

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПІЛОТНИКІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ



ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНСТИТУТ ТЕХНІЧНОЇ ТЕПЛОФІЗИКИ НАН УКРАЇНИ

АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО «ХАРКІВОБЛЕНЕРГО»

2020

ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПІЛОТНИКІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ

Автори роботи:



- **РЕЗИНкіНА Марина Михайлівна** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;



- **ШЕВЧЕНКО Сергій Юрійович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;



- **СЕНДЕРОВИЧ Геннадій Аркадійович** – доктор технічних наук, професор Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;



- **ГРАБКО Володимир Віталійович** – доктор технічних наук, професор, ректор Вінницького національного технічного університету;



- **КАРПАЛЮК Ігор Тимофійович** – кандидат технічних наук, доцент Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;



- **ЗАПОРОЖЕЦЬ Артур Олександрович** – кандидат технічних наук, старший дослідник, старший науковий співробітник Інституту технічної теплофізики НАН України;



- **СКОПЕНКО Василь Вікторович** – кандидат технічних наук, в.о. генерального директора АТ "Харківобленерго".

МЕТА РОБОТИ

Створення комплексу методів і засобів їх реалізації із використанням безпілотників, спрямованих на підвищення безпеки функціонування об'єднаної енергетичної системи України, а також на підвищення її енергоефективності

Вирішені актуальні науково-технічні проблеми:

розвинуті теоретичні основи моделювання електричних процесів, що відбуваються на лініях електропередачі в аварійних режимах обриву або пошкодження проводів, а також апаратні засоби, спрямовані на оперативне визначення місця і характеру пошкодження ЛЕП за допомогою БПЛА;

розвинуті теоретичні основи математичного моделювання електричних полів ліній електропередачі з урахуванням наявності опор ЛЕП, БПЛА, інших об'єктів і програмні засоби з їх реалізації для забезпечення електромагнітної сумісності БПЛА та їх обладнання з електричним полем ЛЕП;

удосконалені методи розрахунку електричного поля з використанням так званих одновісних добре узгоджених шарів (ОДУШ) для визначення його напруженості на гострих краях електротехнічного обладнання;

розвинуті теоретичні основи моделювання коронного розряду по акустичному випромінюванню, що його супроводжує;

розроблені теоретичні основи і програмне забезпечення з вибору засобів блискавкозахисту з підвищеною надійністю, а також контролю їх цілісності за допомогою БПЛА.

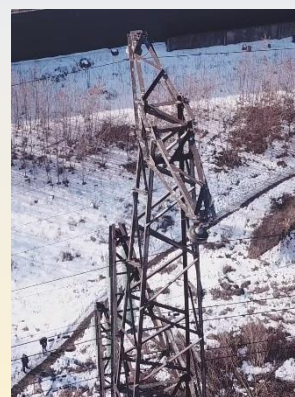
УДОСКОНАЛЕНО АЛГОРИТМ КОМПЛЕКСНОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО МОНІТОРИНГУ ОБ'ЄКТІВ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ ІЗ ЗАЛУЧЕННЯМ БПЛА

Контроль стану енергетичних об'єктів може проводитися в небезпечних і важкодоступних місцях, а час отримання первинної інформації істотно скорочується. На рисунках нижче показані результати зйомки ЛЕП з БПЛА.



Загальний вигляд ЛЕП 330 кВ

Ізолятори ЛЕП 330 кВ



Опори ЛЕП 330 кВ

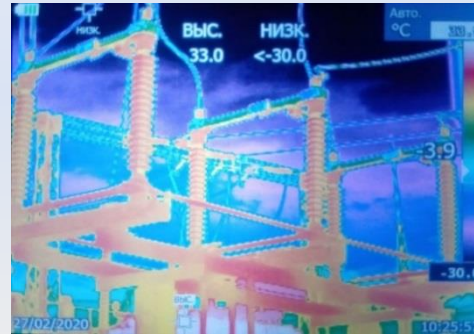
УДОСКОНАЛЕНО АЛГОРИТМ КОМПЛЕКСНОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО МОНІТОРИНГУ ОБ'ЄКТІВ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ ІЗ ЗАЛУЧЕННЯМ БПЛА

Для визначення точного місця аварії на ЛЕП за допомогою БПЛА розроблені математичні моделі та отримані аналітичні вирази, на базі яких створено програмно-апаратний комплекс ідентифікації і контролю поточних параметрів, а також режимів електричної мережі. Створено електронну базу зображень різних технічних станів елементів ЛЕП в інфрачервоному спектрі.

