МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ В. Н. КАРАЗІНА
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ КОМП'ЮТЕРНОЇ ФІЗИКИ ТА ЕНЕРГЕТИКИ
Кафедра фізика нетрадиційних енерготехнологій та екології

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи
за освітньо-кваліфікаційним рівнем магістр

«Проведення моніторингу електромагнітного фонового поля території Київського району м. Харкова»

Виконав: студент 2 курсу, групи НФ-61
Журавльов О.Г.
спеціальність:
105 Прикладна фізика та наноматеріали
освітня програма: Прикладна фізика нетрадиційної енергетики
Керівник:
професор, доктор ф.-м. наук.
Пеліхатий М.М.
Рецензент:

Харків – 2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна

Навчально-науковий інститут комп'ютерної фізики та енергетики

Кафедра фізика нетрадиційних енерготехнологій та екології

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) магістр

Спеціальність 105 Прикладна фізика та наноматеріали

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ прроф. Ткаченко В.І.

підпис

"____" _____2020 року

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ)

Журавльова Олександра Григорійовича

1.Тема роботи " Проведення моніторингу електромагнітного фонового поля території Київського району м. Харкова "

керівник роботи: Пеліхатий М.М, професор, доктор ф.-м. наук.

затверджені наказом по університету від "23" жовтня 2020 року №0210-05/1907

2.Строк подання студентом роботи _____

3.Перелік питань, які потрібно розробити:

1) Обрати певну територію для проводження вимірювання, та скласти мапу;

2)Провести вимірювання електромогнітного фону. Проаналізувати отримані д ані та їх результат. З цього зробити висновки;

4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Вибір теми, узгодження, а також затвердження її на кафедрі
2	Робота над літературою та іншими джерелами
3	Затвердження теми на кафедрі
4	Написання вступу до роботи та першого розділу
5	Написання другого розділу
6	Написання третього розділу
7	Завершення написання дипломної роботи(висновки та література)
8	Подача науковому керівнику
9	Відгук, рецензія, підготовка до захисту
10	Попередній захист
11	Захист

5. Дата видачі завдання _____

Студент _____ О.Г.Журавльов
підпис

Керівник роботи _____ М.М.Пеліхатий
підпис

РЕФЕРАТ

Журавльов Олександр Григорійович «Проведення моніторингу електромагнітного фонового поля території Київського району м. Харкова»

Кваліфікаційна робота магістра з прикладної фізики.

Дипломна робота представлена на 43 сторінках; складається з вступу, 3 розділів та висновку; містить 12 рисунків, 8 таблиць список використаної літератури з 18 найменувань.

Мета даної роботи – розробка пілотного проекту методики вимірювання рівня напруженості електричного поля (ЕП) в діапазоні промислових частот уздовж основних транспортних артерій м. Харкова з метою визначення екологічної обстановки за цим ендогенним фактором.

Об’єкт дослідження – Фонове електромагнітне поле території Київського району м. Харкова.

В ході виконання роботи була розроблена проста модель для встановлення координат перетину маршруту досліджень з підземними джерелами електромагнітного поля.

Предмет дослідження – напруженість електричного поля.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ ПОЛЕ, НАПРУЖЕНІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ.

РЕФЕРАТ

Журавлёв Александр Григорьевич «Проведение мониторинга электромагнитного фонового поля территории Киевского района. Харькова»

Квалификационная работа магистра прикладной физики.

Дипломная работа представлена на 43 страницах; состоит из введения, 3 глав и заключения; содержит 12 рисунков, 8 таблиц список использованной литературы из 18 наименований.

Цель данной работы - разработка пилотного проекта методики измерения уровня напряженности электрического поля (ЭП) в диапазоне промышленных частот вдоль основных транспортных артерий м. Харькова с целью определения экологической обстановки за этим эндогенным фактором.

Объект исследования - Фоновое электромагнитное поле территории Киевского района. Харьков.

В ходе выполнения работы была разработана простая модель для установления координат пересечения маршрута исследований с подземными источниками электромагнитного поля.

Предмет исследования - напряженность электрического поля.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ, НАПРЯЖЕННОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ.

ABSTRACT

Zhuravlyov Oleksandr Hryhoriyovych "Monitoring of the electromagnetic background field of the territory of Kyiv district of Kharkiv"

Qualifying work of the master in applied physics.

Thesis is presented on 43 pages; consists of an introduction, 3 sections and a conclusion; contains 12 figures, 8 tables list of references from 18 items.

The purpose of this work is to develop a pilot project of methods for measuring the level of electric field strength (ES) in the range of industrial frequencies along the main transport arteries of Kharkiv in order to determine the ecological situation by this endogenous factor.

Object of research - Background electromagnetic field of the territory of Kyiv district of Kharkiv.

During the work, a simple model was developed to establish the coordinates of the intersection of the research route with underground sources of electromagnetic fields.

The subject of research - the electric field strength.

KEY WORDS: ELECTROMAGNETIC FIELD, ELECTRIC FIELD VOLTAGE.

ЗМІСТ

ВСТУП 9

Розділ 1 10

1.1 Захист від електромагнітних полів промислової частоти і радіочастот 10

1.2 Джерела ЕМП промислової частоти, розрахунок напруженості електричного поля від високовольтних ліній електропередач і апаратів 11

1.3 Характеристики джерел електромагнітних полів радіочастот 12

Розділ 2 14

2.1 Світові стандарти 14

2.2 Методика вимірювання і результати 16

Розділ 3 24

3.1 Обробка результатів 24

3.2 Розрахунки 26

ВИСНОВОК 39

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 40

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА АБРЕВІАТУР

ЕП – електричне поле

ЕМП – електромагнітне поле

ЛЕП – лінія електропередач

ВСТУП

Широке застосування хвильових електромагнітних процесів в повсякденному житті привело до того, що до природних електромагнітних полів (ЕМП), які супроводжували зародження і розвиток життя на Землі, додалися штучні, навмисно створювані самими різними випромінюючими пристроями, в першу чергу, лініями електропередач (ЛЕП), підземними електричними кабелями, антенами радіо передаючих пристроїв систем радіозв'язку, телебачення і радіомовлення, а також антенами стільникового зв’язку

Загальновідомо, що електромагнітні хвилі (ЕМХ) є біологічно активним чинником [1,2]. Виявлено несприятливий вплив радіочастотних випромінювань на навколишнє середовище і, в тому числі, на людину [3]. В екології сформувався новий напрям – електромагнітна екологія з рядом специфічних проблем: біофізичних, медико-біологічних, а також науково-технічних [4]. Електромагнітна екологія – це розділ екології, що вивчає взаємодію людини і навколишнього середовища з електромагнітними полями.

В ході виконання дипломної роботи було виконані такі завдання:

- Дослідження напруженості електричного поля на території Київського району м.Харкова;
- Проведена статистична обробка отриманих результатів;
- Дослідження залежності напруження електричного поля від метеофакторів;
- Розроблено модель для пошуку підземних кабелів та місць їх пошкоджень.

Розділ 1

1.1 Захист від електромагнітних полів промислової частоти і радіочастот

Промисловими джерелами електромагнітних полів є високовольтні лінії електропередач, високочастотні установки для нагрівання матеріалів, радіо- та електронне обладнання, антени тощо.

Електромагнітне поле (ЕРС) - це особлива форма речовини, завдяки якій відбувається взаємодія між зарядженими частинками. Змінна ЕРС - це поєднання магнітного та електричного полів. Електричне поле створюється за наявності напруги на живих частинах і магнітний - коли струм проходить через ці частини.

ЕРС має енергію і поширюється у вигляді електромагнітних хвиль. Швидкість поширення електромагнітних хвиль у повітрі v дорівнює швидкості світла $3 \cdot 10^8$ м/с. Довжина хвилі залежить від частоти:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

де λ - довжина хвилі, м;

v - швидкість поширення вібрації, м / с;

f - частота вібрації, Гц.

Електромагнітні поля частоти потужності (50 Гц) мають довжину хвилі $6 \cdot 10^3$ км. РЧ ЕРС поділяються на три діапазони: високочастотні (ВЧ), надвисокі частоти (УВЧ), надвисокі частоти (УВЧ) (табл. 2.1).

Область поширення електромагнітних хвиль від джерела випромінювання умовно розділений на три зони: близьку (з радіусом менше 1/6 довжини хвилі), середню та велику (розташовані на відстані більше 1/6 довжини хвилі) хвилі від джерела).

Таблиця 1.1

Високочастотні смуги

Назва діапазону	Частота коливань	Довжина хвилі
Високі частоти	30 кГц...30 МГц	10 км...10 м
Ультрависокі частоти	30 МГц...300 МГц	10 м...1 м
Надвисокі частоти	300 МГц...300 ГГц	1 м...1 мм

У ближній і проміжній зонах електромагнітна хвиля ще не сформована, тому інтенсивність ЕМП в цих зонах оцінюється окремо напруженістю електричної Е (В / м) і магнітної Н (А / м) складових поля.

