

УДК 628.317.42

В.А. Глива¹, К.Д. Ніколаєв¹, В.П. Колумбет², Л.О. Левченко²¹Національний авіаційний університет, Київ²Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського», Київ

МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ НИЗЬКОЧАСТОТНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ В УМОВАХ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ

Розроблено методику і досліджено спектральний склад низькочастотного магнітного поля на території сучасних промислових підприємств. Зареєстровані низькочастотні коливання стаціонарного магнітного поля та наявність гармонік та інтергармонік магнітного поля промислової частоти. Визначено необхідність підвищення роздільної здатності обладнання для розрахунку інтегрального навантаження на довкілля.

Ключові слова: електромагнітне поле, електромагнітна безпека, частота, спектр.

Вступ

Постановка проблеми. В останні роки багато уваги приділяється проблемам електромагнітної безпеки та електромагнітної екології. Це пов'язане з розвитком силових електричних мереж та засобів бездротового зв'язку. Тобто, досліджуються рівні електричних та магнітних полів промислової частоти та електромагнітних випромінювань частот мобільного зв'язку. Але різноманітність джерел електромагнітних полів, наприклад, електричного транспорту спричиняє появу у виробничому та навколишньому середовищі електромагнітних полів попередбачуваних частот, формуючи своєрідний електромагнітний шум. Фактичні рівні та критичність таких полів практично не досліджувалися. Особливої актуальності такі дослідження набувають в умовах зміни парку електричного та електронного обладнання, що обумовлене впровадженням сучасних технологій промислового виробництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У більшості публікацій стосовно магнітних та електричних полів частот, нижчих за промислову, розглядаються електромагнітні поля, генеровані електричним транспортом різного призначення і конструкцій [1, 2]. Але ці роботи фактично обмежуються констатацією наявності проблеми та критеріями її оцінювання. При цьому оцінювання рівнів магнітних полів відбувається за коливаннями постійного магнітного поля внаслідок руху електричного транспорту. Як показано у [3], такі коливання суттєві, особливо внаслідок руху трамваїв, через використання одного контактного дроту. Це ж спостерігається і у метрополітені. Як показано нами у попередній роботі [4], виміри фактичних рівнів магнітних полів дуже різняться, що не можна пояснити виключно похибкою вимірювань.

До того ж зміни електромагнітної обстановки швидкоплинні, що ускладнює реєстрацію напруженостей полів у режимі реального часу. Такі дані

потрібні для розроблення адекватних засобів захисту, які на сьогоднішній день обмежуються або екрануванням зовнішніх електромагнітних полів [5] або оптимізацією конструкцій підвісів повітряних ліній електропередачі [6].

Мета роботи – розробити засади визначення частотно-амплітудних характеристик низькочастотного електромагнітного фону внаслідок впливу новітніх джерел електромагнітних полів та сформувавши підходи до мінімізації його впливу на людей у виробничих та побутових приміщеннях.

Виклад основного матеріалу

Вимірювання рівнів магнітних полів промислової частоти та стаціонарного (геомагнітного) магнітного поля у м. Києві показали їх суттєві рівні. Так, магнітні поля промислової частоти на територіях житлової будови та підприємств 0,15 -1,75 мкТл. А стаціонарні магнітні поля – 17 – 210 мкТл.

Для цього використано підхід, запропонований у раніше виконаній роботі [7] з пристосуванням його для визначення амплітудно-частотних характеристик магнітного поля частотою 0-500 Гц. Такий діапазон обов'язковий для реєстрації перших двох поширених гармонік промислової частоти, кратних трьом. Ці гармоніки виникають через нерівномірні навантажень на окремі фази трифазної силової електричної мережі та наявність значної (більше 20%) частки електроспоживачів з нелінійними вольт-амперними характеристиками.

Вимірювання здійснювалися наступним чином. До лінійного входу персонального комп'ютера підключався ферорезонансний датчик магнітного поля з відомими калібровочними показниками і лінійною залежністю чутливості у діапазоні до 1000 Гц. Комп'ютер був оснащений програмою аналізу частотного спектра Spectrogram.

Чутливість звукової карти комп'ютера складає 10-15 мкВ, що дозволяє гарантовано реєструвати змінні магнітні поля напруженостями порядку

10^{-9} Гл. Перерахунок даних з логарифмічних одиниць у одиниці вимірювання індукції магнітного поля здійснювалися, виходячи з робочої напруги звукової карти та напруги на контактах датчика.