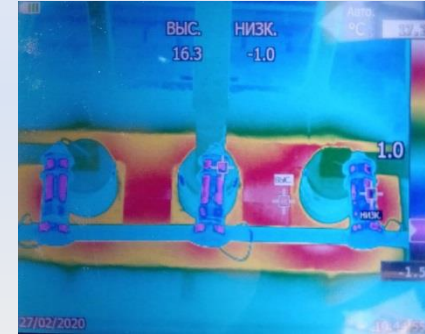
На рисунках показані результати зйомки ЛЕП з БПЛА в інфрачервоному спектрі.



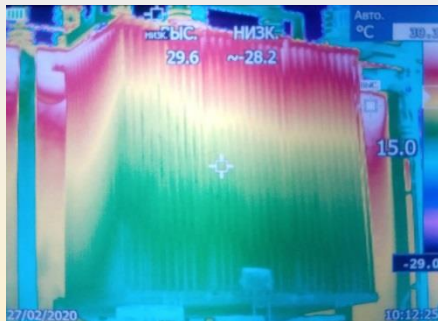
Вимикачі високовольтні 110 кВ



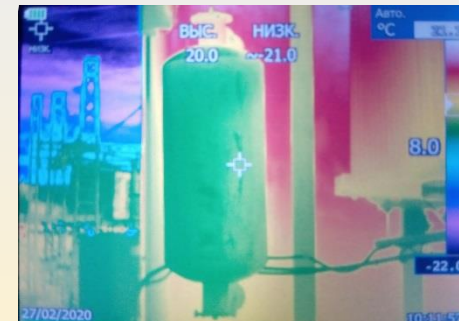
Роз'єднувач



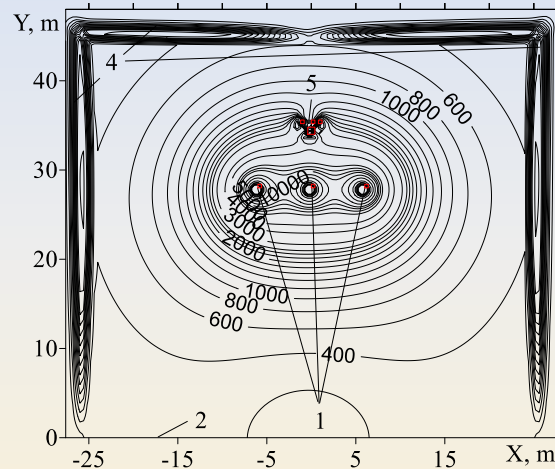
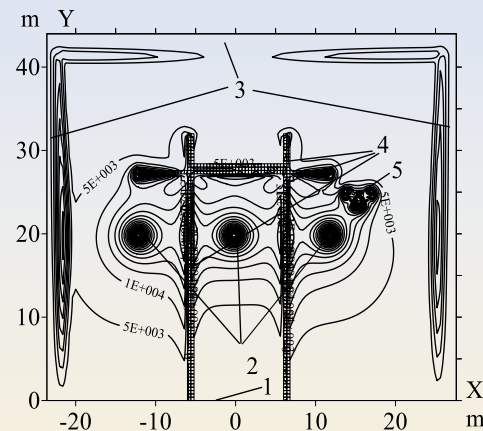
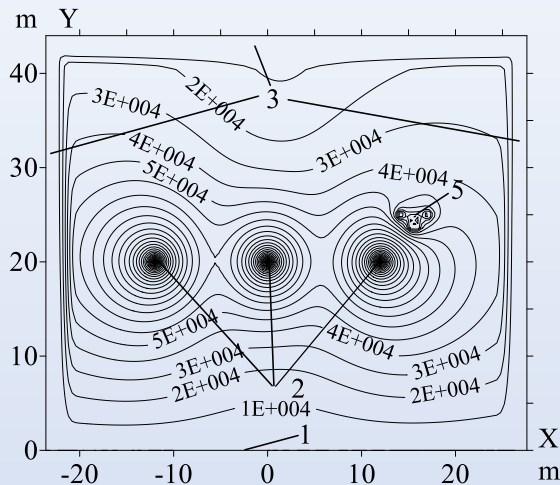
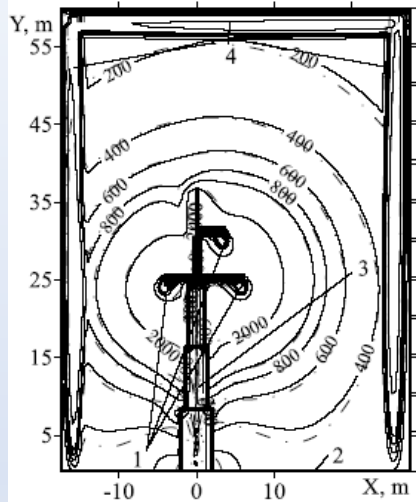
РВС 6кВ шинного моста



