

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ  
ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА  
ЕЛЕКТРОІНЖЕНЕРІЇ  
КАФЕДРА СИСТЕМ ЕЛЕКТРОСРОЖИВАННЯ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ

**ХИЛЬЧЕНКО ЄВГЕН ОЛЕКСАНДРОВИЧ**

УДК 621.311

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ  
ТА ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ  
МАКСИМАЛЬНИХ СТРУМОВИХ  
НАВАНТАЖЕНЬ ВИСОКОВОЛЬТНИХ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ**

141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

**Автореферат**

дипломної роботи на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Тернопіль

2018

Роботу виконано на кафедрі електричної інженерії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

**Керівник роботи:** кандидат технічних наук, кафедри електричної інженерії  
**Наконечний Мирослав Степанович,**  
Тернопільський національний технічний університет  
імені Івана Пулюя,

**Рецензент:** кандидат технічних наук, старший викладач  
кафедра приладів і контрольних-вимірювальних систем  
**Стрембіцький Михайло Олексійович,**  
Тернопільський національний технічний університет  
імені Івана Пулюя,

Захист відбудеться 27 грудня 2018 р. о 14<sup>00</sup> годині на засіданні екзаменаційної комісії № 36 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Микулинецька, 46, навчальний корпус № 7, ауд. 310

## **ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОБОТИ**

**Актуальність теми.** Несуча здатність сучасних високовольтних ліній з пластмасовою ізоляцією обмежується допустимою температурою нагріву  $90^{\circ}\text{C}$ . При струмах короткого замикання кабель з ізоляцією із зшитого поліетилену здатний короткочасно витримувати температуру  $250^{\circ}\text{C}$ . Підвищення температури в жилах кабельних конструкцій викликає хімічне розкладання ізоляції. Помилки, допущені на стадії проектування, в процесі експлуатації неможливо виправити без істотних капітальних вкладень.

Таким чином, становить інтерес і є актуальним розробка комплексних математичних моделей, які одночасно враховують процеси електро - і магнітодинаміки для визначення теплових втрат в екранах силових кабелів, багатошарову конструкцію силових кабелів, температурні залежності теплофізичних та електричних характеристик використаних в конструкції силових кабелів матеріалів.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дослідження є розробка математичних моделей електричних, магнітних та теплових процесів, що протікають в кабельних лініях для визначення величини струмового навантаження.

Для досягнення цієї мети поставлено наступні *задачі дослідження*:

1. Розробити математичну модель електро - і магнітодинаміки для врахування теплових втрат в елементах конструкції кабельних ліній.
2. Розробити математичну модель теплових процесів в кабельних лініях, з урахуванням залежностей теплофізичних властивостей матеріалів від температури.
3. На основі численних досліджень визначити раціональні режими експлуатації силових кабельних ліній.

**Об'єкт дослідження** - електромагнітні та температурні процеси в кабельних лініях, зумовлені особливостями їх будови та матеріалами виготовлення.

**Предмет дослідження** – високовольтні кабельні лінії

### **Наукова новизна роботи.**

1. Розроблена математична модель для дослідження магнітних та електричних характеристик кабельних ліній, що дозволило враховувати теплові втрати в екранах.
2. Розроблено модель та метод розрахунку втрат потужності в елементах конструкції кабельних ліній.
3. Розвинуто математичну модель для спільного розрахунку температурних та електромагнітних характеристик кабельних ліній

### **Практична значущість роботи.**

Робота може мати інтерес для підприємств, що спеціалізуються на розробці і промислового випуску кабельної продукції, так і підприємств

енергопостачання, які розподіляють електричну енергію для оцінки пропускної здатності кабельних ліній, прокладених в ґрунті в залежності від реальних потреб..

### **Апробація.**

Основні положення роботи і її результати доповідалися на VII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» 28-29 листопада 2018 р. (Тернопіль 2018 р.)

### **Структура роботи.**

Робота складається зі вступу, 8 розділів, висновків, переліку посилань (36 найменування).

Загальний обсяг текстової частини – 102 сторінок, 10 таблиці, 19 рисунків.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У **вступі** розглянуто актуальні задачі при розрахунках та конструюванні кабельних мереж. Обґрунтовано актуальність теми, сформовано мету, об'єкт та завдання досліджень.