У далекій зоні впливу ЕМП оцінюється щільністю потоку енергії:

$$П = E \cdot H$$

де П - щільність потоку енергії, Вт/м^2

Е - напруженість електричної складової ЕМП, В / м;

Н - напруженість магнітної складової ЕМП, А / м;

Персонал, який обслуговує високовольтні електроенергетичні установки, знаходиться в ближній зоні ($1<1/6\lambda$) і посмикати впливу ЕМП, причому основний вплив надає електрична складова поля.

1.2 Джерела ЕМП промислової частоти, розрахунок напруженості електричного поля від високовольтних ліній електропередач і апаратів

Джерелами ЕМП промислової частоти (50 Гц) є лінії електропередач (ЛЕП) напругою понад 330 кВ, високовольтні відкриті розподільні пристрої (комутаційні апарати, пристрої захисту та автоматики, вимірювальні прилади, сполучні шини). Небезпечною зоною впливу ЛЕП 600 кВ є простір на відстані до 20 м від найближчих проводів, а у ЛЕП 750 кВ - до 30 м.

1.3 Характеристики джерел електромагнітних полів радіочастот

Високочастотна (ВЧ) ЕРС, ультрависока частота (ДВЧ) і надвисокі частоти (УВЧ) - це радіо- та електронне обладнання використовується для радіозв'язку, радіолокації та радіотелеметрії (генератор високих та надвисоких частот, відкриті кінці хвилеводу, антени). ВЧ та УВЧ робочі станції вони знаходяться в близькій зоні і на них впливають як електричні, так і магнітні компоненти поля.

Робочі місця служби мікрохвильової печі практично знаходяться в віддалена зона. У цій зоні впливу ЕРС оцінюється відповідно до щільності потоку енергії.

ЕРС від джерела, як правило, рівномірно розподіляється у всіх напрямках. У цьому випадку щільність потоку енергії розраховується за формулою:

$$П = \frac{P_И}{4 \cdot \pi \cdot r^2},$$

де П - щільність потоку енергії, Вт/м^2

$P_И$ - потужність випромінювання від джерела, Вт;

r - відстань від джерела випромінювання, м.

Якщо випромінювання спрямоване, то картина зберігається перспектива:

$$П = \frac{P_И \kappa_н}{4 \cdot \pi \cdot r^2}$$

де $\kappa_н$ - коефіцієнт напрямку випромінювання.

Найбільш небезпечними є антени радіолокаційних станцій (РЛС), оскільки мають високий коефіцієнт концентрації енергії в певному напрямку

(коефіцієнт посилення антени), що досягає десятків тисяч одиниць. Однак в інших напрямках їх випромінювання може досягати декількох $Вт/м^2$.

Розділ 2

2.1 Світові стандарти

Відповідно до Декларації керівних засад використання мовлення через супутники для вільного поширення інформації, розвитку освіти і розширення культурних обмінів (Париж, 15 листопаду 1972 року) і ч. 2 ст. 44 Статуту Міжнародного союзу електрозв'язку, радіочастоти є обмеженими природними ресурсами, що належать усім народам і їх використання регулюється Конвенцією Міжнародного союзу електрозв’язку та її Регламентом радіозв'язку. Статут Міжнародного союзу електрозв'язку і Конвенція Міжнародного союзу електрозв'язку (Женева, 22 грудня 1992 року) ратифіковані Законом України від 15 липня 1994року, електромагнітний спектр до 3 ТГц ділиться на 12 частотних діапазонів. За регламентом Міжнародного союзу електрозв'язку, радіохвилі поділено на ддіапазони з границями від 0.3·10N Гц до 3·10N Гц шириною в одну декаду, де N — номер диапазону [5]. Ці діапазони наведено в табл. 1.

Таблиця 2.1.

Частотні діапазони електромагнітного випромінювання

Номер діапазону	Діапазон частот	Вид радіохвиль	Вид радіочастот
1.	3 – 30 Гц	декамегаметрові	вкрай низькі
2.	30 – 300 Гц	мегаметрові	наднизькі
3.	0,3 – 3 кГц	гектокілометрові	інфранизькі
4.	3 – 30 кГц	міріаметрові	дуже низькі
5.	30 – 300 кГц	кілометрові	низькі
6.	0,3 – 3 МГц	гектометрові	середні
7.	3 – 30 Мгц	декаметрові	високі

8.	30 – 300 МГц	метрові	дуже високі
9.	0,3 – 3 ГГц	дециметрові	ультрависокі
10.	3 – 30 ГГц	сантиметрові	надвисокі
11.	30 – 300 ГГц	міліметрові	вкрай високі
12.	300 – 3000 ГГц	децимілiметрові	гіпервисокі

Підраховано, що людство використовує мільярди тонн мінерального сировини, палива, води, біомаси, атмосферного кисню, а в корисний продукт переходить лише один відсоток витрачених природних ресурсів [6]. Це в повній мірі відноситься і до електромагнітного поля. Наведемо такий гіпотетичний приклад. Технічні засоби радіозв'язку, радіомовлення і телебачення випромінюють величезну кількість електромагнітної енергії. Потужності передавачів змінюються від міліват (наприклад, потужність передавача радіотелефонного трубки) до сотень кіловат і навіть одиниць мегават (радіомовні передавачі НЧ і СЧ діапазонів). Електромагнітна енергія, яку випромінюють телекомунікаційні засоби, має цілком певне призначення – вона повинна впливати на вхідні кола приймальних пристроїв. Якщо припустити, що для нормальної роботи кожного приймального пристрою необхідна потужність 1 мВт, то неважко підрахувати, що для повного вилучення з навколишнього середовища електромагнітної енергії одного передавача потужністю 100 кВт необхідно мати 100 млн. приймачів. Таких передавачів тільки в Україні навіть сотні тисяч.

Що ж відбувається з електромагнітної енергією? На що вона йде? Як проявляється її дія? Частина її йде в космічний простір, а решта розсіюється (поглинається) навколишнім середовищем: атмосферою, оточуючими предметами, в тому числі і біологічними об'єктами [7].

Слід враховувати, що електромагнітну енергію випромінюють і багато інших технічних засобів, основні функції яких позпосередньо не пов’язані з

навмисним процесом випромінювання, наприклад, енергетичні установки, електрифікований транспорт, лінії електропередач (ЛЕП), побутові прилади, комп'ютери і т.і.

Рівень електромагнітного забруднення поки не набув глобально небезпечного характеру, якщо не брати до уваги, що в останнє сторіччя з’явився і постійно зростає рівень радіофону, під яким розуміють сумарний ефект від усіх випромінюючих засобів Земної кулі. Але, все ж таки, електромагнітне випромінювання високого рівня переважно локалізовано поблизу джерел і існує тільки в періоди роботи випромінюючих технічних засобів [8].

2.2 Методика вимірювання і результати

В останні кілька десятиліть застосування пристроїв, які випромінюють електромагнітні поля (ЕМП), значно зросла. Початок освоєння людиною ЕМП пов'язаний з використанням діапазону довгих хвиль, що було обумовлено розвитком радіозв'язку і радіомовлення в цьому діапазоні. Потім бурхливими темпами стало розвиватися телебачення, і діапазон використовуваних довжин хвиль став розширюватися в бік їх укорочення. З розвитком радіолокації і радіонавігації активно стали освоюватися діапазони метрових, дециметрових і сантиметрових хвиль. Що ж казати про стільникові телефонні мережі. В наш час важко назвати таку галузь науки, техніки, народного господарства, де б не використовувалася радіоелектронна апаратура, в тому числі випромінює ЕМП.

У розвитку технічних засобів, що випромінюють електромагнітну енергію, існує три стійкі тенденції, які змушують звертати щільну увагу на питання електромагнітної екології [9]. Перша – збільшення кількості випромінюючих засобів за рахунок технічного освоєння і більш щільного заповнення частотних діапазонів, розширення мережі радіозв'язку і радіомовлення, збільшення каналів телевізійного мовлення та інших служб. Друга – збільшення енергетичних потенціалів технічних коштів шляхом

збільшення потужностей приладів і передавачів, збільшення ефективності передавальних антен засобів телекомунікації та їх територіальної концентрації. Третя – впровадження складної електронної побутової техніки, персональних комп'ютерів і інших досягнень нових технологій.

В наш час спостерігається погіршення екологічної ситуації саме за електромагнітним фактором. Це слід пов'язувати, в першу чергу, з переважанням відомчих, чисто комерційних і споживчих підходів до питань використання ЕМП. Випромінюючі технічні засоби і об'єкти розміщуються на дахах житлових будинків і поблизу зон масового перебування людей без аналізу вже існуючої електромагнітної обстановки, прогнозування ЕМП розміщених засобів. Як правило, для розміщення випромінюючих технічних засобів використовуються одні й ті ж зручні з точки зору обслуговування місця установки антен (щогли, вежі, висотні будівлі і т.і.). Незважаючи на регламентації та обмеження щодо використання технічних засобів, випромінюючих в довкілля ЕМП, в комерційних цілях іноді реалізується несертифікована за гігієнічними параметрами і параметрами електромагнітної сумісності та безпеки апаратура.