Силовий трансформатор



УДОСКОНАЛЕНА І ЧИСЕЛЬНО РЕАЛІЗОВАНА МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ В ОКОЛІ ЛЕП



Розраховані розподіли ліній рівного потенціалу (в вольтах) в околі ЛЕП 200 кВ при наявності опори (а) та БПЛА (б):

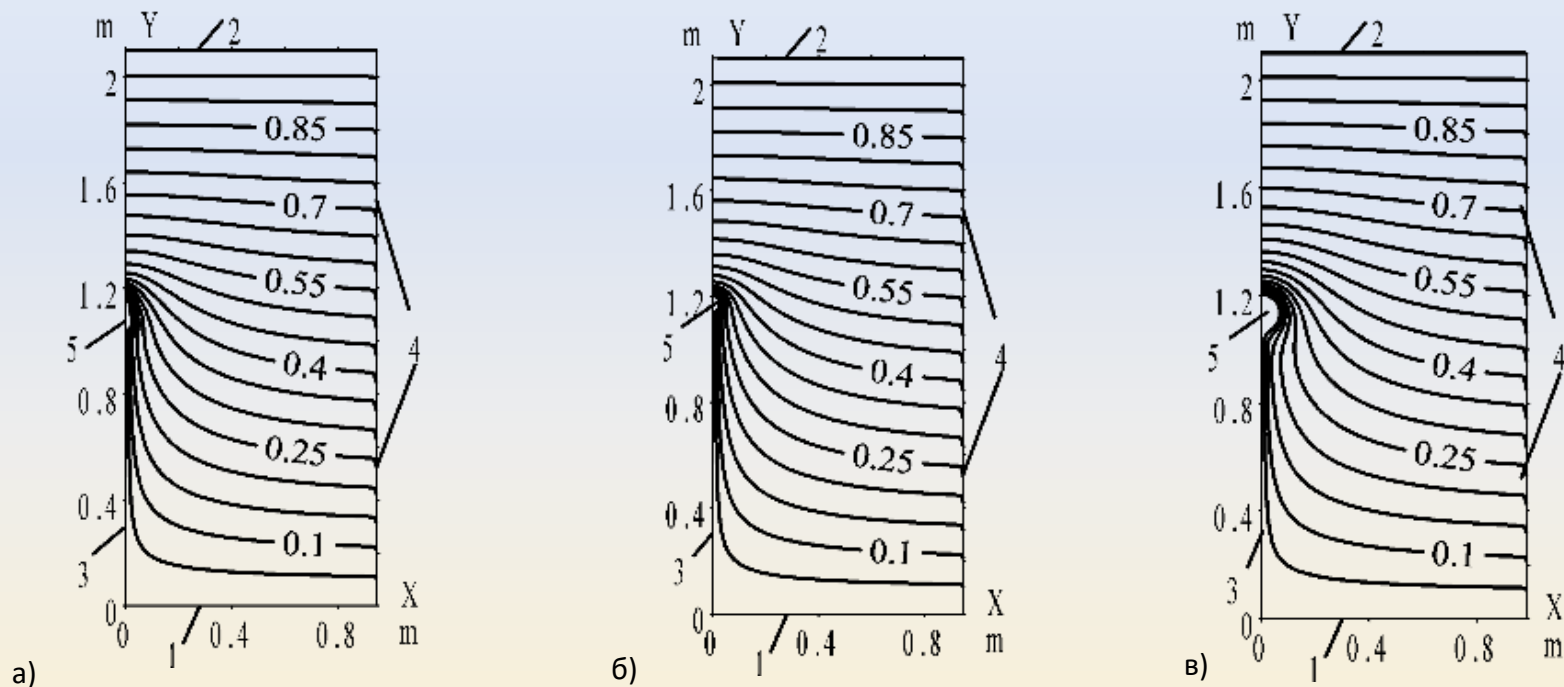
1 – дроти ЛЕП, 2 – земля, 3 – опора ЛЕП, 4 – ОДУШ, 5 – БПЛА.

