnetic field induction magnitude, the induction of magnetic field of the industrial frequency and the level of electromagnetic radiation. The influence of variation of each studied factor on the geomagnetic field induction magnitude, the induction of magnetic field of the industrial frequency and the level of electromagnetic radiation, was quantified.

*Scientific novelty.* The optimization of the coefficients of magnetic and electromagnetic fields shielding is possible with the use of the method of experiment mathematical planning according to the scheme of rotatable central composite planning. Initial data for this are the results of experimental studies on dependence of shielding efficiency, depending on the geometric and qualitative characteristics of the shielding material.

*Practical importance.* The obtained result can be applied in the design of shielding materials. Information on the required shielding rates of magnetic and electromagnetic fields of different origin is taken into account in design decisions regarding the thickness, qualitative and quantitative composition of the metal and metal-containing components in the polymeric matrix of the composite material.

*Keywords:* electromagnetic environment, shielding of electromagnetic fields, geomagnetic field, magnetic field of industrial frequency, electromagnetic radiation, planning of experiment.

**Kasatkina Natalia** - Doctor of Engineering, Head of the Doctoral and Graduate Studies Department of the National University of Food Technology (68, Volodymyrska str., Kyiv, 03001, Ukraine).

E-mail: [nkasatkina@ukr.net](mailto:nkasatkina@ukr.net)

**Levchenko Larysa** - PhD, Associate Professor, Associate Professor of the department of Automation of projection of power processes and systems of the National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37, Peremohy ave., Kyiv, 03056, Ukraine).

E-mail: [larlevch@ukr.net](mailto:larlevch@ukr.net)

**Panova Olena** - PhD, Associate Professor, Head of the Department of Physics of the Kyiv National University of Construction and Architecture (31, Povitroflotsky ave, Kyiv, 03037, Ukraine).

E-mail: [elenapanova169@gmail.com](mailto:elenapanova169@gmail.com)

**Tykhenko Oksana** - PhD, Associate Professor Associate Professor, Associate Professor of the Department of Ecology of the National Aviation University (1, Lubomyra Husara ave., Kyiv, 03058, Ukraine).

E-mail: [okstih@ua.fm](mailto:okstih@ua.fm)

**Chenchevoi Volodymyr** – PhD, associate Professor of the Department of Automatic Control Systems and Electric Drive of Kremenichuk Mykhailo Ostrohradskyi National University (20, Pershotravneva Str., Kremenichuk, 39600, Ukraine).

E-mail: [vladchen.86@gmail.com](mailto:vladchen.86@gmail.com)