Приклад отриманого спектра магнітного поля наведено на рис. 1. Аналогічні вимірювання проведено на території промислового підприємства з великою кількістю електротехнічного обладнання (рис. 2).

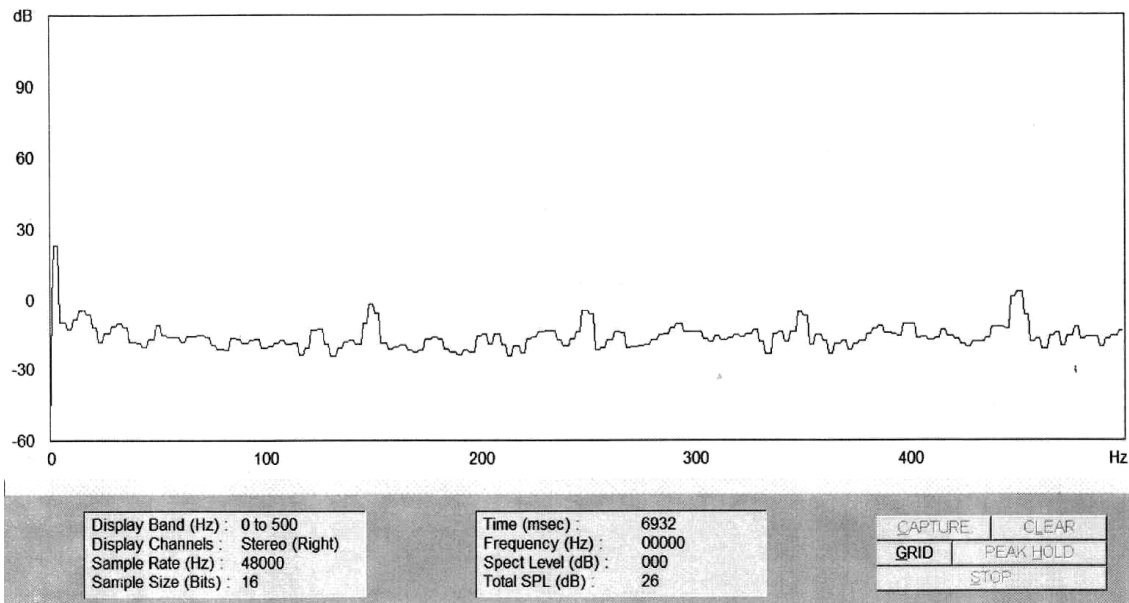


Рис. 1. Спектр магнітного поля на території житлової забудови

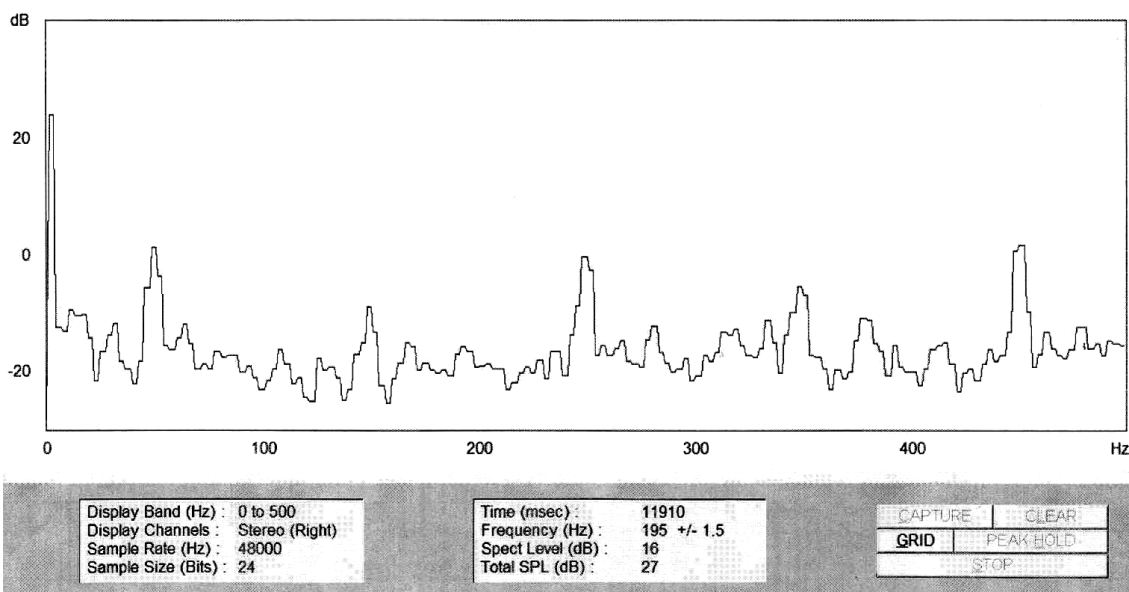


Рис. 2. Спектр магнітного поля на території промислового підприємства

Аналіз отриманих результатів свідчить, що навіть на великих відстанях від джерел магнітних полів на території міста спостерігається складний спектр магнітного поля. За очікуваних значних рівнів третьої гармоніки промислової частоти, аномально високою є шоста гармоніка, походження якої потребує з'ясування.

Найбільший інтерес представляють наявність канонічних інтергармонік промислової частоти 25, 75, 125 Гц. Вони свідчать про наявність нештатних процесів у силових електромережах.

Це може бути наслідком незадовільної якості електроенергії та наявності великої кількості електроспоживачів з нелінійними вольт-амперними характеристиками, що притаманне сучасному обладнанню.

Запропонований метод визначення спектрального складу низькочастотного магнітного поля має суттєву перевагу. Розглядаючи спектри на рисунках 1 і 2 можна помітити, що в обох випадках спостерігаються високі значення магнітного поля частотою, близькою до нуля. Порівняння цих даних з вимірюваннями виконаними за допомогою магнітометра

МТМ – 01, призначеного для визначення напруженостей стаціонарних магнітних полів, довели, що зміни висот цих піків відповідають коливанням значень постійного магнітного поля. Тобто фактично геомагнітного поля в умовах його техногенного спотворення. Одночасне вимірювання значень низькочастотного електромагнітного поля та зміни стаціонарного магнітного поля серійними приладами неможливе. Але слід врахувати, що у загальному випадку наш пристрій непристосований до реєстрації магнітного поля нульової частоти. Тобто фактично стаціонарність геомагнітного поля, принаймні у зонах можливих техногенних впливів, дуже відносна і його слід вважати квазістаціонарним.