Розроблене програмне забезпечення необхідне для забезпечення електромагнітної сумісності апаратури БПЛА з ЕП ЛЕП, а також додаткової навігації БПЛА - базового елементу розробленої системи моніторингу та для оцінки електричних параметрів досліджуваних енергетичних об'єктів. На рисунку наведені розраховані розподіли ліній рівного потенціалу (в вольтах) в околі ЛЕП 200 кВ при наявності опори. |

УДОСКОНАЛЕНА І ЧИСЕЛЬНО РЕАЛІЗОВАНА МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ В ОКОЛІ ЛЕП

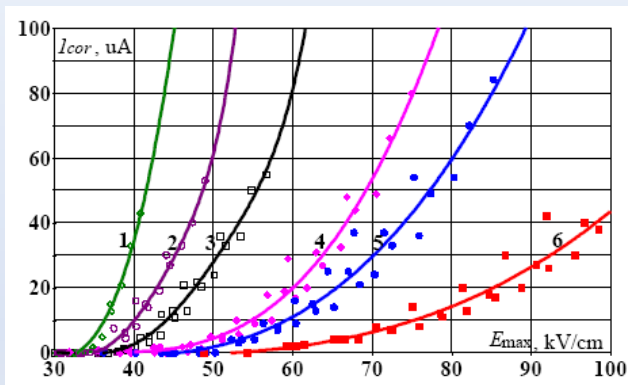
Для визначення втрат на корону, в тому числі з використанням БПЛА, удосконалено метод оцінки величини струму корони.

Отримано співвідношення між висотою і радіусами заокруглення гострих кромek електроенергетичних об'єктів, дотримання яких забезпечують відсутність коронування: $E_{cr} \leq 3 \times 10^6 / (0.6 \times h / R + 12.5)$ (В/м).

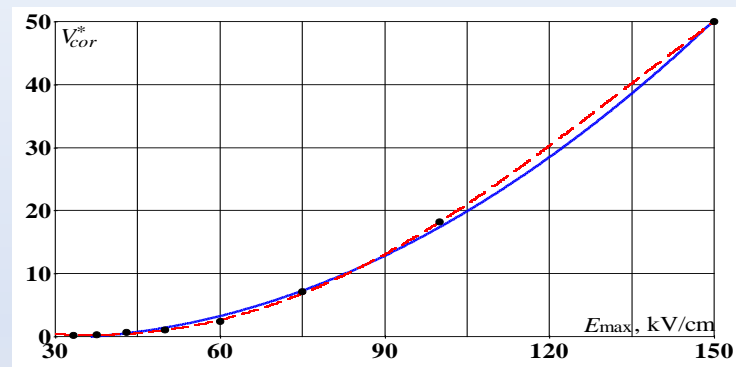


Розраховані розподіли ліній рівного потенціалу ($\varphi^* = \varphi / U_{con}$) для вершин заземленого електрода в формі конуса (а), сфери діаметром 0,045 м (б) і сфери діаметром 0,125 м (в): 1, 2 – заземлена і потенційна площини відповідно; 3 – заземлений стрижневий електрод; 4 – зона PML.