Основними джерелами електромагнітного випромінювання, що діють на людину є [9]:

- передавальні теле-і радіостанції (мобільні телефони, радіотелефони та Wi-Fi роутери);
- лінії електропередач;
- енергетичні установки та трансформаторні підстанції;
- електропроводка та різні електроприлади (телевізор, комп’ютер, мікрохвильова піч, фен, електрична піч, холодильник, пральна машина, кондиціонер, настільна лампа, електрочайник, праска і т.і.).

В Україні на даний момент діють «Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань», затверджені Наказом Міністерства охорони здоров'я України від 01.08.96 № 239 (ДСН 239-

96), з доповненнями, затвердженими Наказом Міністерства охорони здоров'я України від 13.03.2017 № 266 [10].

Згідно цих норм, за граничний допустимий рівень (ГДР) прийняті такі значення напруженості електричного поля (ЕП):

- всередині житлових будинків – 0,5 кВ/м;

- на території зони житлової забудови – 1 кВ/м;

- у населеній місцевості, поза зоною житлової забудови (землі в межах міста з урахуванням перспективного розвитку на 10 років, приміські та зелені зони, курорти, землі селищ міського типу, в межах селищної межі і сільських населених пунктів, в межах цих пунктів), а також на території городів і садів – 5 кВ/м;

- на ділянках перетину ЕП з автомобільними шляхами I - IV категорій – 10 кВ/м;

- у ненаселеній місцевості (незабудована територія, яку відвідують люди, доступна для транспорту, та сільськогосподарські угіддя) – 15 кВ/м;

- у важкодоступній місцевості (не доступній для транспорту та сільськогосподарських машин) та на ділянках, спеціально відгороджених для виключення доступу населення – 20 кВ/м.

Ці гранично допустимі рівні встановлені для ЕП, які не є викривленими присутністю людини.

Важливо, що, згідно ДСН 239-96, напруженість ЕП визначається на висоті 1,8 м від рівня землі, для приміщень – від рівня підлоги.

Причому контроль за дотриманням ГДР напруженості ЕП слід здійснювати:

– при прийманні в експлуатацію нових будинків, споруд та зон відпочинку і праці людей поблизу ЛЕП;

– після проведення заходів щодо зниження рівнів ЕП ЛЕП.

З метою захисту населення від впливу ЕП встановлюються санітарно-захисні зони. Санітарно-захисною зоною вважається територія, на якій напруженість ЕП перевищує 1 кВ/м.

Санітарно-захисна зона для ЛЕП встановлюється у вигляді земельної ділянки, межі якої регламентуються по обидві сторони від неї на певній відстані від проекції крайніх фазних проводів на землю, в перпендикулярному до передаючої лінії (ПЛ) напрямку:

20 м для ПЛ напругою 300 кВ;

30 м для ПЛ напругою 500 кВ;

40 м для ПЛ напругою 750 кВ;

55 м для ПЛ напругою 1150 кВ.

В якості приладу, рекомендованого для вимірювання рівнів ЕМП низькочастотного діапазону, ДСН 239-96 рекомендують наступний:

Таблиця 2.2.

Перелік приладів, рекомендованих для вимірювання рівняння ЕМП радіочастотного діапазону згідно ДСН 239-96

№ з/п	Найменування, тип частот параметр	Призначення	Робочий діапазон	Вимірювання	Межі вимірювання	Похибка
1.	Вимірювальний прилад напруженості ближнього поля № FM-1 (Німеччина)	Широкосмужне вимірювання електричних і магнітних високочастотних полів на робочих місцях і	За Е: 50 Гц	Напруженість	2:40 кВ/м	20 %

		розподілу поля передавальних антен у ближній зоні.				

Вочевидь, що даний прилад має досить високий поріг і високу похибку вимірювання, тому питання про його застосування при проведенні екологічного моніторингу ЕМП залишається відкритим.

У м. Харкові екологічний моніторинг ЕМП проводить лише Державне Підприємство «Харківський обласний лабораторний центр МОЗ України», але тільки на платній основі згідно наступного прейскуранту [11]:

680	Визначення рівня напруженості електромагнітного поля промислової частоти, постійного магнітного поля або електростатичного поля (напруженість) в одній точці	136,99 грн.
681	Визначення рівня напруженості електромагнітного випромінювання, щільності потоку енергії в одній точці	136,99 грн.

При цьому взагалі відсутня міська комплексна програма проведення цих важливих екологічних досліджень. Тому вкрай актуальним є розробка методик проведення дослідження ЕМП особливо промислової частоти.

2.3 Методика вимірювання і результати

Ціллю даної роботи є розробка пілотного проекту методики вимірювання рівня напруженості електричного поля (ЕП) в діапазоні промислових частот уздовж основних транспортних артерій м. Харкова з

метою визначення екологічної обстановки за цим ендогенним фактором.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження проводилися напротязі жовтня 2020 р. на частині території Київського району м. Харкова вздовж маршруту, що починався на перетині вул. Сумської та Динамівський, потім проходив вздовж вул. Весніна, далі по Журавлівському узвозу до вул. Шевченка (у районі станції метро «Київська»). Схема маршруту наведена на рисунку 1, де показані усі 10 постійних точок спостережень із зазначенням у дужках відстані в метрах кожної точки від початкової. Загальна протяжність маршруту складала 3150 м.



Рис. 2.1. Схема маршруту проведення спостережень

Вимірювання проводилися з 9-ї до 10-ї години ранку за допомогою сучасного вимірювача напруженості електричного поля VX 0100 (фірми Chauvin Arnoux, Франція), опис і технічні характеристики якого наведено у Додатку. Вимірювання у кожній точці проводилися відповідно на висоті 1 м і 2 м від рівня землі. Використовувався діапазон промислових частот: 5 Гц –

3 кГц (тобто, вкрий низькі – інфранизькі частоти згідно таблиці 1). За час проведення кожного вимірювання (1 хвилина) мікропроцесор вимірювача сам створював випадкову вибірку з даних вимірювань і виводив на дисплей середнє вибіркове значення модуля напруженості електричного поля в одиницях В/м. Використовувалися два діапазони напруженості ЕП: 1) від 1,0 до 200,0 В/м та 2) від 100,0 до 2000,0 В/м. Відносна похибка вимірювань на частоті 50 Гц складала 3 %. Вимірювач автоматично враховував присутність людини і виключав цей вплив на результати вимірювань.

Результати та їх обговорення. Результати вимірювань за кожен 5-ий день жовтня наведені в таблиці 2.

Таблиця 2.2.

Результати вимірювання напруженості ЕП в одиницях В/м

№ точки	Відстань, м	01.10.20	06.10.20	11.10.20	16.10.20	21.10.20	26.10.20
		Висота 2 м					
1	0	5	5	5	5	5	5
2	400	5	5	5	5	5	5
3	700	100	100	80	80	100	80
4	1000	60	80	100	60	60	60
5	1500	20	20	20	10	5	10
6	1750	5	5	5	5	5	5
7	2000	5	5	5	5	5	5
8	2500	5	5	5	5	5	5
9	2950	5	5	5	5	5	5
10	3150	5	5	5	5	5	5
№ точки	Відстань, м	01.10.20	06.10.20	11.10.20	16.10.20	21.10.20	26.10.20

		Висота 1 м					
1	0	5	5	5	5	5	5
2	400	5	5	5	5	5	5
3	700	400	200	200	400	300	400
4	1000	300	200	100	80	100	80
5	1500	40	20	40	60	80	60
6	1750	5	5	5	5	5	5
7	2000	5	5	5	5	5	5
8	2500	5	5	5	5	5	5
9	2950	10	20	10	5	10	10
10	3150	5	5	5	5	5	5
Температура, ^{o}C		14	13	13	12	3	7
Тиск, мм рт. ст.		761	770	763	761	772	767
Вологість повітря, %		50	44	71	93	90	84

Таблиця 2 також містить дані щодо метеоумов під час проведення вимірювань, а саме температуру і вологість повітря та атмосферний тиск. Ці дані були вилучені з сайту «Архів погоди» на потрібну дату та час [12].

Розділ 3

3.1 Обробка результатів

За даними таблиці 2 були побудовані відповідні графіки на рисунках 2 та 3. Графіки на рисунках 2 та 3 з метою більшої інформативності були розвернуті за датами на рисунках 4 і 5.