Але у запропонованих методи та методики є недоліки. Отримані дані достатні для пошуку джерел магнітних полів, але з'ясувати інтегральне електромагнітне навантаження на середовище досить складно через малу роздільну здатність обладнання. Для проведення таких робіт потрібно отримати «тонкий» спектр магнітного поля, що дозволить з обраним кроком прорахувати загальне навантаження відносно гранично допустимих рівнів для кожної частоти. Потребує з'ясування необхідність та достатність засобів захисту з урахуванням амплітуди екранованого поля.

Отримані дані також свідчать, що у разі потреби екранування такого магнітного поля захисна поверхня повинна мати потрібні коефіцієнти екрану-

вання в усій частотній смузі або принаймні для найбільш критичних частот.

Наведені результати стосуються рівнів електромагнітних полів за межами виробничих будівель та споруд, але з точки зору охорони праці такі поля є факторами зовнішніх впливів на електромагнітну обстановку у виробничому середовищі. Такі дані є обов'язковими для формування комплексу заходів з охорони праці електромагнітної безпеки.

Досвід проведення досліджень з електромагнітної безпеки працюючих свідчить, що визначення напруженості електричного або магнітного поля у визначеному діапазоні як інтегрального показника не дає змоги розробити та застосувати відповідні заходи захисту. Але такий підхід використовується для визначення рівнів електромагнітних полів персональних комп'ютерів (фіксовані смуги частот 5 Гц – 2000 Гц, 2 кГц – 400 кГц). Для низькочастотної смуги 5 Гц – 2000 Гц гранично допустимі рівні складають електричне поле 25 В/м, магнітне поле 250 нТл. Однак визначення спектрів цих полів у наведеному діапазоні свідчить, що існують переважні частоти, поля яких дають найбільш суттєвий внесок у сумарне поле.

