

УДК 538.69:331.45

doi: [10.31474/1999-981x-2018-2-80-90](https://doi.org/10.31474/1999-981x-2018-2-80-90)

О.В. Панова

ЗАГАЛЬНІ КРИТЕРІЇ ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ЕКРАНІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ БЕЗПЕКИ ТА СУМІСНОСТІ ТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

Мета. Нормалізація електромагнітних полів та випромінювань при роботі електронного та електричного обладнання на виробництві з урахуванням електромагнітної сумісності технічних засобів у робітничому середовищі в умовах переходу на «міжнародні стандарти електромагнітної сумісності»; узагальнення розробок при екрануванні електромагнітних полів та випромінювань, які спрямовані для підвищення його технологічності, ефективності та практичної значущості.

Методика: Проаналізовано коефіцієнти екранування електромагнітних полів та випромінювань сучасних металевих захисних матеріалів та металополімерних захисних екранів на різних частотних діапазонах. Розглянуто захисні властивості електромагнітного екрана в залежності від довжини хвилі та параметрів екрануючої сітки. Виявлено переваги та недоліки визначення характеристик екрануючих матеріалів, які регламентуються національними та міжнародними нормативами.

Результати. Визначено найбільш ефективний спосіб отримання джерел електромагнітного впливу на працюючих та технічні засоби. Запропоновано методи застосування електромагнітних екранів в залежності від частотних характеристик найбільш поширених джерел електромагнітних полів та випромінювань.

Наукова новизна: Надано рекомендації щодо екранування електромагнітних полів та випромінювань радіотехнічного обладнання цивільної авіації та засобів бездротового зв'язку з урахуванням технічних вимог та норм міжнародних стандартів щодо електромагнітної сумісності. Вдосконалена робота із забезпечення електромагнітної безпеки та електромагнітної сумісності технічних засобів в умовах переходу на міжнародні стандарти електромагнітної сумісності.

Практична значимість: Запропонований підхід по визначенню електромагнітної обстановки у виробничому середовищі дозволяє визначити джерела електромагнітних полів та випромінювань на працюючих, на електричні і електронні прилади та чутливі технічні засоби.

Ключові слова: екранування; електромагнітні поля та випромінювання, електромагнітна безпека; електромагнітна сумісність; нормативні вимоги; міжнародні стандарти

Вступ.

Дослідження та прикладні розробки у галузі електромагнітної безпеки довели, що найбільш ефективним засобом поліпшення електромагнітної обстановки є екранування. Захист працюючих у виробничому середовищі від негативного впливу електромагнітних полів та підвищення нормативного рівню електромагнітної сумісності технічних засобів забезпечують сучасні екрануючі матеріали різного класу. На жаль, у деяких випадках, в умовах щільного розміщення приладів, в перенавантаженому магнітному середовищі, спостерігається нестабільна робота чутливих електричних та електронних приладів.

Результати наукових та експериментальних досліджень в цьому напрямку стосуються найчастіше конкретного виробничого середовища, або електромагнітного впливу визначеної частоти чи частотного діапазону.

Розроблення цілісної системи з електромагнітної безпеки на виробництві робочого місця, приміщення або будівлі в

цілому має вирішувати одночасно багато задач, пов'язаних з різними процесами технічного та методологічного характеру.

Проведення аналізу сучасних підходів по визначенню основних напрямів і засад у роботах з електромагнітної безпеки електромагнітної екології та електромагнітної сумісності технічних засобів висуває наступний стан проблеми.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Сучасні наукові дослідження та експерименти показали, що для екранування від техногенного впливу доцільніше визначати залежності захисних властивостей матеріалів, з яких складається екрануючий матеріал, від частоти і амплітуди електромагнітного поля [1].

На даний час розроблені сучасні різноманітні композитні і багат шарові екрани та екрануючі сітки різних конструкцій та складів [2, 3], розглянуті захисні заходи мінімізації електромагнітних полів та випромінювань [4] та визначено характеристики найбільш традиційних

екрануючих матеріалів, які регламентовані національними нормативами [5]. Також досліджено можливості використання новітніх захисних матеріалів, якими є аморфні магнітом'які сплави різних складів та обробок [6].

Такі матеріали розроблялися для екранування від конкретних електромагнітних навантажень у робітничому приміщенні, крім електромагнітних екранів з керованими захисними властивостями [7; 8].

В результаті таких досліджень отримано підвищення коефіцієнтів екранування та розширення частотного діапазону для аморфних магнітом'яких сплавів, а також експериментально встановлено розбіжності числових значень коефіцієнтів екранування [9]. Автори не приводять даних, щодо обґрунтування невідповідності результатів дослідження.

На нашу думку, така невідповідність при визначенні захисних властивостей різних екрануючих матеріалів обумовлена похибками дослідів та експериментів, які проводилися в нестабільних електромагнітних навантаженнях з використанням приладів та технічних засобів різного класу. Не виключено, що такі розбіжності можливі і при використанні різноманітних математичних розрахункових методик.

Узагальнюючи вищесказане, встановлюємо визначити і обґрунтувати найбільш пріоритетні методи досліджень та прикладних розробок загальних критеріїв застосування екрануючих матеріалів.

Мета статті.

Метою статті є визначення та узагальнення найбільш пріоритетних сучасних дослідів та прикладних наукових розробок щодо екранування та визначення напрямків робіт з підвищення його ефективності з метою зниження або стабілізації електромагнітної обстановки полів і випромінювань у виробничому середовищі в умовах переходу на міжнародні стандарти електромагнітної сумісності.

Велика кількість наукових дослідів з цього питання спрямована на визначенні нормативних захисних характеристик (найчастіше - коефіцієнтів екранування), які досліджуються тільки у певному частотному діапазоні, або зосереджені на екрануванні

конкретного джерела поля.

Методи дослідження

Методи дослідження показали, що ефективність екранування залежить від складу матеріала, його властивостей, технічних характеристик, геометричних параметрів та позиціонуванням екрана [10], що призводить до нелінійних, складних залежностей та взаємозалежностей коефіцієнтів екранування від частоти поля та амплітуди.