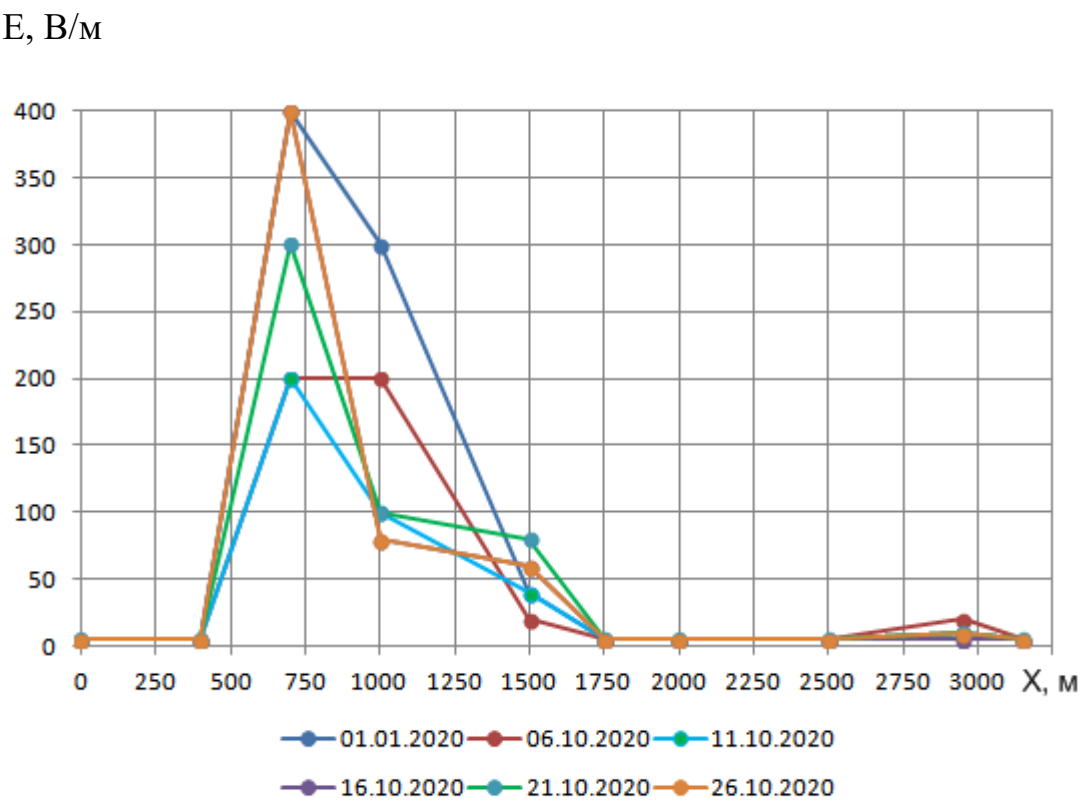


Рис. 3.1. Результати вимірювань напруженості ЕП на висоті 2 м від відстані *X* вздовж маршруту

E, В/м

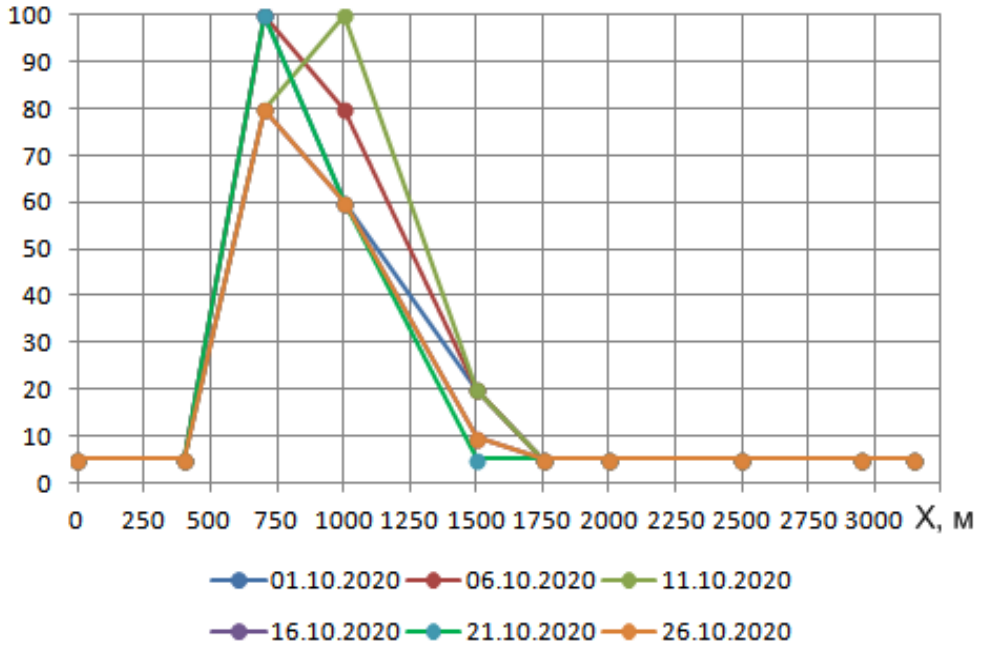


Рис. 3.2. Результати вимірювань напруженості ЕП на висоті 1 м від відстані *X* вздовж маршруту

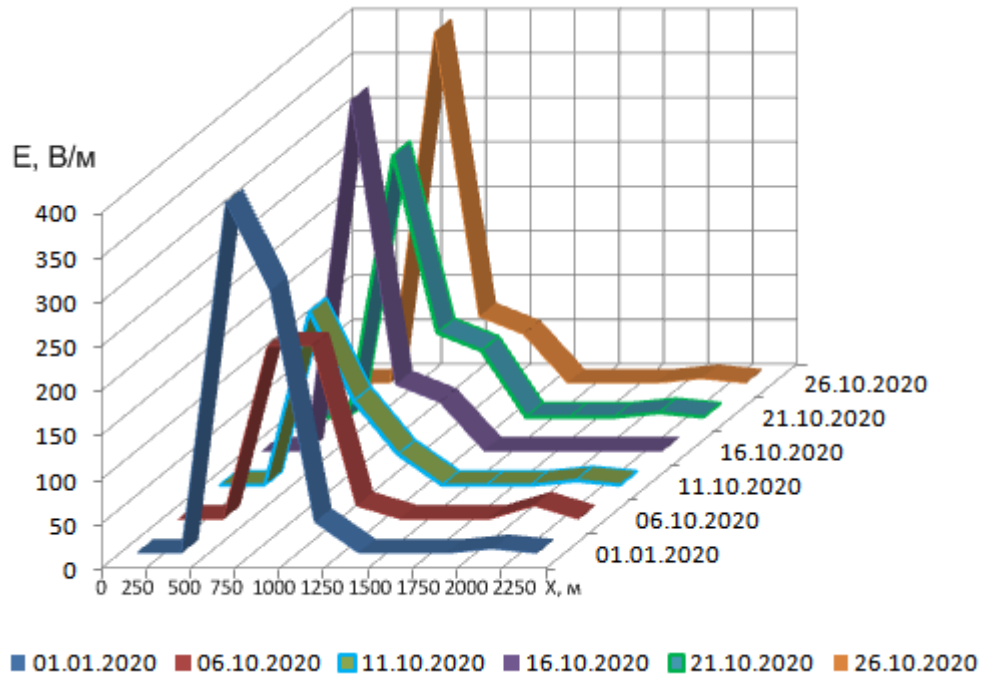


Рис. 3.3. Результати вимірювань напруженості ЕП на висоті 2 м від відстані *X* вздовж маршруту за різні дати

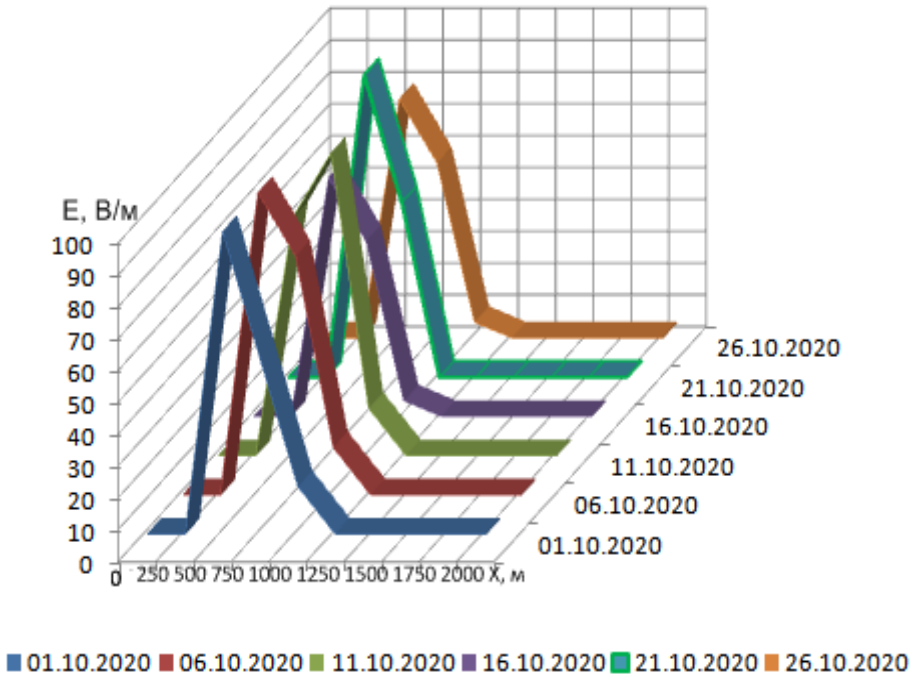


Рис. 3.4 Результати вимірювань напруженості ЕП на висоті 1 м від відстані *X* вздовж маршруту за різні дати

Графіки 2 –5 свідчать про те, що аномальні високі значення напруженості ЕП спостерігалися в точках 3, 4 і 5 (усі знаходилися на вул. Весніна). В інших точках спостережень напруженість знаходилася в межах фону – близько 5 В/м.