На рис. 3 наведено приклад спектрального складу електричного поля на робочому місці, оснащеному сучасним стаціонарним персональним комп'ютером, отриманого за допомогою повіреного спектроаналізатора Spectran NF 5030..

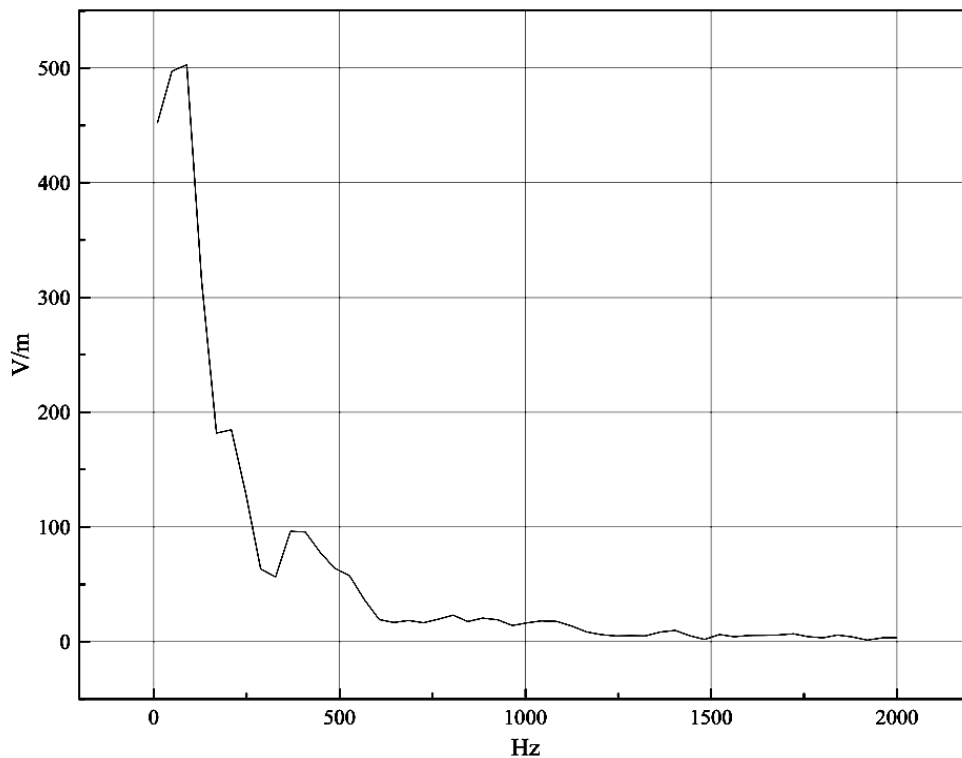


Рис. 3. Спектр електричного поля на робочому місці користувача персонального комп'ютера

Розглядаючи наведений спектр можна дійти висновку, що основний внесок у сумарне електрич-

не поле дають поля промислової частоти та її третьої та дев'ятої гармонік. Як показано нами у роботі

[7], такі поля є наслідком нештатних процесів у системах електроживлення будівель (перенос фаз або велика кількість електроспоживачів з нелінійними вольт-амперними характеристиками). Тобто, сама комп'ютерна техніка не має відношення до перевищення гранично допустимих рівнів полів.

Звичайно, сам персональний комп'ютер є нелінійним електро-споживачем і впливає на синусоїда-

льність напруги живлення та появу некомпенсованих електричних струмів частот гармонік промислової частоти, кратних трьом, у нульових робочих провідниках трифазної силової мережі. Але засоби уникнення такого явища не мають відношення до захисту працівника безпосередньо на робочому місці.

Аналогічна картина спостерігається для магнітної складової магнітного поля (рис. 4).