Узагальнені показники власних досліджень, а також аналіз інших наукових робіт показали коефіцієнти екранування для різних класів матеріалів.

Результат: встановлені переваги і недоліки екрануючих матеріалів щодо їх вартості, великої ваги, неефективності використаних частот, або неможливості створення поверхонь великих площ для нормалізації електромагнітної обстановки. При виборі захисного екрануючого матеріалу, для зручності, нами представлені усереднені значення коефіцієнтів екранування в залежності від частотного діапазону (коефіцієнтом екранування вважаємо відношення напруженості магнітного поля та густини потоку енергії перед екраном до відповідного показника у зоні, яку захищають) (Табл.1).

Таблиця 1 – Значення коефіцієнтів екранування електромагнітних полів та випромінювань сучасних екрануючих матеріалів

Матеріал	Частотні діапазони			
	наднизькі	низькі	високі	ультрависокі і вищі
Електротехнічна сталь	2-5	9-10	-	50-900
Пермалой	8-12	22-35		80-1000
Аморфні магнітом'які сплави	8-22		40-300	400-1000
Металополімерні матеріали	10-1400			
Багатошарові структури	-	-	-	20-10000
Регулярна металева структура	-	-	-	15-10000

Виклад основного матеріалу.

На практиці відомо, що при довільному розташуванні захисного екрана у деяких випадках, за магнітною складовою,

він погіршує загальний електромагнітний вплив. Це пов'язано із обмеженнями, які існують для кожного класу матеріалу та загальними завадами, такими як щільність розташування технічних приладів у робітничому середовищі.

Організаційно-технічні заходи з екранування електромагнітних полів електротехнічними сталями показали, що таке явище обумовлене намагніченістю екрана первинним полем. Це стосується наднизькочастотної частини спектра, в основному - промислової частоти 50 Гц. Доцільніше використання екранів, які працюють за рахунок явища віддзеркалювання. Крім зниження рівня магнітного поля з боку обладнання, зберігається вільний доступ до нього, так як екран розташовується з тильного боку джерела. Потрібно враховувати, що для електротехнічних сталей притаманні розбіжності властивостей для сталей різних класів.

Перевагою є ефективність використання у частотному діапазоні 6-7 кГц. Недоліком є досить велика вага.

Найбільш ефективними екрануючими матеріалами є пермалої. Для різних класів пермалоїв за загальними властивостями збігаються їх частотні характеристики: 0,6-0,9 кГц. При великих розмірах екранів та достатньо великого відсоткового вмісту нікелю робить їх досить дорогими по вартості та великими за вагою, а незначна деформація цих екрануючих матеріалів при їх використанні, приводить до різкого зниження захисних властивостей, крім ультрависоких і вищих частот.

Найбільш ефективними у використанні є аморфні магнітом'які сплави. При досить великій міцності, вони мають дуже малу вагу. Недоліком є складність технології виготовлення, що і обумовлює їх велику вартість. Аморфні магнітом'які сплави виготовляються надшвидким гартуванням розплаву кобальту у вигляді стрічок, максимальна ширина яка складає до 50 мм, а товщина до 50 мкм. В окремих випадках, при екрануванні великих робочих приміщень, або чутливих технічних засобів чи засекречених територій, недоцільно використання аморфних магнітом'яких сплавів є неможливість створення суцільних поверхонь великих площ.

Металополімерні матеріали також

мають недолік – деградація полімерної матриці за температурних і оптичних впливів, але є і значуща перевага: можливість регулювання коефіцієнтів екранування вмістом металевої субстанції у полімерній матриці. Це дає змогу виготовити матеріал з потрібним коефіцієнтом екранування. За однакових коефіцієнтів екранування - вагова частина металу збільшується при зниженні частоти поля. Перевагою металополімерного матеріалу є досягнення екранування за значного поглинання електромагнітної енергії екраном.

Захисні екрани, які виготовлені з багат шарових структур, ефективні тільки для ультрависоких і вищих частот. Це обумовлене їх побудовою на принципах інтерференції хвиль. Результат - критичність товщини шарів і, як наслідок, - придатність кожного конкретного екрана тільки для дуже вузької частотної смуги. Такі екрани використовуються, для електромагнітної сумісності та технічного захисту інформації. Недоліком є висока вартість деяких складових матеріалів.

Широке впровадження саме металевих структур набули регулярні металеві структури – грати та сітки, що обумовлено їх прийнятною вартістю. Використання металевих структур (гратчастих або сітчастих металевих матеріалів з постійним кроком металевих елементів та розміром комірки сіток) доцільне починати з ультрависоких частот. Це обумовлене їх побудовою, яка ґрунтується на принципі дифракції електромагнітних хвиль. Джерелами таких випромінювань можуть бути радіотехнічне обладнання базових станцій, аеродромів, мобільного та радіорелейного зв'язку. Нормативні акти від таких джерел випромінювання достатньо вузька. Усі засоби працюють на фіксованих частотах, а відхилення від основної, робочої частоти незначні. Основні характеристики таких джерел наведено у національних нормативах. При виробництві електромагнітних екранів з таких матеріалів виготовляється відносно невелика кількість сіток з фіксованими розмірами комірок та діаметрами дротів.

Суцільність екрана робить його непрозорим для усіх випромінювань з більшими довжинами хвиль, що збільшує вагу матеріалу та вартість екрану. У більшості випадках необхідно, щоб такі

екрани були оптично прозорими. Це передбачено виробничими умовами: доступу освітлення, або денного світла та для нагляду за обладнанням.

Більшість радіолокаційних приладів та засобів керування повітряним рухом оперує випромінюванням з довжинами хвиль $\lambda=0,03$ м радіорелейного та мобільного зв'язку відповідає: 0,1-0,3 м, а діаметри дротів (d) для виготовлення сітчастих електромагнітних екранів відповідають номенклатурі дротів, які виробляються промисловістю.