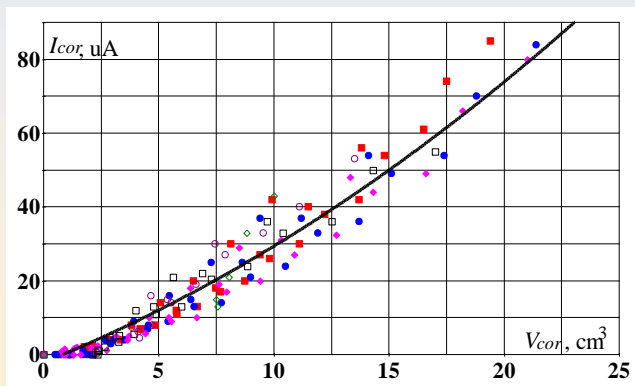
РЕЗУЛЬТАТИ МАТЕМАТИЧНОГО ТА ФІЗИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ СТРУМУ КОРОНИ (I_{COR}) ВІД ЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ НАПРУЖЕНОСТІ ЕП НА ВЕРШИНАХ ЗАЗЕМЛЕНИХ СТРИЖНІВ (E_{MAX}) ДЛЯ РІЗНИХ РАДІУСІВ КРИВИЗНИ (R) ЇХ ВЕРШИН



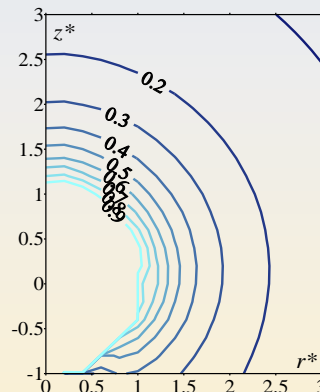
Експериментальні залежності струму корони від максимальної напруженості ЕП на вершинах заземлених стрижнів для різних R (1 – 0,019 м; 2 – 0,015 м; 3 – 0,0125 м; 4 – 0,009 м; 5 – 0,00775 м; 6 – 0,0055 м)



Розрахована залежність V_{cor}^* (об'єму зони коронування) від величини E_{max} (точки відповідають розрахованим значенням, суцільна лінія – апроксимація поліномом)



Розрахунково-експериментальна залежність струму корони від об'єму зони коронування



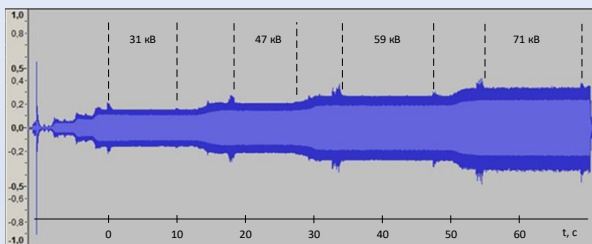
Розрахована залежність напруженості електричного поля в околі вершини електроду

$$I_{COR} = 0.0652 \cdot V_{COR}^2 + 2.49 V_{COR} - 2.075$$

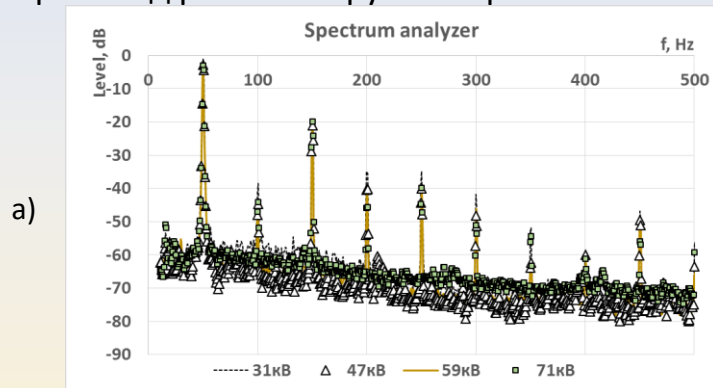
МЕТОД СПЕКТРАЛЬНО-АКУСТИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ НАЯВНОСТІ КОРОННОГО РОЗРЯДУ

Створено метод визначення наявності коронного розряду на електроенергетичному обладнанні за акустичними коливаннями.

