

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЧЕРНІГІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА"

Центр перепідготовки та заочного навчання

Кафедра електричної інженерії та інформаційно-вимірювальних технологій

Допущено до захисту  
Завідувач кафедри ЕІ ІВТ

\_\_\_\_\_ Приступа А.Л.

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Математичне моделювання індукції магнітного поля  
двох паралельних ПЛ 330 кВ

галузь знань 14 "Електрична інженерія"

спеціальність 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

Виконавець

студент групи ЗМЕМп-191

Бобир М.В.

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник

доцент кафедри ЕІ ІВТ, к.т.н.

Красножон А.В.

\_\_\_\_\_  
(підпис)

2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЧЕРНІГІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА"  
Центр перепідготовки та заочного навчання  
Кафедра електричної інженерії та інформаційно-вимірювальних технологій

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Зав. кафедри ЕІ ІВТ  
\_\_\_\_\_ Приступа А.Л.  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ  
на кваліфікаційну роботу здобувача вищої освіти  
освітнього ступеня "магістр" за спеціальністю  
141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"  
Бобиру Максиму Васильовичу

Тема роботи: Математичне моделювання індукції магнітного поля двох паралельних ПЛ 330 кВ

*Тему затверджено наказом ректора  
від "02" листопада 2020 р. № 593-С*

1. Вхідні дані до роботи: конструктивні параметри опор повітряних ЛЕП класу напруги 330 кВ.
2. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: вступ, огляд джерел за тематикою роботи, розрахунок індукції магнітного поля двох паралельних ПЛ 330 кВ в межах їх охоронних зон з урахуванням можливих режимів роботи цих ПЛ та їх виконання на опорах різних типів, оцінка відповідності параметрів магнітного поля ПЛ нормам безпеки життєдіяльності, охорона праці, висновки.
3. Перелік графічного матеріалу:
  - 1) інформаційний супровід математичного моделювання магнітного поля повітряних ЛЕП.
  - 2) графіки зміни індукції магнітного поля паралельних ПЛ 330 кВ з опорами різних типів у просторі (в прямокутних координатах) за різних значень відстані між лініями та величин струмів ліній.
  - 3) графіки зміни індукції магнітного поля паралельних ПЛ 330 кВ з опорами різних типів у просторі за різних комбінацій розташування фазних проводів.

- 4) графіки зміни відстані до межі зони з безпечним рівнем індукції магнітного поля паралельних ПЛ 330 кВ за різних комбінацій розташування фазних проводів та величин струмів ліній.

*Календарний план*

№	Назва етапів роботи	Термін виконання	Примітки
1.	Огляд джерел	30.09.2020	
2.	Опис математичної моделі в MATLAB	18.10.2020	
3.	Розрахунки в MATLAB	31.10.2020	
4.	Комп'ютерне моделювання в COMSOL	08.11.2020	
5.	Охорона праці	22.11.2020	
6.	Оформлення та здача роботи на перевірку	13.12.2020	

**Завдання підготував**

**керівник** доцент кафедри ЕІ ІВТ \_\_\_\_\_  
(підпис)

Красножон А.В.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Завдання одержав**

**студент** групи ЗМЕМп-191 \_\_\_\_\_  
(підпис)

Бобир М.В.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота складається із пояснювальної записки та графічної частини. Пояснювальна записка представлена об'ємом 81 аркуш формату А4 і включає: 6 таблиць, 35 рисунків, 35 джерел переліку посилань та 2 додатки. Графічна частина складається із 5 аркушів формату А1.

### **Мета і задачі дослідження**

Метою даної роботи є дослідження параметрів магнітного поля двох одноколових повітряних ЛЕП 330 кВ, що проходять паралельно на невеликій відстані, та порівняння з параметрами поля однієї лінії.