Результати випробувань сіток з різними відстанями між металевими дротами (ℓ) наведено у групі графічного матеріалу, представленого на (рис. 1), де K_e - коефіцієнт екранування електромагнітного випромінювання.

Обговорення результатів.

Відомо, що екранування електромагнітних полів та випромінювань відбувається як за рахунок поглинання електромагнітної енергії так і за відбиття електромагнітної хвилі, що не завжди враховується на практиці. Поглинання електромагнітної енергії завжди дає позитивний ефект, а відбиття електромагнітної хвилі за межі об'єкта, що захищається, може значно погіршити електромагнітні нормативні значення у місцях перебування працюючих, або чутливих електронних приладів. Іноді погіршується електромагнітне середовище і в усередині об'єкта, якщо є внутрішні джерела випромінювань. У зв'язку із введенням міжнародних стандартів електромагнітної сумісності [11-15] процес захисту екранування ускладнюється.

Найбільш перспективним є розроблення електромагнітних екранів з переважним поглинанням електромагнітної енергії (малими коефіцієнтами відбиття) для електромагнітної сумісності електронного обладнання.

Питання з електромагнітної сумісності технічних засобів також потребують окремої уваги.

На сьогоднішні час найбільш вагомою задачею є електромагнітна безпека та електромагнітна сумісність технічних засобів у магнітному середовищі.

Норми та технічні вимоги щодо електромагнітної сумісності забезпечують

стабільність функціонування засобів обчислювальної техніки, автоматизованих систем та комплексу працезохоронних заходів. Причиною є нестабільність роботи технічних засобів, що є чинником опосередкованого негативного впливу електромагнітних полів та випромінювань на людей [1]. Деякі стандарти мають недоліки. Наприклад, у методиці яка регламентує випробування обладнання інформаційної техніки на радіозаводі у діапазоні частот 0,15 - 1000 МГц, схема випробувань передбачає на відстані 0,4 м (з тильного боку протестованого обладнання вертикального металевого заземленого листа). Виходячи з дипольної моделі відеомоніторів та принципу дзеркального відбиття, сумарні поля у точках вимірювань є сумою полів дійсного та протилежно спрямованого уявного диполів. Наявність металевого листа спотворює реальні поля відеомоніторів на 5-10%, залежно від точки вимірювань. Такі похибки є незадовільними, особливо для сертифікації документів. Частина державних стандартів України, прийнятих протягом 90-х років, практично еквівалентна відповідним міжнародним нормативам, в яких також не враховують реальний стан, структурну побудову систем передачі і розподілу електроенергії та монтаж силової мережі.

Найбільші можливості щодо вирішення цих питань відкриваються при виготовленні металополімерних матеріалів. При виконанні досліджень та впровадження електромагнітного захисту необхідне врахування особливостей сучасних засобів зв'язку. Наприклад, за низьких рівнів випромінювань базових станцій мобільного зв'язку та бездротового зв'язку, Wi-Fi усі приймачі автоматично підвищують власні рівні випромінювань, що закладено у їх конструкцію. Тому при екрануванні приміщень і будівель рівні зовнішніх випромінювань базових станцій [16] повинні забезпечувати принаймні мінімальні сигнали для надійного зв'язку, за нашими даними: 0,08-0,10 мкВт/см².

Необхідно взяти до уваги, що навіть випромінювання базових станцій мобільного зв'язку, а тим більше іншого радіоелектронного обладнання не можна вважати монохромним, тобто дані випромінювання мають хоча і вузьку, але деяку смугу частот. Так, випромінювання найбільш поширеного стандарту DCS-1800,

зазвичай здійснюється на частотах 1793, 1805 МГц радіорелейний зв'язок

здійснюється на частоті 23000 МГц з розкидом у кілька сотень Гц.