3.2 Розрахунки

Спочатку з'ясуємо, вплив яких з двох факторів є визначаючим для мінливості напруженості ЕМ: розташування точки вимірювання, чи дата проведення вимірювання. Для цього застосуємо двохфакторний дисперсійний

аналіз в межах ППП MS Excel «Аналіз даних» за допомогою інструменту «Двохфакторний дисперсійний аналіз без повторень» [13].

Двохфакторний дисперсійний аналіз проводиться для вивчення впливу на результативну ознаку (напруженість ЕП) одночасно двох чинників (наприклад, точки *A* і дати *B*). При побудові двохфакторних дисперсійних комплексів вибір чинників обмежений вимогою їх повної незалежності. Чинники можуть мати як кількісні, так і якісні градації. Необхідно, щоб для кожної градації першого чинника була підібрана однакова кількість однакових градацій другого чинника.

При дисперсійному аналізі двохфакторних комплексів взагалі розраховують шість вихідних дисперсій:

1. C_A – дисперсія по першому чиннику – це сума зважених квадратів центральних відхилень окремих середніх за градаціями першого чинника від загальної середньої по всьому комплексу.

2. C_B – дисперсія по другому чиннику – це сума зважених квадратів центральних відхилень окремих середніх за градаціями другого чинника від загальної середньої по всьому комплексу.

3. C_X – дисперсія по сумарному впливу обох чинників – це сума зважених квадратів центральних відхилень окремих середніх за усіма градаціями комплексу від загальної середньої по всьому комплексу.

4. C_{AB} – дисперсія по сполученням градацій обох чинників визначається як різниця: $C_{AB} = C_X - C_A - C_B$.

5. C_z – випадкова дисперсія по сумарному впливу неконтрольованих чинників – це сума квадратів центральних відхилень значень кожної ознаки від

окремої середньої своєї градації.

6. C_y – загальна дисперсія ознак по усьому комплексу – це сума квадратів центральних відхилень значень кожної ознаки від загальної середньої по усьому комплексу.

У двохфакторному комплексі сума загальної факторіальної і випадкової дисперсій завжди дорівнює загальній дисперсії: $C_y = C_x + C_z$, а сума трьох окремих дисперсій – по першому, другому чинникам та сполученням їх градацій – завжди дорівнює загальній факторіальній дисперсії: $C_x = C_A + C_B + C_{AB}$. Таким чином, з шести вихідних дисперсій досить розрахувати лише чотири, наприклад, C_A, C_B, C_{AB} та C_z.

Сила впливу чинника (або чинників) визначається як відношення окремої дисперсії до загальної: $\eta_i^2 = \frac{C_i}{C_y}$, де C_i – одна з дисперсій 1 – 5. Найчастіше сила впливу визначається у відсотках, для цього цю формулу треба помножити на 100 %.

Для розрахунків достовірності впливу чинника (або чинників) необхідно визначити кількість ступенів свободи: 1) для першого чинника: $\nu_A = r_A - 1$ (де $r_A -$ кількість градацій 1-го чинника); 2) для другого чинника: $\nu_B = r_B - 1$ (де $r_B -$ кількість градацій 2-го чинника); 3) для сполучення їх градацій: $\nu_{AB} = \nu_A \cdot \nu_B$; 4) для факторіального впливу: $\nu_x = r_A \cdot r_B - 1$; 5) для випадкового чинника: $\nu_z = n - r_A \cdot r_B$ (де n – об'єм вибірки); 6) для загального впливу усіх чинників: $\nu_y = n - 1$.

Достовірність впливу чинників визначається за формулою: $F_{Факт} = \frac{C_i}{C_z} \cdot \frac{n - r_A \cdot r_B}{\nu_i}$, де $i = A, B, AB, x$. Показник достовірності впливу

порівнюється із табличним значення критерію Фішера $F_{Teop}(\nu_1;\nu_2;p)$ для кількості ступенів свободи: $\nu_1=\nu_i$ і $\nu_2=n-r_A\cdot r_B$, а також для потрібного рівня значущості критерію p. Якщо $F_{Факт}>F_{Teop}(\nu_1;\nu_2;p)$, то вплив вважається достовірним.

Результати для висоти 2 м наведені в таблиці 3.

Таблиця 3.1.

Результати застосування двохфакторного дисперсійного аналізу (висота 2 м)

Двохфакторний дисперсійний аналіз без повторень				
Точки:	*Рахунок*	*Сума*	*Середнє*	*Дисперсія*
1	6	30	5	0
2	6	30	5	0
3	6	1900	316,6667	9666,667
4	6	860	143,3333	7906,667
5	6	300	50	440
6	6	30	5	0
7	6	30	5	0
8	6	30	5	0
9	6	65	10,83333	24,16667
10	6	30	5	0
Дати:				
1 жовтня	10	780	78	21223,33
6 жовтня	10	470	47	6540
11 жовтня	10	380	38	4156,667
16 жовтня	10	575	57,5	15234,72
21 жовтня	10	520	52	8845,556

26 жовтня	10	580	58	15178,89		
Дисперсійний аналіз						
Джерело варіації	*SS*	*df*	*MS*	*F фактичне*	*P-значення*	*F критичне*
Точки	559487,0833	9	62165,23	34,48285	2,64E-17	2,095755
Дати	9062,083333	5	1812,417	1,005342	0,425634	2,422085
Випадкові	81125,41667	45	1802,787			
Разом:	649674,5833	59				
Вплив факторів, %						
Точки	86,12					
Дати	1,39					
Випадкові	12,49					

Дані цієї таблиці свідчать про те, що на висоті 2 м напруженість ЕП змінювалася в основному (на 86,12 %) в залежності від розташування точки спостереження. З часом вона змінювалася несуттєво (на 1,39 %).

Так само проведемо двохфакторний дисперсійний аналіз і для висоти 1 м. Результати наведені в таблиці 4.

Таблиця 3.2.

Результати застосування двохфакторного дисперсійного аналізу (висота 1 м)

Двохфакторний дисперсійний аналіз без повторень				
Точки:	*Рахунок*	*Сума*	*Середнє*	*Дисперсія*
1	6	30	5	0
2	6	30	5	0
3	6	540	90	120
4	6	420	70	280

5	6	85	14,16667	44,16667
6	6	30	5	0
7	6	30	5	0
8	6	30	5	0
9	6	30	5	0
10	6	30	5	0
Дати:				
1 жовтня	10	215	21,5	1061,389
6 жовтня	10	235	23,5	1272,5
11 жовтня	10	235	23,5	1272,5
16 жовтня	10	185	18,5	761,3889
21 жовтня	10	200	20	1088,889
26 жовтня	10	185	18,5	761,3889

Дисперсійний аналіз

Джерело варіації	*SS*	*df*	*MS*	*F фактичне*	*P-значення*	*F критичне*
Точки	559487,0833	9	6000,417	137,8526	1E-29	2,095755
Дати	9062,083333	5	52,41667	1,204212	0,322612	2,422085
Випадкові	81125,41667	45	43,52778			
Итого	649674,5833	59				
Вплив факторів, %						
Точки	96,05					
Дати	0,47					
Випадкові	3,48					

Дані таблиці 4 також говорять про те, що на висоті 1 м напруженість ЕП змінювалася в основному (на 96,05 %) в залежності від розташування точки спостереження. З часом вона практично не змінювалася (на 0,4 %).

Проте дані таблиці 2 та рисунки 2 – 5 свідчать, що напруженість ЕП аномально збільшувалася в точках 3 – 5 до значень близько 400 В/м на висоті 2 м і близько 100 В/м на висоті 1 м. Тому в подальшому зосередимося на цих точках.

На рисунку 6 наведена мінливість напруженості ЕП в залежності від дати вимірювання на висоті 2 м.