Для досягнення поставленої мети було поставлено наступні задачі:

- розрахувати індукцію магнітного поля для однієї та двох паралельних ПЛ 330 кВ виконаних різними типами опор;
- дослідити вплив відстані між лініями, струмів ліній та послідовностей розташування фаз на величину індукції магнітного поля;
- порівняти величини відстаней до межі з безпечним рівнем індукції магнітного поля для однієї лінії та двох паралельних з різними варіантами опор та послідовностями розташування фаз.

*Об'єктом дослідження є магнітне поле двох паралельних ПЛ 330 кВ.*

*Предметом дослідження є величина індукції магнітного поля.*

*Методи дослідження.* В ході дослідження було використано методи теорії електромагнітного поля.

Математичне моделювання було виконано на персональному комп'ютері за допомогою математичного пакету MATLAB та спеціалізованого програмного забезпечення COMSOL Multiphysics.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає у визначенні оптимальних послідовностей розташування фазних проводів для двох паралельних ліній, що проходять на невеликій відстані, з різними типами опор,

що дозволяє зменшити величину індукції магнітного поля на межі охоронної зони та поза нею.

**Практичне значення отриманих результатів:**

- показано, що величина індукції магнітного поля двох одноколових повітряних ЛЕП 330 кВ, що проходять паралельно на невеликій відстані, може значно перевищувати значення індукції магнітного поля однієї лінії;
- показано, що певні послідовності розташування фаз двох ліній призводять до значного зростання індукції магнітного поля, порівняно з результатами для однієї лінії, а інші дозволяють сильно знизити її величину;
- показано, що використання оптимальних послідовностей розташування фаз дозволяє зменшити відстань до межі зони з безпечним рівнем індукції магнітного поля, а також збільшити величину фазного струму, за якої індукція магнітного поля досягає безпечного значення в межах охоронної зони.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, МАГНІТНЕ ПОЛЕ, ІНДУКЦІЯ  
МАГНІТНОГО ПОЛЯ, ПОВІТРЯНА ЛІНІЯ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ,  
ОХОРОННА ЗОНА.

## ABSTRACT

The graduation work consists of an explanatory note and a graphic part. The explanatory note is presented in a volume of 81 sheets of A4 format and includes: 6 tables, 35 figures, 35 sources in the list of references and 2 applications. The graphic part consists of 5 sheets of A1 format.

### **The purpose and tasks of the research**

The purpose of this work is a research of the magnetic field parameters for two parallel single-circle overhead power lines 330 kV with short distance between them and a comparing with the field parameters for one power line.

To achieve this purpose, the following tasks were set:

- calculate the magnetic flux density for one and two parallel overhead power lines 330 kV with different types of towers;
- investigate the influence of distance between two lines, line's currents and phase wires sequences on the magnetic flux density value;
- compare the values of distances to the point with a safe level of magnetic flux density for one line and two parallel with different types of towers and phase wires sequences.

*The object of research* is the magnetic field of two parallel overhead power lines 330 kV.

*The subject of research* are the values of the magnetic flux density.

*Research methods.* Methods for the theory of electromagnetic field were used to solve the problems posed in the graduation work.

Mathematical modeling is performed on a personal computer using mathematical package MATLAB and specialized software COMSOL Multiphysics.

**The scientific novelty of the results** is in determination the optimal sequences of phase wires for two parallel lines with short distance between them, with different types of towers, which reduces the value of magnetic flux density at the border of the security zone and beyond it.

**The practical value of the results:**

- it is shown that the value of the magnetic flux density for two parallel single-circle overhead power lines 330 kV with short distance can significantly exceed the value of magnetic flux density for one line;

- it is shown that certain sequences of the phase wires for two lines lead to a significant increase the value of the magnetic flux density, compared with the results for one line, and others can greatly reduce its value;

- it is shown that the use of optimal sequences of phase wires allows to reduce the distance to the border of a zone with a safe level of magnetic flux density, as well as increase the phase current at which the magnetic flux density reaches a safe value within the security zone.