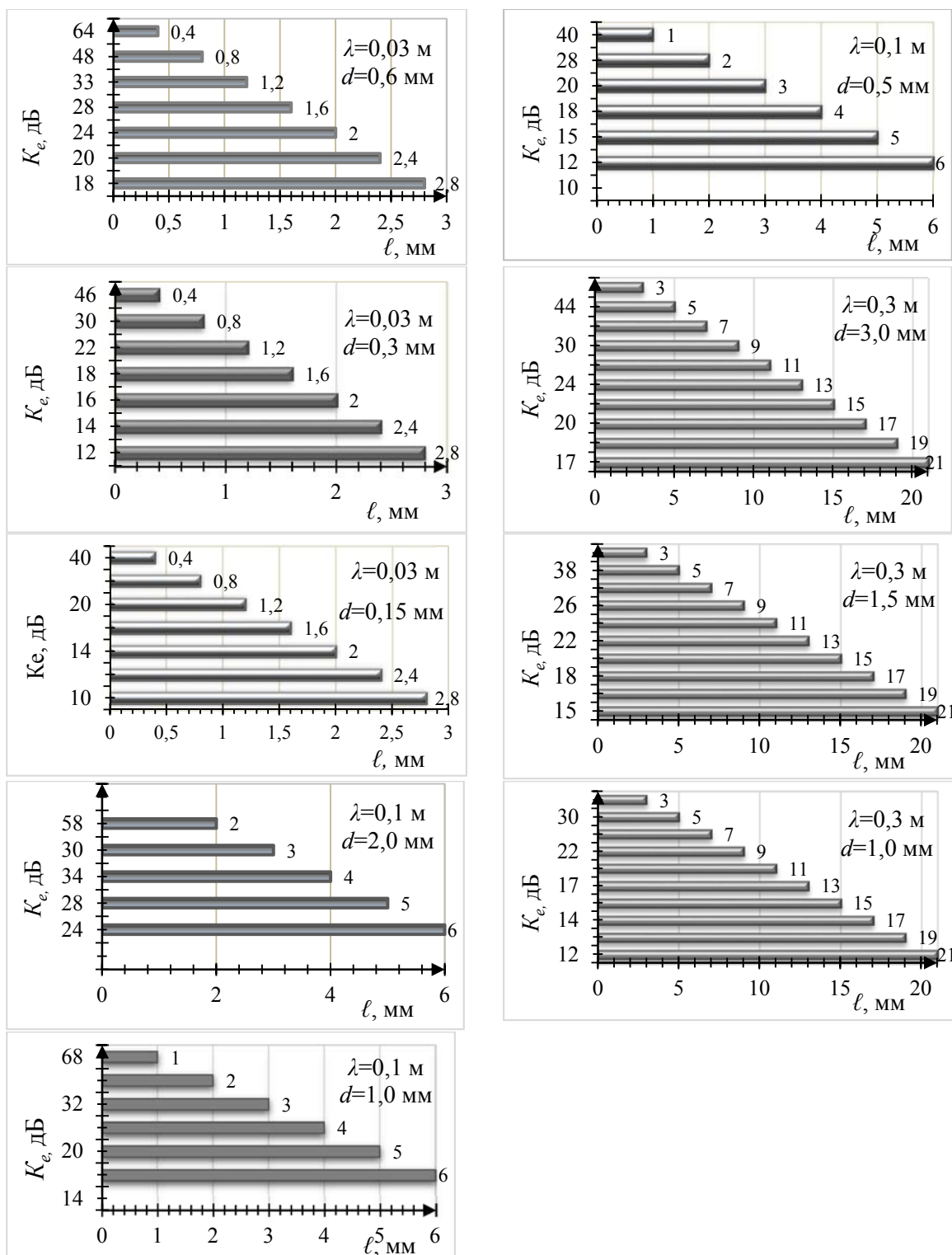


Рис. 1. Залежність захисних властивостей електромагнітного екрана від параметрів сітки та довжини хвилі, де λ - довжина хвилі, d - діаметри дротів; l - відстань між металевими дротами

Найбільший інтерес викликає перфорований електромагнітний екран з регулярним розташуванням круглих або прямокутних отворів. Це може бути обумовлено наступними причинами:

- такі отвори використовуються для технологічних потреб, вентиляції, оглядових вікон, вводу кабелів до генераторів випромінювання тощо;

- металеві листи, з яких виготовлено такий екран, мають хоча і малу, але певну товщину, що дозволяє розглядати їх як хвилеводи невеликої глибини, крім того глибина може бути збільшена за рахунок технологічних рішень.

При визначенні ефективності перфорованих екранів виникають дві основні задачі:

1. розрахунок частоти зрізу, тобто максимальної частоти випромінювання, для якого отвори обраного діаметра є непроникними;
2. ефективності поглинання частки випромінювання частот, нижчих за частоту зрізу.

Суперечності у даному випадку немає через обов'язкову часткову проникність екрана внаслідок дифракційних явищ. Взагалі такі розрахунки досить складні, але існують спрощені напівемпіричні співвідношення, цілком прийнятні для вирішення прикладних задач.

Так, частота зрізу для круглого отвору визначається зі співвідношення:

$$f_3 = \frac{1,75 \cdot 10^5}{d}, \quad \text{МГц}, \quad (1)$$

де d – діаметр отвору (мм)

Відповідно, втрати енергії випромінювання на поглинання визначаються як:

$$K_n = 32 \frac{a}{d}, \quad \text{дБ}, \quad (2)$$

де a – товщина стінки екрана (мм)

Наведене співвідношення впливає з теорії хвилеводів. За величину (a) у рівнянні (2) прийняли довжина хвилеводу.

Розглянуті формули (1) та (2) визначалися для використання у радіотехніці. Вони розглядають частоту зрізу як частоту, до якої хвилевод послаблює

інтенсивність електромагнітних хвиль, що є не зовсім прийнятним з точки зору захисту людей. Для визначення ступеня захисту необхідно знати частоту випромінювань нижче якої отвори можна вважати повністю непроникними для випромінювання. Хоча у будь-якому випадку за наявності багатьох отворів у конструкції вони є позамежними хвилеводами. Тому для використання такого ефекту у галузі електромагнітної безпеки доцільно використовувати співвідношення:

$$f_3 = \frac{1,8 \cdot 10^4}{d}, \quad (3)$$

де f_3 – частота зрізу, МГц;
 d – діаметр отвору, мм.

Розрахунки з використанням співвідношення (3) показали, що отвори стають непроникними для випромінювання за їх діаметрів або довжин хвиль (для прямокутного отвору), які дорівнюють приблизно 0,1 довжини падаючої електромагнітної хвилі. Цей факт добре узгоджується з експериментальними дослідженнями і має практичне значення.

Значення коефіцієнта екранування можна визначити зі співвідношення довжини падаючої хвилі і максимальної довжини отвору:

$$K_e = 20 \lg \left(\frac{\lambda}{2d} \right) \quad (4)$$

Визначення K_e виходячи з діаметра і довжини хвилевода використовується тільки для частот нижчих за частоту зрізу.

Ефективність екранування за рахунок поглинання лінійно залежить від цього параметра. Таким чином, керованість захисних властивостей такого екрана може бути забезпечена виготовленням отворів у вигляді хвилеводів необхідної довжини (рис. 2).

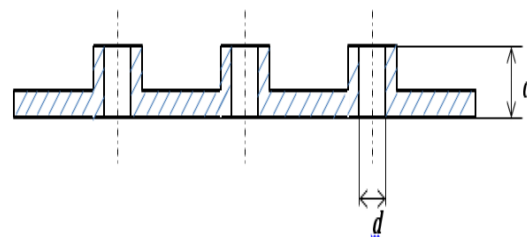


Рис. 2. Розріз електромагнітного екрана з отворами у вигляді хвилеводів

Для екрана такої конфігурації критичним є співвідношення розмірів отворів (d) та відстаней між ними (l), а також довжина падаючої електромагнітної хвилі (λ). Попередні дослідження показали, що ефективність екранування для фіксованої відстані між отворами залежить лінійно від параметра $(\lambda/d)^3$, (рис. 3).