У **першому розділі «Аналітична частина»** розглянуто класифікацію кабельних ліній їх конструкцію та електричні характеристики. Приведено методи заземлення кабельних ліній, визначено джерела втрат енергії.

У **другому розділі «Науково-дослідна частина»** постановлена математична задача для розрахунку навантажувальної здатності кабельних ліній, сформовано математичну модель електромагнітних та теплових процесів.

У **третьому розділі «Технологічна частина»** проведено розрахунок параметрів кабелю, обрано математичну модель, яка дозволяє розрахувати електричні параметри систем заземлення кабелів, розглянуто вимоги для варіантів заземлення екранів.

У **четвертому розділі «Проектно-конструкторська частина»** розроблено математичну модель та проведено розрахунок магнітних, електричних та теплових характеристик кабельної мережі. Розраховано вплив способів прокладання кабельних мереж на температуру кабеля.

У **п'ятому розділі «Спеціальна частина»** показано алгоритм розробки математичної моделі силового кабеля в програмному пакеті Comsol Multiphysics для спільного моделювання електромагнітних та теплових процесів.

У **шостому розділі «Обґрунтування економічної ефективності»** розроблено задачі і методи техніко-економічного проектування електричних систем і мереж, проведено порівняльну ефективність варіантів розвитку електричної мережі.

У цьому розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» проведено заходи електробезпеки при роботі з електрообладнанням, проведено заходи щодо цивільного захисту об'єктів господарювання, запропоновано норми проектування інженерно-технічних заходів цивільного захисту

У восьмому розділі «Екологія» розглянуто основні аспекти впливу електричних полів ліній електропередач на навколишнє середовище, запропоновано заходи щодо охорони довкілля від шкідливого впливу електроенергетики.

## ВИСНОВКИ

На основі проведених в даній роботі досліджень була розроблена математична модель, що дає можливість розрахувати магнітні, електричні та температурні характеристики силових кабельних ліній при їх конструюванні. Отримано наступні результати:

1. Розглянуті основні технічні та експлуатаційні особливості силових кабельних ліній. Проаналізовано фізичні процеси, що в них протікають та методи їх моделювання.

2. Показано, що для двостороннього заземлення екранів необхідно розраховувати струми і втрати потужності в екранах, які залежать від величини струму в жилі, площі перетину екрана, діаметра кабелю і відстані між кабелями.

3. Проведено розрахунок теплового поля кабельної мережі з прокладання кабелю трикутником та в площині. Показано, що температура жили кабеля, при незмінній силі струму у випадку прокладання трикутником, вища на 10 °С.

4. Зміна кліматичних умов навколишнього середовища впливає на температурне поле в кабельній лінії, що, в свою чергу, дозволяє збільшувати або зменшувати навантажувальну здатність силових кабелів. Показано, що в зимову пору року передавану потужність мережі можна збільшити на 20%.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

Хильченко Є. О. Мультифізичне моделювання при проектуванні ліній електропередач. Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 28–29 листоп. 2018.) // М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль: ТНТУ, 2017. – , Т 3, С. 92.

## АНОТАЦІЯ

**Хильченко Є. О. Математична модель електромагнітних та теплових процесів для визначення максимальних струмових навантажень високовольтних кабельних ліній, 141 – Електроенергетика, електротехніка та**

електромеханіка; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2018.

У дипломній роботі розроблено математичну модель для розрахунку електромагнітних та температурних характеристик кабельних мереж з врахуванням їх способу прокладання. Розроблена математична модель дозволяє враховувати теплові втрати в екранах з врахуванням способу заземлення.

**Ключові слова:** силовий кабель, температура, втрати, заземлення

## ANNOTATION

**Khylchenko Yevhen. Mathematical model of electromagnetic and thermal processes for determination of maximum current loads of high-voltage cable lines.** 141 – Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics; Ternopil Ivan Puluj National Technical University; Ternopil, 2018.

In the diploma paper the mathematical model for calculation of electromagnetic and temperature characteristics of cable networks with the account of their method of laying are developed. The developed mathematical model allows to take into account thermal losses in screens taking into account the grounding method.

**Key words:** power cable, temperature, losses, grounding.