MATHEMATICAL SIMULATION, MAGNETIC FIELD, MAGNETIC FLUX DENSITY, OVERHEAD POWER LINE, SECURITY ZONE.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ОГЛЯД ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМАТИКОЮ РОБОТИ.....	9
1.1 Загальні поняття про електромагнітне поле.....	9
1.2 Магнітне поле повітряних ліній електропередачі.....	13
1.3 Методи зниження магнітного поля повітряних ліній.....	19
2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ІНДУКЦІЇ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ДВОХ ПАРАЛЕЛЬНИХ ЛЕП 330 кВ.....	23
2.1 Моделювання індукції магнітного поля двох ліній з опорами типу ПБ330-7.....	24
2.2 Моделювання індукції магнітного поля двох ліній з опорами типу ПЗ30-3.....	33
2.3 Моделювання індукції магнітного поля двох ліній з опорами різних типів.....	41
3 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	55
3.1 Норми напруженості та індукції магнітного поля.....	55
3.2 Методи захисту від змінного магнітного поля.....	58
3.3 Вплив магнітного поля на біологічні об'єкти.....	59
3.4 Моделювання індукції магнітного поля на межі охоронної зони двох паралельних ЛЕП 330 кВ.....	61
ВИСНОВКИ.....	69
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	71
ДОДАТОК А ПЕРЕЛІК ПЛАКАТИВ ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ.....	75
ДОДАТОК Б КОД ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ В MATLAB.....	76



## ВСТУП

Негативний вплив низькочастотного магнітного поля (МП) на здоров'я людей та інші біологічні об'єкти був виявлений ще в кінці 20-го сторіччя в ході медико-санітарних досліджень в США та Швеції. Одним з найбільших джерел МП є повітряні лінії електропередачі (ЛЕП) змінного струму частотою 50 Гц.

Основним методом захисту населення від впливу МП є обмеження по гранично допустимій відстані від ЛЕП до житлових і громадських споруд. Для цього з обох боків від ЛЕП встановленні охоронні зони. Але останні дослідження показують, що поточні охоронні зони не забезпечують безпечного рівня індукції МП поза їх межами. Тому є актуальною проблема зниження МП ЛЕП поза межами охоронної зони.

Здебільшого дослідження МП проводяться для однієї окремої лінії. Але існують лінії, які проходять паралельно на невеликій відстані. Загальне МП таких ліній є сумою полів окремих ліній. В результаті цього, величина індукції МП на межі охоронної зони та поза нею може значно зрости. Тому необхідно дослідити, наскільки сильно відрізняється величина індукції МП однієї лінії та двох паралельних, та чи потрібно це враховувати при встановленні охоронних зон навколо таких ліній.

Також дві одноколові лінії можна розглядати як одну рознесену двоколову. Одним з відомих методів зниження МП двоколових ЛЕП є оптимізація геометрії підвісу проводів, тобто використання певних послідовностей розташування фаз, які дозволяють значно знизити індукцію МП без значних затрат. Цей метод цілком може бути застосований і для двох одноколових ліній, що проходять паралельно на невеликій відстані.

## 1 ОГЛЯД ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМАТИКОЮ РОБОТИ

### 1.1 Загальні поняття про електромагнітне поле

Поле, як і речовина, є одним з видів матерії [1-3]. Розрізняють електричне та магнітне поля, які за певних умов можуть існувати окремо одне від одного, так і разом – електромагнітне поле.

Електричне поле (ЕП) утворюється електричними зарядами та зміною магнітного поля (МП) в часі. ЕП існують всюди, де є позитивний або негативний електричний заряд. Вони впливають на інші електрично заряджені частинки всередині поля з силою, яка є пропорційною заряду частинки і не залежить від її швидкості. Будь-електричний провідник, що знаходиться під напругою, буде створювати супутнє ЕП, яке буде існувати навіть при відсутності струму. Чим вище напруга, тим сильніше ЕП на заданій відстані від проводу. Найбільш сильними є ЕП в безпосередній близькості від джерела заряду або дроти під напругою, а в міру віддалення від них сила ЕП швидко зменшується.

Основна фізична величина, що характеризує ЕП в кожній точці простору, називається напруженістю ЕП. Напруженість ЕП – це векторна величина, що характеризує ЕП і визначає силу, що діє на заряджену частинку з боку ЕП.