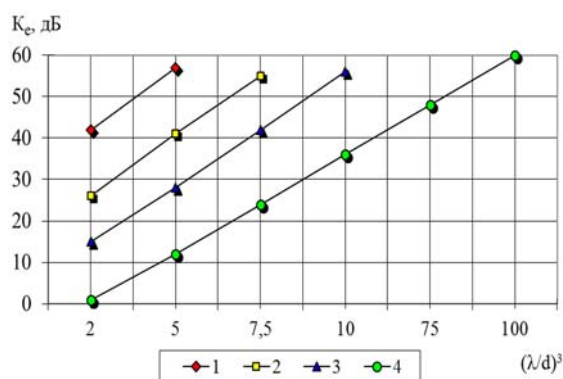


Рис. 3. Залежність ефективності екранування від параметрів перфорації (відстані між отворами l : 1-50 мм, 2-20 мм, 3-10 мм, 4-5 мм)

Комбінація двох наведених вище критеріїв дозволяє з прийнятною для реальних умов точністю визначити необхідну ефективність екранування та параметри екрана з точки зору розумної достатності.

Однак, за показаної на рисунку 1 форми екрана значна частина сумарної ефективності екранування припадає на відбиття електромагнітних хвиль поверхнями, перпендикулярними фронту хвилі, що у багатьох випадках є шкідливим через відбиття випромінювання у небажаних напрямках. Це стосується як джерел випромінювань, розташованих усередині приміщень (особливо з точки зору забезпечення електромагнітної сумісності обладнання), так і зовнішніх джерел - потужних радіовипромінювачів.

У таких умовах доцільною є мінімізація частки плоских ділянок екрана, що сприяє розсіюванню випромінювання і підвищенню його поглинання. Конфігурацію такого екрана наведено на рис. 4.

Перевагами такого екрана є, крім достатньої ефективності, компактність і технологічність виготовлення. Наприклад, дослідний зразок виготовлявся штамповкою зі стандартного листа електротехнічної сталі товщиною 0,8 мм. Очевидно, що

ефективність екрана значною мірою буде залежати від кривизни вхідних отворів для різних частот випромінювань та характеру джерел. Останнє обумовлене локалізацією джерела у просторі та просторовими розподілами напрямків поширення випромінювання.

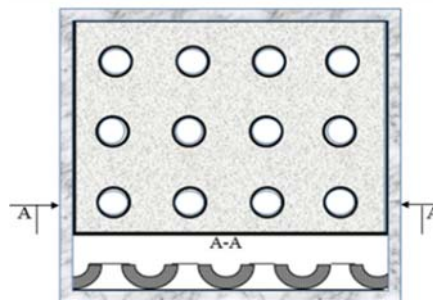


Рис. 4. Фронтальний вигляд та розріз поглинального електромагнітного екрана

Тому, до початку проектування електромагнітного екрана, необхідно провести вимірювання частотно-амплітудних характеристик електромагнітного випромінювання, яке потребує екранування, та визначити просторові закономірності його поширення.

За допомогою розрахункових методів, наприклад у роботі [17, 18] необхідні параметри хвильових електромагнітних полів визначаються на основі сферичного гармонічного аналізу з прийнятними припущеннями і спрощеннями.

Випробування електромагнітних екранів, виготовлених на основі запропонованих підходів, довели їх високу ефективність у виробничих, і у побутових умовах. Проте натурні вимірювання показали, що за певних співвідношень геометричних характеристик на частотах 600-800 МГц спостерігається різке зниження коефіцієнта екранування. Можливою причиною є резонансні явища у отворі.

На певних смугах частот спостерігається зниження захисних властивостей екранів, особливо з прямокутними отворами, які часто зустрічаються у реальних виробничих умовах.

Були проведені дослідження для різних співвідношень довжин (l) і висот (h) прямокутних отворів (рис. 5 та рис.6)

Отримані залежності досить складні. Визначення частих смуг різкого зниження або підвищення захисних властивостей, на нашу думку, найбільш доцільне шляхом проведення попередніх досліджень у лабораторних умовах. Це надає змогу або визначити потрібні геометричні характеристики отворів, або визначити гарантовані коефіцієнти екранування для існуючих отворів. Особливо це стосується серійного радіотехнічного обладнання, генератори якого перебувають у безпосередній близькості до людей та чутливого електронного обладнання.

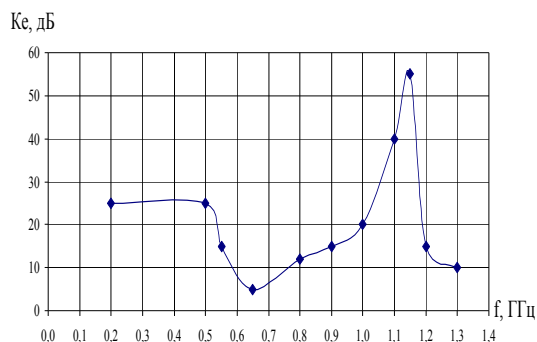


Рис. 5. Частотна залежність коефіцієнта екранування прямокутних хвильоводів з $l/h = 3:1$.

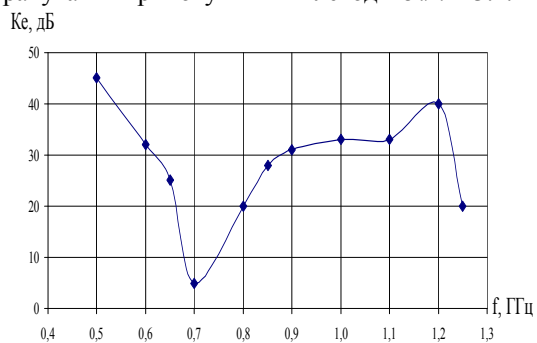


Рис. 6. Частотна залежність коефіцієнта екранування прямокутних хвильоводів з $l/h = 6:1$.

Висновки.

1. Екранування магнітної складової електромагнітних полів наднизьких та низьких частот, що обумовлене їх квазістаціонарністю є найбільш складною задачею. Потребують досліджень геометричні критерії розташування екранів з урахуванням їх намагніченості первинним магнітним полем.