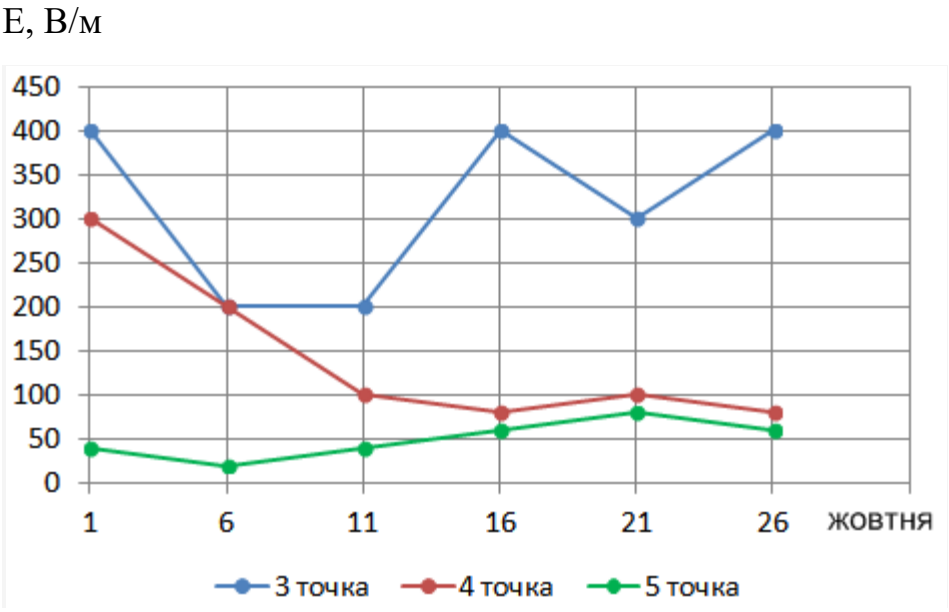


Рис. 3.5. Залежність напруженості ЕП від дати проведення вимірювання на висоті 2 м

Якщо побудувати для цих даних кореляційну матрицю за допомогою ППП MS Excel «Аналіз даних», застосовуючи інструмент «Кореляція», то отримаємо наступну таблицю 5:

Таблиця 3.3.

Кореляційна матриця для напруженості ЕП в точках 3 – 5

на висоті 2 м за весь період спостережень

Точки	3	4	5
3	1		
4	0,04	1	
5	0,48	–0,58	1

Бачимо, що кореляція завжди нижче за середню, тобто нема загальної тенденції зміни напруженості ЕП в точках 3 – 5. Лише між точками 4 і 5 кореляція трохи вище за середню (але від'ємна).

На рисунку 7 наведена мінливість напруженості ЕП в залежності від дати вимірювання на висоті 1 м.

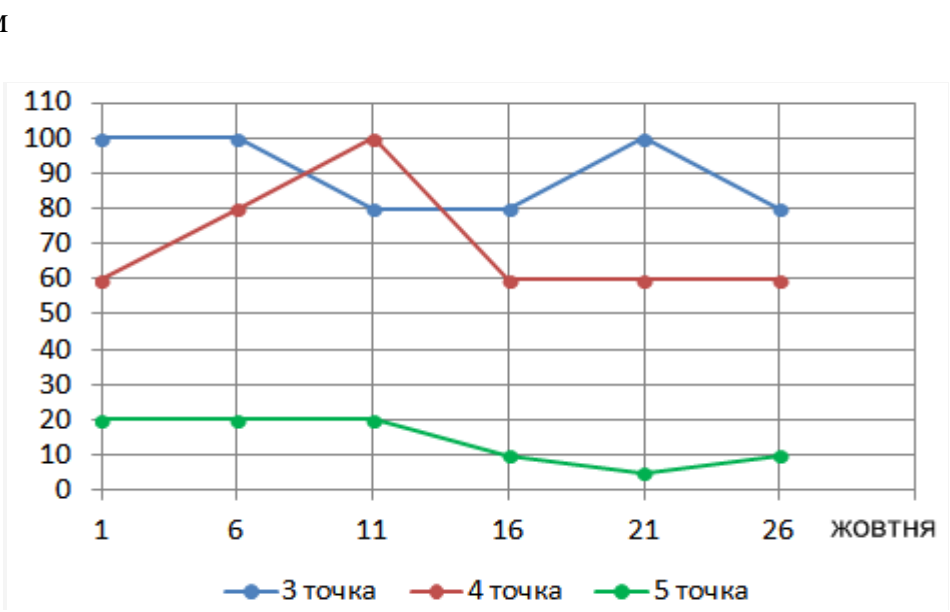


Рис. 3.6. Залежність напруженості ЕП від дати проведення вимірювання на висоті 1 м

Якщо побудувати для цих даних кореляційну матрицю, то отримаємо наступну таблицю 6:

Таблиця 3.4

Кореляційна матриця для напруженості ЕП в точках 3 – 5

на висоті 2 м за весь період спостережень

Точки	3	4	5
3	1		
4	–0,22	1	
5	0,14	0,63	1

Тобто і на висоті 1 м нема загальної тенденції зміни напруженості ЕП в точках 3 – 5. Лише між точками 4 і 5 кореляція трохи вище за середню (додатна).

Надалі досліджувалася залежність напруженості ЕП від температури повітря. Як відомо, напруженість ЕП залежить зворотно пропорційно від відносної діелектричної проникності середовища ε, а остання залежить від температури та вологості повітря і атмосферного тиску, але дуже слабо [13].

На рисунку 8 наведена залежність напруженості ЕП в точках 3 – 5 на висоті 2 м від температури повітря.

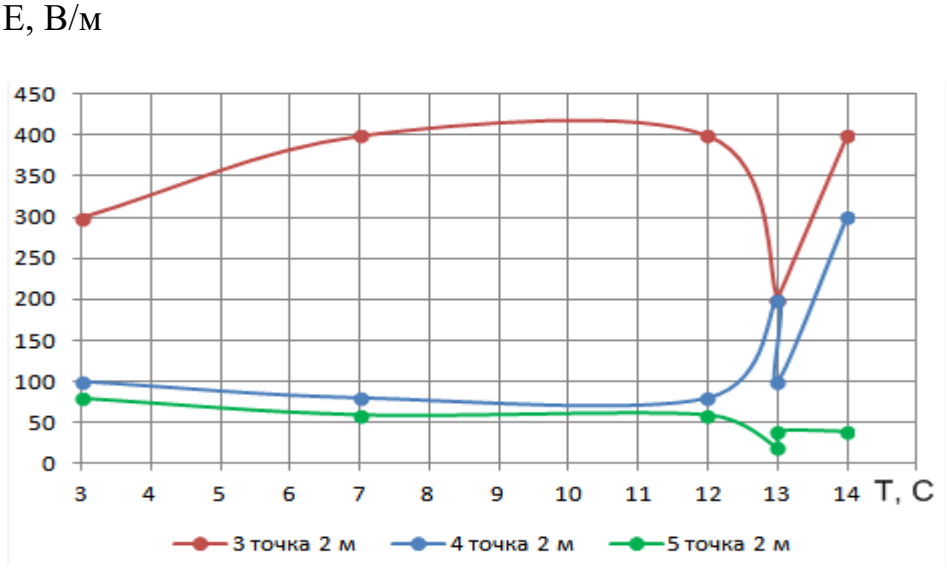


Рис. 3.7. Залежність напруженості ЕП в точках 3 – 5

на висоті 2 м від температури повітря

Як показує цей рисунок, в точках 4 і 5 напруженість ЕП повільно спадала із зростанням температури повітря до температури +13 оС, а в точці 3 зростала від 300 до 400 В/м до досягнення температури +13 оС. Але при значенні температури повітря +13 оС на усіх трьох кривих спостерігається розрив. Скоріш всього, тут відіграють роль якісь інші зовнішні фактори (про які будемо говорити нижче – зокрема ЛЕП), бо температура +13 оС спостерігалася як 6, так і 11 жовтня. Аналогічну, але менш виражену поведінку має залежність напруженості ЕП в точках 3 – 5 і на висоті 1 м (рис. 9).

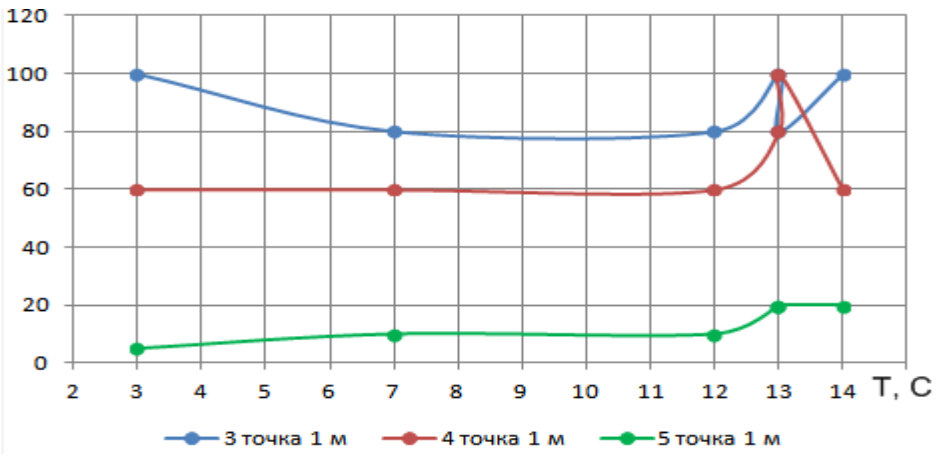


Рис. 3.8. Залежність напруженості ЕП в точках 3 – 5

на висоті 1 м від температури повітря

Також досліджувалася залежність напруженості ЕП від атмосферного тиску. На рисунку 10 наведена залежність напруженості ЕП в точках 3 – 5 на висоті 2 м від атмосферного тиску.