МП утворюється електричними зарядами рухомих заряджених частинок і зміною ЕП в часі. МП виникають навколо будь-яких рухомих електричних зарядів. В цьому випадку в просторі одночасно є і магнітне, і електричне поля. Чим вище сила струму, тим сильніше МП. Як і ЕП, МП найбільш сильні в безпосередній близькості від їх джерела, а в міру віддалення від нього, вони слабшають.

Основною фізичною величиною, що характеризує МП в кожній його точці, є магнітна індукція. Магнітна індукція – це векторна величина, що характеризує МП і визначає силу, яка діє на рухомі заряджені частинки.

Навколо нерухомих заряджених тіл виявляється лише ЕП, адже внаслідок хаотичного руху окремих частинок загальне МП швидко загасає на незначній відстані від поверхні тіла. В просторі навколо нерухомих постійних магнітів виявляється лише МП, адже в них, навпаки, елементарні частинки, що утворюють речовину магнітів, взаємно компенсують ЕП, внаслідок рівності сумарних зарядів позитивно і негативно заряджених частинок.

Навколо провідника з постійним струмом виникає як електричне, так і МП. В такому випадку їх можна розглядати та аналізувати окремо. Навколо провідника зі змінним струмом виникає змінне ЕМП, в якому ЕП виникає внаслідок зміни в часі МП і, в свою чергу, виникнення МП є результатом зміни в часі ЕП.

Електромагнітне поле (ЕМП) – це такий вид поля, який визначається у всіх точках двома векторними величинами (напруженістю електричного та індукцією магнітного поля), які характеризують дві його сторони - електричне та магнітне поле [1]. ЕМП характеризується безперервним розподілом в просторі (електромагнітні хвилі) і виявляє дискретність структури (фотони). Воно здатне поширюватися у вакуумі (за відсутності сильних гравітаційних полів) зі швидкістю, близькою до швидкості світла і створювати силову дію на заряджені частинки, залежну від їх заряду та швидкості.

Електричні і магнітні поля пов'язані з певними кількостями енергії – при зміні поля в часі відбувається перетворення його енергії в інші форми енергії. Електромагнітна енергія, пов'язана з ЕМП в цілому складається з енергії ЕП і енергії МП [2].

Одна з основних характеристик ЕМП це його частота або відповідна довжина хвилі. Частота - це показник, який вказує число коливань або циклів в секунду, а термін «довжина хвилі» використовується для визначення відстані між двома послідовними хвилями. Отже, довжина і частота хвилі тісно взаємопов'язані: чим вище частота, тим коротше довжина хвилі.

**За повною версією даної ВКР звертатися на кафедру електричної інженерії  
та інформаційно-вимірювальних технологій**

## ВИСНОВКИ

У випускній кваліфікаційній роботі розглядалось магнітне поле двох одноколових повітряних ЛЕП 330 кВ, що проходять паралельно на невеликій відстані. Було проведено математичне моделювання індукції магнітного поля ЛЕП з різними типами опор. Моделювання здійснювалось в програмному пакеті MATLAB.

Моделювання проводилося для наступних випадків: обидві лінії виконані однаковими опорами (ПБ330-7 та П330-3); лінії виконані різними опорами (ПБ330-7 + П330-3 та П330-3 + ПБ330-7). В процесі дослідження змінювалася відстань між лініями, струми ліній, послідовності розташування фаз.

Результати моделювання показали, що картина магнітного поля двох ліній сильно відрізняється від картини поля однієї лінії. При зменшенні відстані між лініями індукція магнітного поля зменшується під лініями, але збільшується на деякій відстані від них. Також збільшення струму другої лінії призводить до зменшення індукції магнітного поля від першою лінією, та її збільшення на деякій відстані.