2. Перспективними матеріалами для захисту від електромагнітних полів та випромінювань є металополімерні екрани. Зниження їх вартості, підвищення технологічності виготовлення та уникнення

деградації під час експлуатації- головна проблема при екрануванні.

3. Використання багатошарових екранів з адгезією шарів не зовсім прийнятне для захисту працюючих. За потреби захисту від електромагнітних полів широкочастотного діапазону доцільне використання механічно з'єднаних екранів, ефективних у різних частотних смугах.

4. При розробленні та впровадженні заходів з електромагнітної сумісності технічних засобів екрануванням необхідно дотримуватися принципу достатності.

5. Враховуючи великі обсяги експериментальних робіт при розробленні екранів та значні розбіжності результатів лабораторних досліджень та випробувань у реальних умовах, доцільним уявляється вдосконалення розрахункових методів визначення та прогнозування захисних властивостей електромагнітних екранів з урахуванням відбивальної та поглинальної складової коефіцієнта екранування.

В умовах переходу на міжнародні стандарти електромагнітної сумісності технічних засобів доцільне узагальнення розробок при екрануванні електромагнітних полів та випромінювань, які спрямовані для підвищення його технологічності та ефективності і спрямовані на нормалізацію електромагнітного навантаження.

Список літератури

1. Панова О.В. Захист працюючих від впливу електромагнітних полів екрануванням: дис...канд. техн. наук: 05.26.01 / Панова Олена Василівна. – Київ, 2014. – 151 с.
2. Glyva V.A. Methodological principles of electromagnetic screens application for public protection from electromagnetic fields and radiation / Glyva V.A., Panova E.V., Voloshkina E.V. / Science Magazine «Environmental Problems». – 2016, Number 1, p. 69-72.
3. Зотов И.С. Исследование электродинамических характеристик композитных материалов с регулярными структурами: дис. ... канд. физ.-мат. наук: 05.13.06 / Зотов Илья Станиславович. – Ч., 2011. – 124 с.
4. Bhattacharjee S. Protective Measures to Minimize the Electromagnetic Radiation / S. Bhattacharjee // Electronic and Electric Engineering. – 2014. – Vol. 4. – P. 375-380.
5. Державні санітарні правила при роботі з джерелами електромагнітних полів: ДСанПін 3.3.6.096-2002. [Чинний від 2003-0104]. – К.: МОЗ України, 2003. – 16 с.
6. Панова О.В. Оцінка ефективності електромагнітних екранів на основі різних магнітом'яких матеріалів / О.В. Панова // Техніка будівництва. – К. 2010. – Вип. 24. – С. 56-58.
7. Design and study of protective properties of

electromagnetic screens based on iron ore dust / [V. Glyva, S. Podkopaev, L. Levchenko, N. Karaieva, K. Nikolaiev, O. Tykhenko, O. Khodakovskyy, and B. Khalmuradov] // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2018. – Iss. 1/5 (91). – P. 10 – 17. <http://dx.doi.org/10.15587/1729-406114>.

8. Патент 74857 Україна, МПК 012В17/00. Електромагнітний екран з керованими захисними властивостями / Глива В.А., Назаренко М.В., Подобед І.М., Матвеева О.Л., Панова О.В.; заявник і патентоотримувачі; заявлено 12.05.2012; опубл. 12.11.2012, Бюл. № 21.

9. Glyva V.A. A thin electromagnetic shield of a composite structure made on the basis of a magnetic fluid / V.A. Glyva, A.D. Podoltsev, B.V. Bolibrukh, A.V. Radionov // *Tekhnichna elektrodynamika*. – K. 2018. № 4, – P. 14-18.

10. Xingcun C.T. *Advanced Materials and Design for Electromagnetic Interference Shielding* / C.T. Xingcun: CRS Press, 2009. – 342 p.

11. ДСТУ EN 55013:2016 Приймачі звукового і телевізійного мовлення і підключене обладнання. Характеристики радіозавод. Норми і методи вимірювання (EN 55013:2013, IDT).

12. ДСТУ EN 55020:2014 Приймачі радіо- та телевізійного мовлення і пов'язане з ними обладнання. Характеристики захищеності. Граничні значення і методи вимірювання (EN 55020:2007+ EN 55020:2007/A11:2011 + EN 55020:2007/A1:2014, IDT).

13. ДСТУ EN 300386:2014 Електромагнітна сумісність та радіочастотний спектр. Устаткування телекомунікаційних мереж. Вимоги до електромагнітної сумісності (EN 300386 V1.6.1, IDT).

14. ДСТУ EN 60945:2014 Обладнання та системи навігаційні і радіокомунікаційні морські. Загальні технічні вимоги. Методи випробування та необхідні результати випробування (EN 60945:2002, IDT).

15. ДСТУ EN 301489-1:2014 Електромагнітна сумісність радіобудування та радіослужб. Частина 1. Загальні технічні вимоги (EN 301489-1 V1.9.2, IDT).

16. Khalifa T. *Electromagnetic Pollution Emitted from Base Station*. // *International Journal of Science and Research* / A. Alnabi // *International Journal of Science and Research*. – 2015. – Vol. 4. – P. 1125-132.

17. Кирпанев А.В. *Электромагнитное поле: теория идентификации и её применение* / А.В. Кирпанев, В.Я. Лавров. – М. Вузовская книга, 2012. – 278с.

18. 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.

References

1. Panova O.V. (2014), «Protection of workers from exposure to electromagnetic fields via shielding», [Zakhyst robochych vid vplyvu elektromahnitnykh poliv ekranuvannyam], Kandidatskaya dissertatsiya. Kyiv, Candidate's thesis. Kyiv: K, p.151. (in Ukrainian).

2. Glyva V.A., Panova E.V., Voloshkina E.V. (2016), «Methodological principles of electromagnetic screens application for public protection from electromagnetic fields and radiation», [Metodolohichni pryntsyupy zastosuvannya elektromahnitnykh ekraniv dlya hromads'koho zakhystu vid elektromahnitnykh poliv ta vyprominyuvannya], *Naukovyy zhurnal «Ekolohichni*

problemy», *Science Magazine «Environmental Problems»*. – 2016, Number 1, p. 69-72. (in Ukrainian).