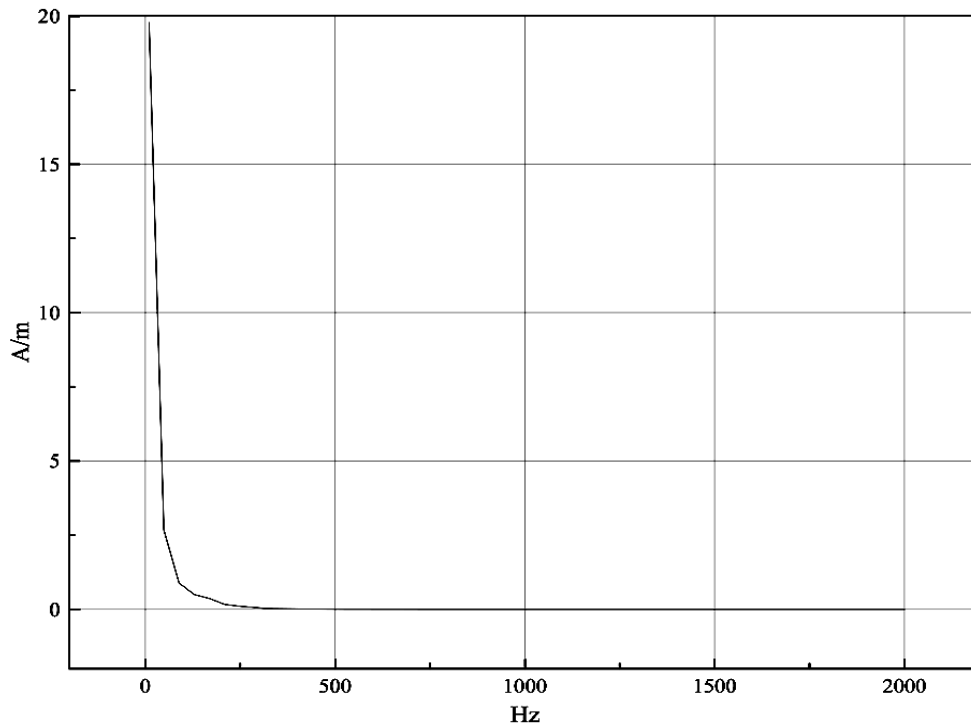


Рис. 4. Спектр магнітного поля на робочому місці користувача персонального комп'ютера

Як видно з рис. 4, суттєвими є частоти 50 та 150 Гц. А зростання напруженості магнітного поля на частотах, близьких до нуля, свідчить про реєстрацію приладом геомагнітного поля. Реєстрація спектрального складу електромагнітного поля дозволяє

визначити частотну залежність ефективності засобів захисту, зокрема електромагнітних екранів.

На рис. 5 наведено спектр магнітного поля стабілізатора живлення перед і за магнітними екраном.

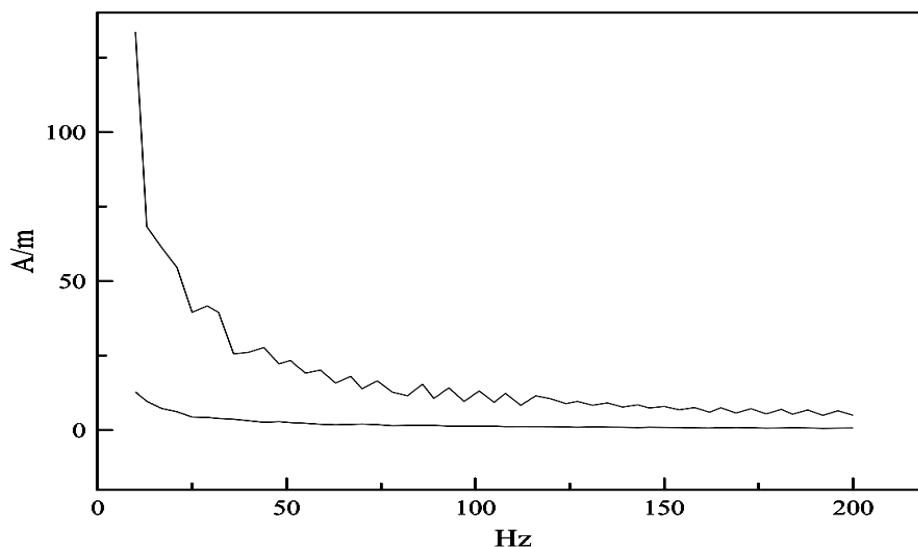


Рис. 5. Частотна залежність ефективності магнітного екрана: верхня крива – вихідне магнітне поле, нижня – екрановане магнітне поле

У наведеному випадку в якості магнітного екрана використовувався тонкий шар магнітних наночастинок розмірами не більше 10 нм.

Це шар стримувався осадженням частинок на поверхню з розчину.