Було досліджено вплив порядку розташування фаз ліній на величину індукції магнітного поля. Виявлено, що для випадку, коли лінії виконані однаковими опорами, а струми протікають в одному напрямку, найгіршою є однакова послідовність розташування фаз (АВС-АВС), адже вона призводить до найбільшого зростання індукції магнітного поля (до 50%). Найкраща послідовність фаз залежить від типу опор ліній: для ліній з опорами ПБ330-7 це дзеркальна послідовність (СВА-АВС), дозволяє знизити індукцію магнітного поля до 50%; для ліній з опорами П330-3 це послідовність ВСА-АВС, дозволяє знизити індукцію до 20%. Також можна зробити висновок бачимо, що коли дві паралельні лінії виконані однаковими опорами, то кращими є опори ПБ330-7, адже вони дозволяють за рахунок використання оптимальної послідовності фаз досягти більшого зниження індукції магнітного поля.

Якщо ж напрямки протікання струмів протилежні, то найкращою виявляється однакова послідовність фаз для ліній з опорами обох типів.

У випадку, коли лінії виконані різними опорами, а струми протікають в одному напрямку, найгіршою є послідовність АСВ-АВС для обох варіантів взаємного розташування опор – збільшення індукції магнітного поля до 50%. Для варіанту взаємного розташування опор ПЗ30-3 + ПБЗ30-7 найкращою виявилася послідовність САВ-АВС (зниження до 40%), а для варіанту ПБЗ30-7 + ПЗ30-3 – ВСА-АВС (зниження до 45%). Але дані послідовності дають зниження індукції магнітного поля лише з однієї сторони від ліній. З іншої сторони ці послідовності дають зростання індукції (до 30%). Тому оптимальною виявляється послідовність СВА-АВС, яка хоча і не дає максимального зниження (до 25%), але забезпечує його з обох сторін від ліній.

Якщо напрямки струмів ліній протилежні, то найкращою є послідовність АСВ-АВС (зниження індукції магнітного поля до 40%).

Також було розраховано відстані від центру траси ЛЕП до межі зони з безпечним рівнем індукції магнітного поля для однієї лінії, двох ліній з однаковою та оптимальною послідовністю розташування фаз.

Визначено, що порівняно з результатом для однієї лінії, для двох ліній з однаковою послідовністю розташування фаз ця межа зміщується на 10 м далі від ліній, з оптимальною послідовністю – на 10 м ближче до ліній. Тобто бачимо, що у випадку двох паралельних ліній використання оптимальної послідовності розташування фаз дозволяє зменшити ширину зони з небезпечним рівнем індукції магнітного поля приблизно на 20 м.

Також було розраховано, за якого значення фазного струму величина індукції магнітного поля досягає безпечного значення в межах охоронної зони у кожному випадку. Виявлено, що для двох ліній використання оптимальної послідовності розташування фаз дозволяє майже вдвічі збільшити величину фазного струму, за якого індукція магнітного поля не перевищує безпечного значення на межі охоронної зони.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле: Учебник для электротехн., энерг., приборостроит. спец. вузов: 8-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1986. – 263 с.
2. Говорков В.А. Электрические и магнитные поля. М.: Энергия, 1986. – 488 с.
3. Демирчан К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В., Чечурин В.Л. Теоретические основы электротехники В 3-х т. – Санкт-Петербург, 2003. Т.1. – 445 с.
4. Розов В.Ю., Реуцкий С.Ю., Пелевин Д.Е., Яковенко В.М. Исследование магнитного поля высоковольтных линий электропередачи переменного тока // Технічна електродинаміка. – 2012. – №1. – С. 3–9.
5. Думанський В.Ю. ЛЕП – джерело електромагнітного поля, його гігієнічне значення та нормування в умовах населених місць // Гігієна населених місць. – 2010. – Вип. 56. – С. 196–202.
6. Сивяко Б.К., Скрипкин А.А., Сивяков Д.Б., Цыганков А.В. Электрическое и магнитное поля высоковольтных воздушных линий на удалении от неё // Вестник СГТУ. – 2015. – №3(80). – С. 200–206.
7. Безменова Н.В. Электромагнитные поля промышленной частоты в электрических сетях и распределительных установках // М.: Машиностроение. 2011. – 206 с.
8. Рыжов Ю.П. Дальние электрорпередачи сверхвысокого напряжения: учебник для ВУЗ - ов. М.; Издательский дом МЭИ. 2007. – 488 с.
9. Розов В.Ю., Реуцкий С.Ю., Пелевич Д.Е., Пилюгина О.Ю. Магнитное поле линий электропередач и методы его снижения до безопасной величины // Технічна електродинаміка. – 2013. – №2. – С. 3–8.
10. Пелевин Д.Е. Методы снижения магнитного поля воздушных линий электропередачи за пределами охранных зон // Технічна електродинаміка. – 2014. – №5. – С. 14–16.