3. Zotov I. (2011), «Investigation of dynamic characteristics of composite materials with a regular structure», [Issledovaniye elektrodinamicheskoy kharakteristik kompozitnykh materialov s regulyarnymi strukturami], Kandidatskaya dissertatsiya. Chelyabinsk, Candidate's thesis. Chelyabinsk: Ch, p.124. (in Russian).

4. Bhattacharjee S. (2014), «Protective Measures to Minimize the Electromagnetic Radiation», [Zakhysni zakhody dlya minimizatsiyi elektromahnitnoho vyprominyuvannya], *Elektronika ta elektrotekhnika, Electronic and Electric Engineering*. – 2014. – Vol. 4. – P. 375-380. (in English).

5. «State sanitary rules when working with sources of electromagnetic fields». (2003), [Gosudarstvennyye sanitarnyye pravila pri rabote s istochnikami elektromahnitnykh poley], D.San Pin. 3.3.6.096-2002 from 01 of April 2003. Kyiv. Derzhavnisanitarninormy Ukraine (in Ukrainian).

6. Panova O.V. (2010), «Evaluation of electromagnetic screens from different magnetic soft materials», [Otsinka efektyvnosti elektromahnitnykh ekraniv na osnovi riznykh mahnitom 'yakikh materialiv], *Tekhnolohiya budivnytstva, Technology building*. Kyiv, Ukraine: 24, pp. 56-58. (in Ukrainian).

7. Glyva V., Podkopaev S., Levchenko L., Karaieva N., Nikolaiev K., Tykhenko O., Khodakovskyy O. and Khalmuradov B. (2018), «Design and study of protective properties of electromagnetic screens based on iron ore dust», [Proektuvannya ta vyvchennya zakhysnykh vlastyvostey elektromahnitnykh ekraniv na osnovi zaliznoho rudnoho pylu], *Skhidnoyevropeys'kyy zhurnal korporatyvnykh tekhnolohiy, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2018. – Iss. 1/5 (91). – PP. 10 17. Available at: <http://dx.doi.org/10.15587/1729-406114>. (in English).

8. Glyva, V.A., Nazarenko M.V., Podobed I.M., Matveeva E.L., Panova E.V. (2012), «Electromagnetic screen operated protective properties», [Zakhysni vlastyvosti elektromahnitnoho ekranu], Issue 12. 11th December 2012 Patent 74857, G12V17 / 00/. Kyiv: K (in Ukrainian).

9. Glyva V.A., Podoltsev A.D., Bolibrukh B.V., Radionov A.V. (2018), «A thin electromagnetic shield of a composite structure made on the basis of a magnetic fluid», [Tonkyy elektromahnitnyy shchyt kompozytsiyanoi struktury na osnovi mahnitnoyi ridyny], *Tekhnichna elektrodynamika, Tekhnichna elektrodynamika*. – K. 2018. № 4, – P. 14-18. (in English).

10. Xingcun C.T. (2009), «Advanced Materials and Design for Electromagnetic Interference Shielding», [Rozshyreni materialy ta dyzayn dlya zakhystu vid elektromahnitnykh pereshkod], CRS Press, CRS Press, 2009. – 342 p. (in English).

11. DSTU EN 55013: (2016) «Receivers of audio and television broadcasting and connected equipment. Characteristics of radio interruptions. Standards and measurement methods», [Pryymachi zvukovoho i televiziynoho movlennya i pidklyuchene obladnannya. Kharakterystyky radiozavad. Normy i metody vymiryuvannya], *Yevropeys'ki standarty yak natsional'ni standarty Ukrayiny*. Ministerstvo ekonomichnoho rozvytku, European standards as the national standards of Ukraine. Ministry of Economic Development, (EN 55013: 2013, IDT). (in Ukrainian).

12. DSTU EN 55020: (2014) «Radio and television receivers and related equipment. Security features. Limit values and measurement methods», [Radio- ta televiziyni pryymachi ta suputnye obladdnannya. Osoblyvosti bezpeky. Hranynchni znachennya ta metody vymiryuvannya], Yevropeys'ki standarty yak natsional'ni standarty Ukrayiny. Ministerstvo ekonomichnoho rozvytku, Ministerstvo ekonomichnoho rozvytku, European standards as the national standards of Ukraine. Ministry of Economic Development. (EN 55020: 2007 + EN 55020: 2007 / A11: 2011 + EN 55020: 2007 / A1: 2014, IDT). (in Ukrainian).

13. DSTU EN 300386: (2014) «Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Characteristics. Provision of telecommunication networks. Requirements for electromagnetic compatibility», [Elektromahnitna sumisnist' ta kharakterystyka radiochastotnoho spektra. Nadannya telekomunikatsiynykh merezh. Vymohy do elektromahnitnoyi sumisnosti], Yevropeys'ki standarty yak natsional'ni standarty Ukrayiny. Ministerstvo ekonomichnoho rozvytku, European standards as the national standards of Ukraine. Ministry of Economic Development. (EN 300386 V1.6.1, IDT). (in Ukrainian).

14. DSTU EN 60945: (2014) «Naval and radiocommunication marine equipment and systems. General technical requirements. Test methods and necessary test results», [Obladdnannya ta systemy navihatsiyni i radiokomunikatsiyni mors'ki. Zahal'ni tekhnichni vymohy. Metody vyprobuvannya ta neobkhidni rezul'taty vyprobuvannya], Yevropeys'ki standarty yak natsional'ni standarty Ukrayiny. Ministerstvo ekonomichnoho rozvytku, European standards as the

national standards of Ukraine. Ministry of Economic Development. (EN 60945: 2002, IDT). (in Ukrainian).