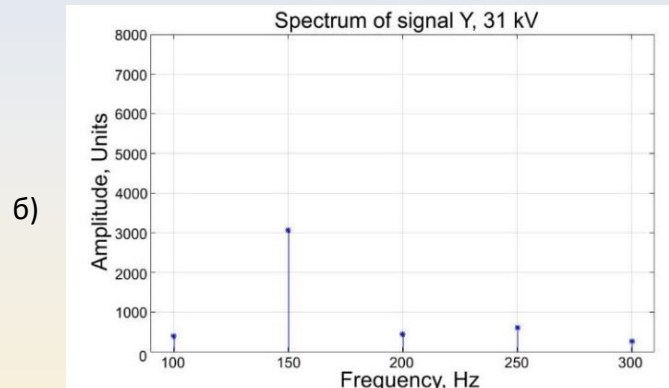
Теоретичні прогнози щодо акустичних шумів, створюваних коронним розрядом, підтвердилися на експериментальних даних, отриманих при пошуку джерела акустичного випромінення, створюваного коронним розрядом.



Амплітудні значення акустичного шуму корони від різних напруг на короні



Частотний розподіл акустичного сигналу від коронного розряду за спектром представлено на рисунках нижче.



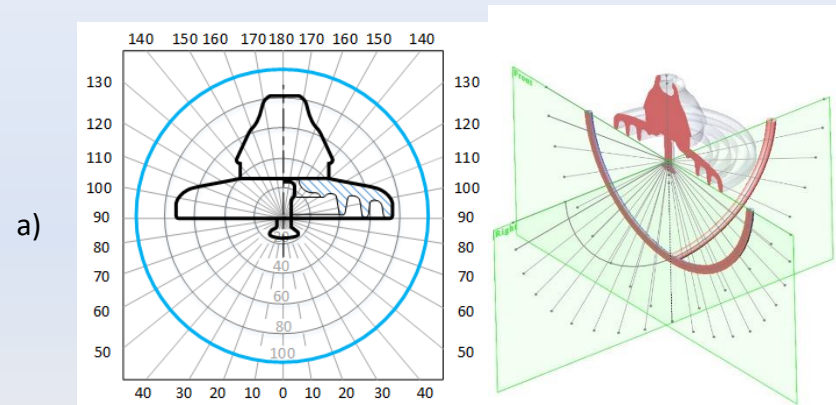
Результати розкладання акустичного сигналу від коронного розряду у спектр за методом швидкого перетворення Фур'є:

а) спектр акустичного сигналу у діапазоні частот 0 - 500 Гц від коронного розряду на напругах 31, 47, 59, 71 кВ; б) стеблова гістограма зображення частотного спектру, притаманного коронному розряду.

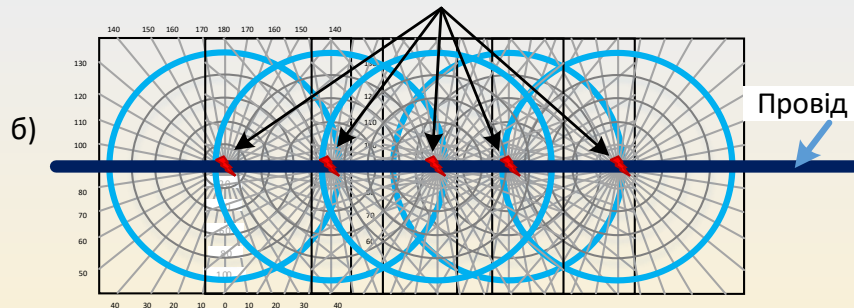
МЕТОД СПЕКТРАЛЬНО-АКУСТИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ НАЯВНОСТІ КОРОННОГО РОЗРЯДУ

Проведено моделювання акустичного джерела коронного розряду. Побудовано модель кривої сили звуку для різних типів випромінювачів.