11. Лазарева О.В., Красножон А.В. Аналіз просторових складових магнітного поля одноколової лінії електропередачі напругою 330 кВ. Новітні технології у науковій діяльності і начальному процесі: Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих учених (м. Чернігів. 18-19 травня 2016 р.): збірник без доповідей. Чернігів: Черніг. нац. технол. ун-т. – 2016. – С. 121.

12. Мисриханов М.Ш., Рубцова Н.Б., Токарский А.Ю. Принципы и методы расчёта величин напряжённостей магнитных и электрических полей промышленной частоты, подлежащих гигиенической оценке и нормированию // Труды ИГЭУ. – 2007. – Вып. №6. – С. 128–141.

13. Абдурахманов А.М., Зимин К.А., Рубцова Н.Б., Рябченко В.Н., Токарский А.Ю. Нормирование и расчёт магнитных полей при проектировании воздушных и кабельных линий электропередачи // Электро. – 2014. – №5. – С. 8–16.

14. Левченко Л.О., Перельот Т.М. Дослідження рівнів електромагнітних полів повітряних ліній електропередач та їх нормування // Містобудування та територіальне планування. – 2014. – Вип. №53. – С. 275–279.

15. Filippopoulos G., Tsanakas D. Analytical calculation of the magnetic field produced by electric power lines // IEEE Transactions on power delivery. – 2005. – Vol.20. №2. – P. 1474–1482.

16. Yanhai Wang, Suimin Meng, Bo Tang. Study on Type Design of Multicircuit Transmission Line Tower // College of Electrical engineering & Renewable Energy. – 2012. – P. 900–903.

17. Лазарева О.В., Красножон А.В. Параметризація магнітного поля компактної повітряної ЛЕП напругою 220 кВ. Новітні технології у науковій діяльності і начальному процесі: Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих учених (м. Чернігів. 19-20 квітня 2017 р.): збірник без доповідей. Чернігів: Черніг. нац. технол. ун-т. – 2017. – С. 77.



18. Дикой В.П., Токарский А.Ю., Иостсон Ю.А., Красин О.В. Методы расчёта и измерения эллипсоидных магнитных полей промышленной частоты // Труды ИГЭУ. – 2001. – Вып. №4. – С. 215–222.
19. Токарский А.Ю. Определение фазного угла напряжённости магнитного поля ВЛ // Труды ИГЭУ. – 2001. – Вып. №4. – С. 223–225.
20. Моташко Д.М., Красножон А.В. Вплив еліптичної поляризації на параметри магнітного поля повітряних ЛЕП. Новітні технології у науковій діяльності і начальному процесі: Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих учених (м. Чернігів. 11-12 квітня 2018 р.): збірник без доповідей. Чернігів: Черніг. нац. технол. ун-т. – 2018. – С. 117–119.
21. Розрахунок електричного і магнітного полів ліній електропередавання. Методика / Ю. Думанський, А. Квицинський, І. Майстренко, Д. Пелевін, О. Пилюгіна, С. Реуцький, В. Розов. – К.: Міненерговугілля України, 2015. – 52 с.
22. Розов В.Ю., Реуцкий С.Ю., Пилюгина О.Ю. Метод расчёта магнитного поля трёхфазных линий электропередачи // Технічна електродинаміка. – 2014. – №5. – С. 11–13.
23. СОУ-Н ЕЕ 20.1179: Розрахунок електричного і магнітного полів ліній електропередавання Методика. – [Чинний від 20.10.2010]. К: 2008. – 33 с.
24. Мисриханов М.Ш., Токарский А.Ю. Преимущества и недостатки простых компактных воздушных линий электропередачи // Повышение эффективности работы энергосистем. – 2003. – С. 204–223.
25. Мисриханов М.Ш., Токарский А.Ю. Управляемые компактные линии электропередачи // Труды ИГЭУ. – 2003. – Вып. №6. – С. 238–248.
26. Шапиро Д.Н. Электромагнитное экранирование // Долгопрудный: Издательский дом “Интеллект”, 2010. – 120 с.
27. Пелевин Д.Е. Экранирование магнитного поля промышленной частоты стенами жилых домов // Електротехніка і Електромеханіка. – 2015. – Вип. №4. – С. 53–55.