Отримані результати свідчать, що сучасне технологічне обладнання, поряд з низкою переваг – висока ефективність, низьке енергоспоживання, тощо може мати несприятливий вплив на електромагнітну обстановку як у виробничому середовищі, так і на територіях підприємств у цілому. Це пояснюється широкою електромагнітним спектра, який генерується технологічним електричним та електронним обладнанням, засобами бездротового зв'язку, електричним транспортом тощо. У таких умовах ефективним методом дослідження фактичних рівнів електромагнітних полів є отримання їх спектрів та визначення критичності рівня поля на кожній з частот. Це надасть змогу не тільки ідентифікувати джерела електричних та магнітних полів, а й визначити адекватні засоби і заходи з їх нормалізації.

Висновки

1. Розроблені метод і методика реєстрацій спектра низькочастотного магнітного поля промислової частоти, його гармонік та інтергармонік, а також оцінений рівень електромагнітного поля в умовах його техногенних спотворень. Такий підхід дозволяє ідентифікувати джерела магнітного поля з визначенням критичності їх внеску у загальну електромагнітну обстановку.

2. Для коректного визначення інтегрального електромагнітного навантаження на виробниче середовище (довкілля) за нормативними вимогами потрібне отримання відповідного спектра з більш високою роздільною здатністю.

3. Виконання таких робіт є обов'язковим для коректного визначення електромагнітного навантаження на виробниче середовище і розроблення ефективних заходів з охорони праці.

Список літератури

1. *Электромагнитная безопасность транспортных систем: основные источники и параметры магнитных полей* / Н.Г.Тицына, Ю.А.Копытенко, В.С.Исмаилов, А.Г.Коробейников // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. – 2013. – № 2. – С. 65 - 71.
2. *Лелюхин А.М. Разработка методов оценки электромагнитных полей на объектах транспорта: дис... канд. техн. наук: 05.22.01/ Лелюхин Антон Михайлович*. – М., 2010. – 198 с.
3. *Никифорок О.І. До питання дії ослаблення геомагнітного поля на транспортних засобах* / О.І. Никифорок, Л.О. Левченко // *Гігієна населених місць*. – 2014. – Вип..63 – С. 168 - 17.
4. *Глива В.А. Електричний транспорт як фактор електромагнітного забруднення міста* / В.А. Глива, В.О. Панова, В.О. Кружилко // *Екологічна безпека та природокористування*. – 2015. – Вип.. 19 – С.13 - 18.
5. *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. 128- 133.
6. *Метод синтезу замкнених систем активного екранування магнітного поля повітряних ліній електропередачі* / Б.І. Кузнецов, А.М. Туренко, Т.Б. Нікітіна та ін. // *Технічна електродинаміка*. – 2016. – № 4. – С.8-10.
7. *Глива В.А. Джерела гармонік магнітного поля у будівлях і спорудах та мінімізація їх рівнів* / В.А. Глива, В.Г. Здановський, Л.О. Левченко, Т.М. Перельот // *Проблеми охорони праці в Україні*. – 2015. – Вип..29 – С. 48 - 58.

Надійшла до редколегії 25.10.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М.І. Адаменко, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В УСЛОВИЯХ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ

В.А. Глыва, К.Д. Николаев, В.П. Колумбет, Л.А. Левченко

Разработана методика и исследован спектральный состав низкочастотного магнитного поля на территории современных промышленных предприятий. Зарегистрированы низкочастотные колебания стационарного магнитного поля и наличие гармоник и интергармоник магнитного поля промышленной частоты. Определена необходимость повышения разрешающей способности оборудования для расчета интегральной электромагнитной нагрузки на окружающую среду.

Ключевые слова: электромагнитное поле, электромагнитная безопасность, частота, спектр.

METHODOLOGY OF INVESTIGATION OF LOW-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELDS IN CONDITIONS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES

V.A. Glyva, K.D. Nikolaev, V.P. Kolumbet, L.O. Levchenko

The technique has been developed and the spectral composition of the low-frequency magnetic field in the territory of modern industrial enterprises was investigated. Low-frequency oscillations of the stationary magnetic field and the presence of harmonics and interharmonics of the magnetic field of the industrial frequency were registered. The necessity of increasing the resolving power of the equipment for calculating the integrated electromagnetic load on the environment is determined.

Keywords: electromagnetic field, electromagnetic safety, frequency, spectrum.