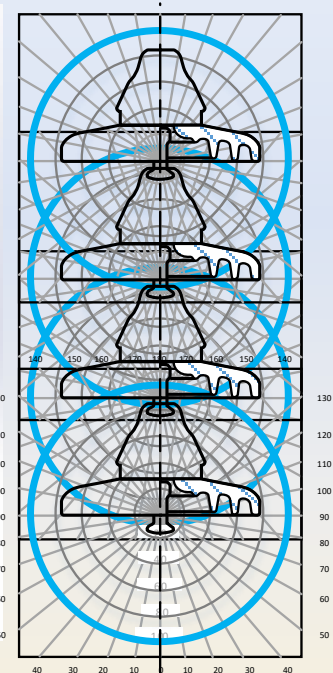
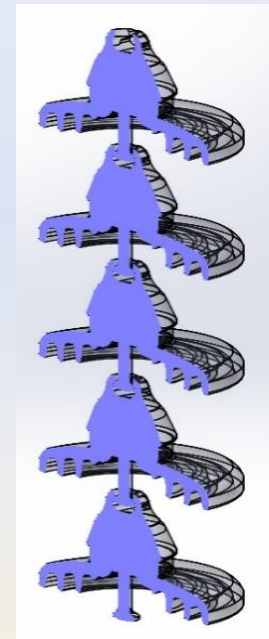
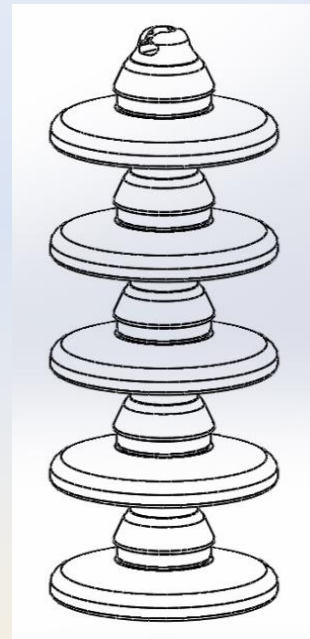
Джерелом коронного розряду прийнято точкове і лінійне джерело (на рисунках нижче).



Місця виникнення коронного розряду



Крива сили звуку коронного розряду на ізоляторі а) і на провіді б)

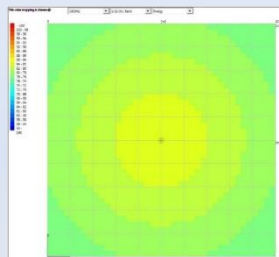
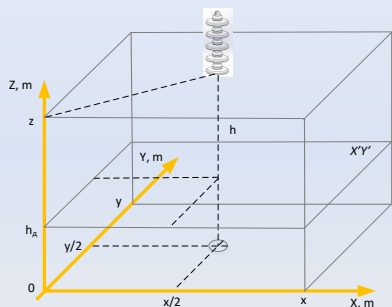


Крива сила звуку від одночасного коронного розряду на декількох ізоляторах

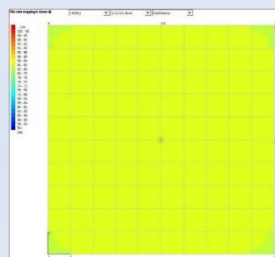
МЕТОД СПЕКТРАЛЬНО-АКУСТИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ НАЯВНОСТІ КОРОННОГО РОЗРЯДУ

Вирішено задачу визначення місця розташування коронного розряду в просторі. Для цього створено модель акустичного поля коронного розряду.

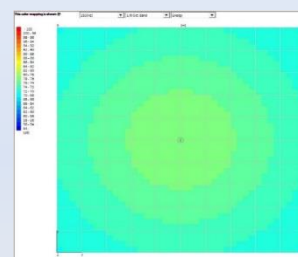
Картина ізоліній звукового поля для частоти третьої і п'ятої гармонік, дозволяє виявити місце розташування коронного розряду за енергетичним і інтерференційним розрахунком.



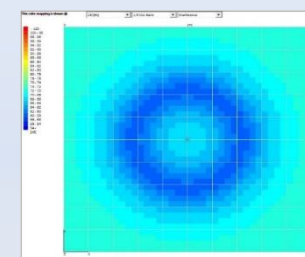
Енергетичний розрахунок



Інтерференційний розрахунок

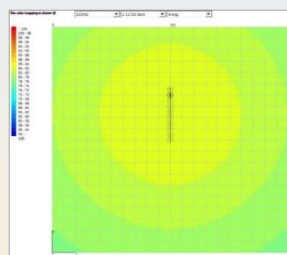
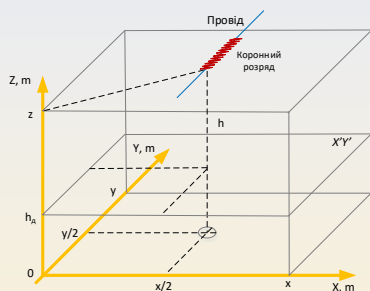