28. Дикой В.П., Токарский А.Ю., Рубцова Н.Б., Красин О.В. Тросовые экраны и их применение на ВЛ-500 кВ // Труды ИГЭУ. – 2001. – Вып. №4. – С. 209.
29. Дикой В.П., Токарский А.Ю., Рубцова Н.Б., Красин О.В. Элементы теории контурных экранов // Труды ИГЭУ. – 2001. – Вып. №4. – С. 225.
30. Кузнецов Б.И., Никитина А.В., Волошко А.В., Бовдуй И.В., Винниченко Е.В., Кобылянский Б.Б. Одноконтурное активное экранирование магнитного поля, создаваемого в жилой зоне несколькими воздушными линиями электропередачи // Електротехніка і Електромеханіка. – 2018. – №1. – С. 41.
31. Кузнецов Б.И., Никитина А.В., Волошко А.В., Бовдуй И.В., Винниченко Е.В., Кобылянский Б.Б. Синтез систем активного экранирования магнитного поля воздушных линий электропередачи различного конструктивного исполнения с учётом особенностей пространственно-временного распределения магнитного поля // Електротехніка і Електромеханіка. – 2017. – №2. – С. 29–33.
32. Правила улаштування електроустановок. – К.: Міненерговугілля України, 2017. – 617 с.
33. Оцінка стану зарубіжного та вітчизняного нормативно-правового забезпечення щодо обмеження впливу електромагнітного випромінювання та акустичних шумів об'єктів електроенергетики на здоров'я людини та навколишнє середовище. – К.: Міністерство енергетики та вугільної промисловості України НЕК «Укренерго» Науково-технічний центр електроенергетики, 2012. – 47 с.
34. Гичев Ю.П., Гичев Ю.Ю. Влияние электромагнитных полей на здоровье человека - Alleged health effects of electromagnetic fields: Аналит. обзор // СО РАН. ГПНТБ. Новосибирск. 1999. – 91 с.
35. Григорьев Ю.Г. Отдаленные последствия биологического действия электромагнитных полей / Ю.Г. Григорьев // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2000. — Т.40, №2. — С. 217-225.

**ДОДАТОК А**  
**ПЕРЕЛІК ПЛАКАТІВ ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ**

В додатку А вказано перелік плакатів графічної частини випускної кваліфікаційної роботи.

Таблиця А.1 Перелік плакатів графічної частини

Назва плакату	Шифр	Формат	Кількість аркушів
Математична модель розрахунку індукції магнітного поля ЛЕП	НУЧП.560075.001МР	А1	1
Результати моделювання магнітного поля двох паралельних ЛЕП з опорами однакового типу	НУЧП.560075.001ММ	А1	1
Результати моделювання магнітного поля двох паралельних ЛЕП з опорами типу ПБ330-7	НУЧП.560075.001ПБ	А1	1
Результати моделювання магнітного поля двох паралельних ЛЕП з опорами типу ПЗ30-3	НУЧП.560075.001ПС	А1	1
Параметри магнітного поля біля межі охоронної зони двох паралельних ЛЕП	НУЧП.560075.001ОЗ	А1	1