E, В/м

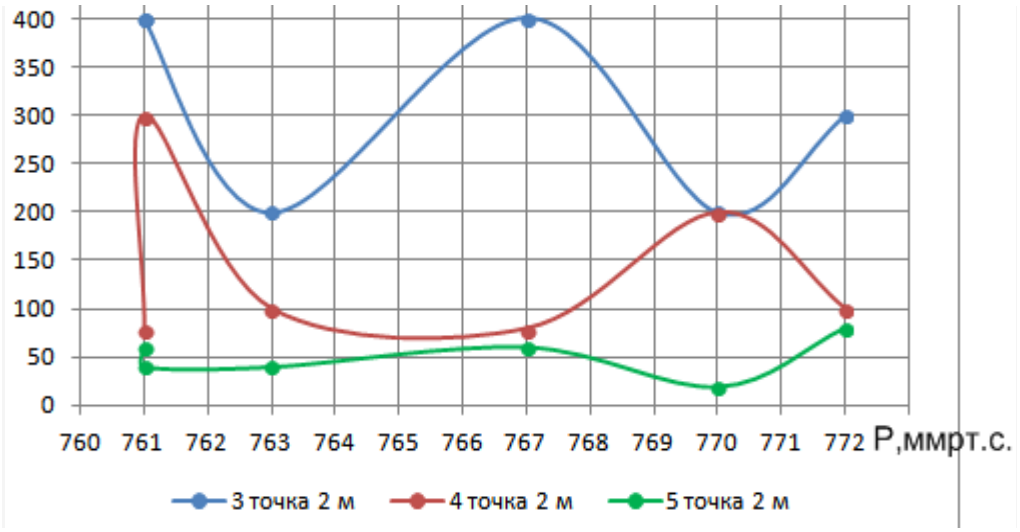


Рис. 3.9. Залежність напруженості ЕП в точках 3 – 5 на висоті 2 м від атмосферного тиску

Бачимо, що ця залежність носить дуже складний немонотонний характер у всіх трьох точках спостережень.

На рисунку 11 наведена залежність напруженості ЕП в точках 3 – 5 на висоті 2 м від вологості повітря.

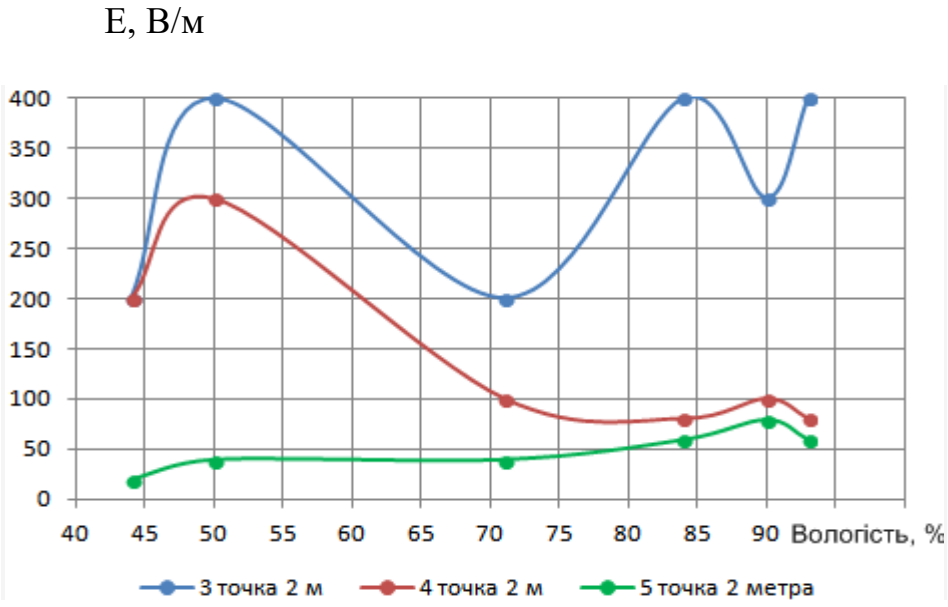


Рис. 3.10. Залежність напруженості ЕП в точках 3 – 5 на висоті 2 м від вологості повітря.

Ця залежність теж носить дуже складний характер у всіх трьох точках спостережень.

На рисунках 12 – 13 наведені аналогічні залежності для висоти 1 м.

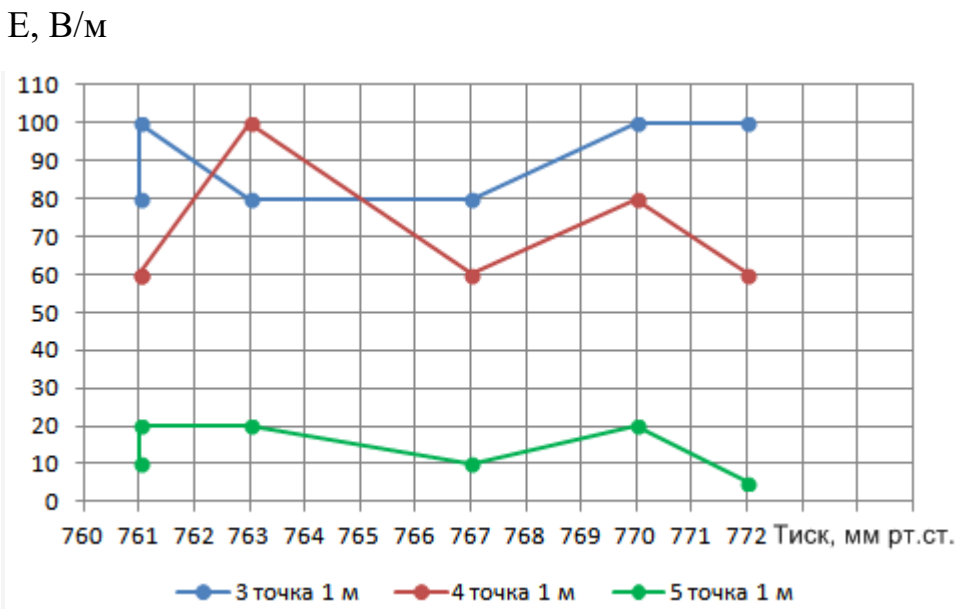


Рис. 3.11. Залежність напруженості ЕП в точках 3 – 5 на висоті 1 м від атмосферного тиску

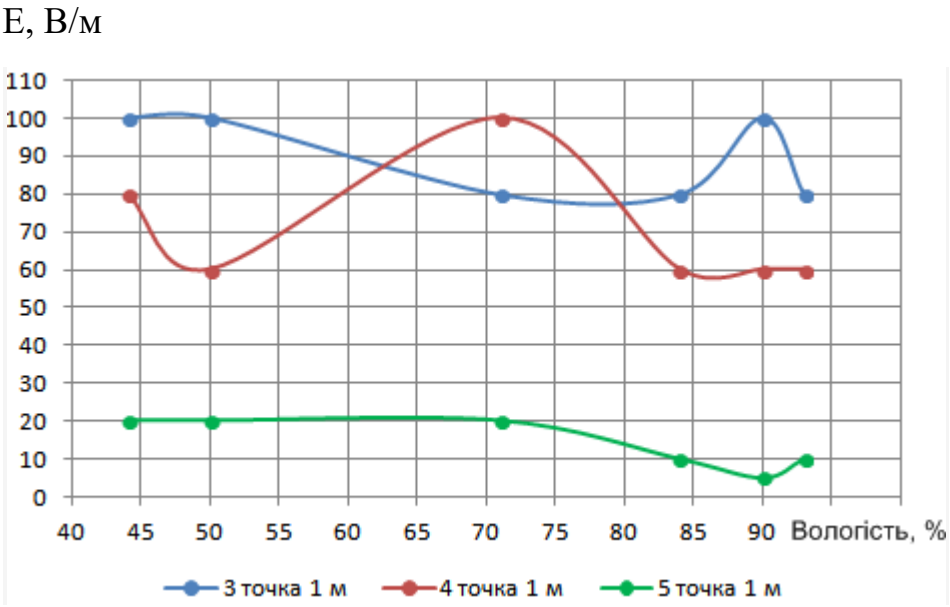


Рис. 3.12. Залежність напруженості ЕП в точках 3 – 5 на висоті 1 м від вологості повітря.

Ці залежності в порівнянні з висотою 2 м (рис. 10, 11) більш гладкі, але теж носять складний характер у всіх трьох точках спостережень.

Пояснити цю аномальну поведінку напруженості ЕП в залежності від дистанції вздовж маршруту та інших параметрів можна пояснити тільки тим, що проміж точками 3 і 4 на вул. Весніна маршрут пересікає під кутом близько 45о високовольтна ЛЕП, яка показана суцільною лінією на карті рисунку 1.