15. DSTU EN 301489-1: (2014), «Electromagnetic compatibility of radio equipment and radio services. Part 1. General technical requirements», [Elektromahnitna sumisnist' radiotekhniki ta radiosluzhb. Chastyna 1. Zahal'ni tekhnichni vymohy], Yevropeys'ki standarty yak natsional'ni standarty Ukrayiny. Ministerstvo ekonomichnoho rozvytku, European standards as the national standards of Ukraine. Ministry of Economic Development. (EN 301489-1 V1.9.2, ICT). (in Ukrainian).

16. Khalifa T. (2015), «Electromagnetic Pollution Emitted from Base Station», [Elektromahnitny zabrudnennya, shcho vykydayet'sya vid bazovoyi stantsiyi], Mizhnarodnyy naukovyy zhurnal, International Journal of Science and Research, – 2015. – Vol. 4. – P. 1125-132. (in English).

17. Kirpanev A.V., Lavrov V.Y. (2012), «Electromagnetic field: the theory of identification and its application». [Elektromahnitne pole: teoriya identyfikatsiyi ta yiyi zastosuvannya], –M. Universitetskaya kniga, – M. University book, 2012. – P.278. (in Russian).

18. Rezinkina M.M. (2005), «Using numerical calculations for the choice of means of shielding from the action of magnetic fields», [Vykorystovuyuchy chysel'ni rozrakhunky dlya vyboru zasobiv zakhystu vid diyi mahnitnykh poliv], Tekhnicheskaya fizika, Kiyev, Ukraina, Technical Physics, Kyiv, Ukraine: №-11, Vol. 77. – p.17-24. (in Russian).

Надійшла до редакції 12.12.2018

Резензент д-р. техн. наук, с.н.с.О.Є. Кружилко

Панова Олена Василівна – кандидат технічних наук, доцент, кафедра фізики, Київський національний університет будівництва і архітектури, (пр. Повітрофлотський, 31, м. Київ, Україна, 03037), <http://orcid.org/0000-0001-7975-1584>
E-mail: elenapanova169@gmail.com.

ОБЩИЕ КРИТЕРИИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЭКРАНОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И СОВМЕСТИМОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Цель. *Нормализация электромагнитных полей и излучений при работе электронного и электрического оборудования на производстве с учетом электромагнитной совместимости технических средств в рабочей среде в условиях перехода на «международные стандарты электромагнитной совместимости»; обобщение разработок при экранировании электромагнитных полей и излучений, которые направлены на повышение его технологичности, эффективности и практической значимости.*

Методика. *Проанализированы коэффициенты экранирования электромагнитных полей и излучений современных металлических защитных материалов и металлополимерных защитных экранов на различных частотных диапазонах. Рассмотрены защитные свойства электромагнитного экрана в зависимости от длины волны и параметров экранирующей сетки. Выявлены преимущества и недостатки определения характеристик экранирующих материалов, которые регламентируются национальными и международными нормативами.*

Результаты. *Определен наиболее эффективный способ получения источников электромагнитного воздействия на работающих и технические средства. Предложены методы применения электромагнитных экранов в зависимости от частотных характеристик наиболее распространенных источников электромагнитных полей и излучений.*

Научная новизна. *Даны рекомендации по экранированию электромагнитных полей и излучений радиотехнического оборудования гражданской авиации и средств беспроводной связи с учетом технических требований, и норм международных стандартов электромагнитной совместимости. Усовершенствована работа по обеспечению электромагнитной безопасности и электромагнитной совместимости технических средств в условиях перехода на международные стандарты электромагнитной совместимости.*

Практическая значимость. *Предложенный подход по определению электромагнитной обстановки в производственной среде позволяет определить источники электромагнитных полей и излучений на работающих, на электрические и электронные приборы и чувствительные технические средства.*

Ключевые слова: экранирование; электромагнитные поля и излучения, электромагнитная безопасность; электромагнитная совместимость; нормативные требования; международные стандарты

Панова Елена Васильевна – кандидат технических наук, доцент, кафедра физики, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, (пр. Воздухофлотский, 31, г. Киев, Украина, 03037), <http://orcid.org/0000-0001-7975-1584>.
E-mail: elenapanova169@gmail.com

GENERAL CRITERIA FOR ELECTROMAGNETIC SCREEN APPLICATIONS TO ENSURE ELECTROMAGNETIC SAFETY AND TECHNICAL EQUIPMENT COMPATIBILITY

Objective. Normalization of electromagnetic fields and radiation during the operation of electronic and electrical equipment in production, considering the electromagnetic compatibility of technics in work environment in transition to the "International Electromagnetic Compatibility Standards"; Generalization of developing the screening for electromagnetic fields and radiation, which are aimed at improving their manufacturability, efficiency and practical significance.

Technique. Screening coefficients of electromagnetic fields and radiation of modern metallic shielding materials and metal-polymer protective shields at various frequency ranges are analyzed. The protective properties of the electromagnetic screen depending on the wavelength and parameters of the shielding grid are considered. The advantages and disadvantages of defining the characteristics of shielding materials, which are regulated by national and international standards, are identified.

Results. The most effective way to obtain sources of electromagnetic effects on workers and technics has been determined. Methods are proposed for the application of electromagnetic screens, depending on the frequency characteristics of most common sources of electromagnetic fields and radiation.

Scientific novelty. Recommendations are made on the shielding of electromagnetic fields and radiation of civil aviation equipment and wireless communication equipment, considering the technical requirements and norms of international standards for electromagnetic compatibility. Work has been improved to ensure electromagnetic safety and electromagnetic compatibility of technical equipment in context of transition to the international standards of electromagnetic compatibility.

Practical significance. The proposed approach for determining the electromagnetic medium in the working environment allows us to determine the sources of electromagnetic fields and effects of radiation on workers, electrical and electronic devices and sensitive technical equipment.

Keywords: screening; electromagnetic fields and radiation, electromagnetic safety; electromagnetic compatibility; regulatory requirements; international standards

Panova Olena – PhD, Associate Professor, Department of Physics, Kyiv National University of Construction and Architecture, (Povitroflotsky ave, 31, Kyiv, Ukraine, 03037), <http://orcid.org/0000-0001-7975-1584>.
E-mail: elenapanova169@gmail.com