Лінії електропередач при роботі створюють в прилеглому просторі електромагнітні поля промислової частоти. Відстань, на яку поширюються електричні поля від дротів ЛЕП досягає десятків метрів [15]. Дальність поширення ЕП залежить від величини напруги ЛЕП, чим вище напруга – тим більше зони підвищеного рівня ЕП, при цьому розміри зони не змінюються напротязі часу роботи ЛЕП. Дальність поширення ЕП ЛЕП залежить від величини протікаючого струму або від навантаження лінії [16]. Оскільки навантаження ЛЕП може неодноразово змінюватися як в течії доби, так і зі зміною сезонів року, розміри зони підвищеного рівня ЕП також міняються [17]. На наш погляд, саме вплив ЕП ЛЕП обумовлює аномальну поведінку напруженості ЕП в точках 3 – 5 вздовж маршруту.

ВИСНОВОК

1. На протязі жовтня 2020 р. були проведені пілотні дослідження напруженості фонового електричного поля технічного діапазону частот на частині території Київського району м. Харкова вздовж маршруту, що починався на перетині вул. Сумської та вул. Динамівський, потім проходив вздовж вул. Весніна, далі по Журавлівському узвозу до вул. Шевченка (станція метро «Київська») на висоті 1 м і 2 м від рівня землі відповідно.

2. Статистична обробка результатів була проведена із застосуванням кореляційного та дисперсійного аналізу.

3. Результати вимірювань в жодній точці не виявили перевищення гранично допустимого рівня напруженості електричного поля на місцевості, що дорівнює, згідно ДСН 239-96, 1 кВ/м.

4. Аномальне підвищення рівня напруженості електричного поля від фонового значення близько 5 В/м до 400 В/м на висоті 2 м і до 100 В/м на висоті 1 м спостерігалося на вул. Весніна від її середини практично до кінця, що, певно, пов’язано з перетином цієї вулиці високовольтною ЛЕП.

5. Було досліджено залежність напруженості електричного поля від метеофакторів під час вимірювань, а саме: температури і вологості повітря та атмосферного тиску. Ця залежність взагалі носила слабкий монотонний характер, але дуже ускладнювалась поблизу розташування ЛЕП.

6. Моніторинг електромагнітного поля на території такого мегаполісу, як м. Харків, слід продовжити більш системно із застосування даних щодо розташування і потужності ЛЕП, підземних кабелів, трансформаторних підстанцій та т.і.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Суворов Г.А., Пальцев Ю.П., Хунданов Л.Л. и др. Неионизирующие электромагнитные излучения и поля (экологические и гигиенические аспекты). / Под общей ред. Н.Ф. Измерова. – М. : Изд-во «Вооружение. Политика. Конверсия», 1998. – 110 с.
2. Кузнецов А.Н. Биофизика электромагнитных воздействий (основы дозиметрии). – М. : Энергоатомиздат, 1994. – 80 с.
3. Электромагнитная безопасность человека : Справ.-информ. изд. / Ю. Г. Григорьев, В. С. Степанов, О. А. Григорьев, А. В. Меркулов. – М. : Рос. нац. ком. по защите от неионизирующего излучения, 1999. – 145 с.
4. Бузов А.Л., Сподобаев Ю.М. Электромагнитная экология. Основные понятия и нормативная база. – М.: Радио и связь, 1999. – 78 с.
5. Международный регламент радиосвязи. International Telecommunication Union. Женева, 2016. – 430 с.
6. Думанський В.Ю. Гігієнічна оцінка електромагнітної ситуації та наукове обґрунтування вимог до її безпеки в сучасних населених місцях України : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора медичних наук / В.Ю. Думанський. – Київ, 2009.
7. Кундельська Т.В., Микицей М.Т. Дослідження електромагнітного забруднення, ускладненого впливом базових станцій стільникового зв’язку, на урбанізованій території міста Івано-Франківська / Екологічна безпека та природокористування, № 1–2 (23), 2017.
8. Павлов А.Н. Электромагнитные поля и жизнедеятельность. Учебное пособие. – М.: Изд-во МНЭПУ, 1998. – 148 с.
9. Довбыш В.Н. Технология регионального контроля природной среды по фактору электромагнитного излучения объектов энергетических систем. // Инфокоммуникационные технологии, №3, 2006. – С.73 – 78
10. Про затвердження державних санітарних норм і правил захисту населення від впливу електромагнітного випромінювання: Наказ МОЗ

України від 1 серпня 1996 р. № 239 // Офіц. Інтернет-сторінка Верховної Ради України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.rada.gov.ua.

11. Електронний ресурс: https://labcenter.kh.ua/ останнє звернення 10.11.2020.
12. Електронний ресурс: https://pogoda.meta.ua /Kharkiv/archive/2020/ останнє звернення 10.11.2020.
13. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М. : Высшая школа, 2004. – 479 с.
14. Зайцев Ю.В., Кустов Е.Ф., Кузищина Т.К. Физикохимические свойства элементов проводников. М. : Издательство МЭИ, 2002. – 523 с.
15. Литвинова Н.А., Литвинов Д.О., Брюханова Р.Я. Исследование напряженности электрического и магнитного полей по высоте зданий от линии электропередач // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 4 – С. 97 – 102.
16. Довбыш В.Н., Маслов М.Ю., Семаков Л.М., Сподобаев Ю.М. Экспериментальные исследования электромагнитных полей высоко-вольтной линии электропередач. // Инфокоммуникационные технологии, Том 2, №4, 2007. – С. 70 – 74.
17. Довбыш В.Н. Анализ помехового излучения линии электропередач. // Радиотехника, №10, 2006. – С. 69 – 71.
18. vgpu.com/images/docs/ob-universitete/instituty-fakultety-kafedry/ti/fakultety-kafedry/fttiim/tb/publikatsii/ismerenie-polej.pdf

Додаток

Опис і технічні характеристики вимірювача напруженості електричного поля VX 0100 (фірми Chauvin Arnoux, Франція)

BioTest® Измерители/ тестеры напряженности электромагнитного поля VX 0003 и VX 0100 мгновенно указывают на уровень электромагнитного загрязнения окружающей среды. Идеально подходят для жилищного и обслуживающего (транспорт, связь, торговля) секторов, они предназначены для профессионального и личного использования. С таким прибором можно быстро и наглядно определить излучение на рабочем месте и в жилых помещениях



Наша повседневная окружающая среда содержит много источников электромагнитного загрязнения:

- электрическая распределительная сеть внутри домов и офисов
- удлинители стабилизатора напряжения, электрические кабели и т.д.
- компьютер, принтер, факс
- освещение
- высоковольтные линии электропередач, трансформаторы, железная дорога, и т.д.

Низкочастотные поля в диапазоне от 10 Гц до 100 кГц вредны.
Для ограничения такого загрязнения, были созданы специальные, регулярно обновляемые стандарты.

Стандарты

Измерители VX 0003 и VX 0100 выполняют тестирование в соответствии с требованиями следующих текущих и даже будущих стандартов:

- Рекомендациями WHO / ICNIRP (Всемирная Организация здоровья/ Международная комиссия по защите от неионизирующего излучения (МКЗНИР)
- IEEE C95.6-2002 (Международный стандарт - Public, диапазон 0 – 3 кГц)
- Европейская директива 1999/519/CE (Public, диапазон 0 – 100кГц и выше)
- Европейская директива 2004/40/CE (Workers, диапазон 0 – 100кГц и выше)
- 2010 проект стандарта, EN IEC 62493 (Осветительные системы)
- EN50366 стандарт и IEC 62233 в 2012 (Бытовая техника)

Решение: Тестирование/Измерение

Тестеры серии VX просты в использовании, экономичны, надежны и откалиброваны (прошли метрологическую поверку).

- Тестер / измеритель VX 0003 оснащен внутренней антенной, и может проводить измерения в диапазоне от 10 Гц до 3кГц.
- Тестер / измеритель VX 0100 имеет сменную антенну для проведения измерений в диапазоне от 10 Гц до 100кГц.

Высоко практичный Тестер / измеритель VX 0100 может быть также использован, например, для обнаружения кабеля при проведении ремонтных работ.

ИЗМЕРЕНИЯ		
"RMS" напряженности электрического поля в В/м	•	•
Чувствительность & Точность		
2 диапазона чувствительности (в соответствии со стандартами)	От 5 В/м до 100 В/м От 100 В/м до 2000 В/м	От 1,0 В/м до 200,0 В/м От 100 В/м до 2000 В/м
Точность (в "Iлабораторных"условиях)	± 10% порогов светодиодов	± 3% ± 5 емр при 50/60 Гц
Частотный диапазон		
Анализ распределения электроэнергии, от 10 Гц до 3 кГц	•	•
Анализ оборудования, подключенного к сети	От 10 Гц до 3 кГц	От 5 Гц до 3 кГц (3 кГц фильтр низких частот) От 3 кГц до 100 кГц (3 кГц фильтр верхних частот) От 5 Гц до 100 кГц (3 кГц без фильтра)