Енергетичний розрахунок

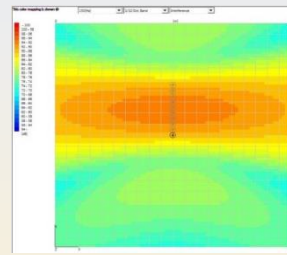


Інтерференційний розрахунок

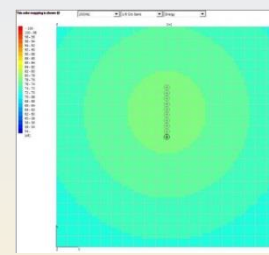
Результат розрахунку ізоліній звукового поля для гірлянди із 5 ізоляторами на 3-й і 5-й гармоніках



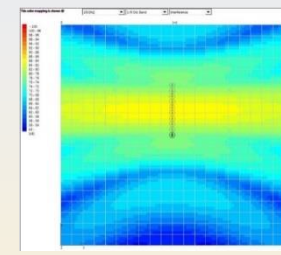
Енергетичний розрахунок



Інтерференційний розрахунок



Енергетичний розрахунок

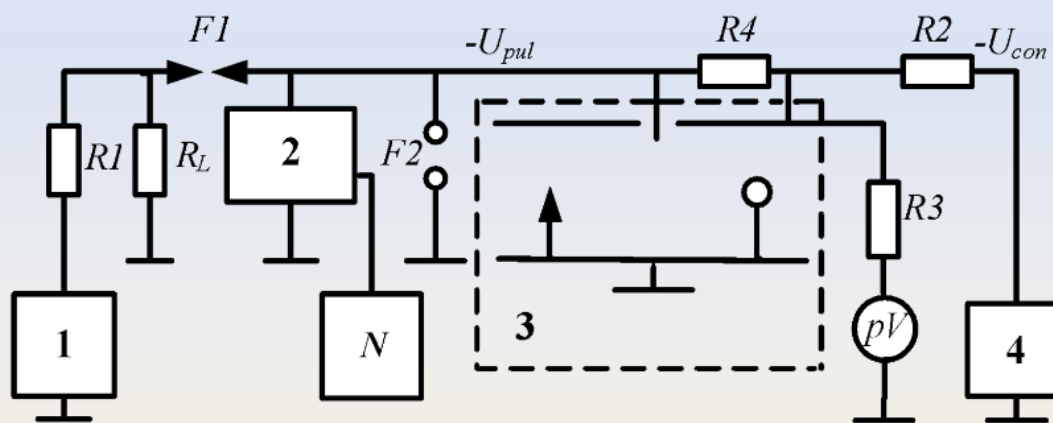


Інтерференційний розрахунок

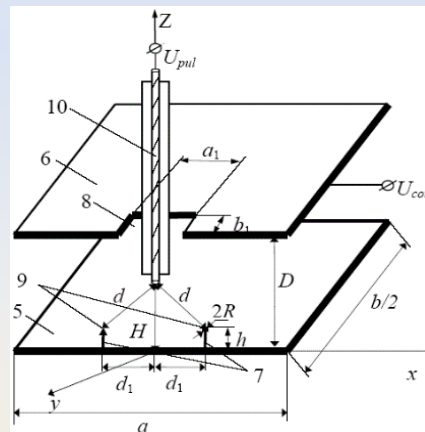
Результат розрахунку ізоліній звукового поля для лінійного джерела (дріт) на 3-й і 5-й гармоніках

СТАТИСТИЧНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ОСНОВІ ФІЗИЧНОГО ТА МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Статистична модель електрофізичних процесів на фінальній стадії наближення лідерного каналу блискавки до землі, яка дозволяє знайти розподіли прогнозованої кількості ударів блискавки у протяжні електроенергетичні об'єкти (такі, як високовольтні підстанції, ТЕС, ГЕС, АЕС) з урахуванням їх висоти і габаритів, можливості розвитку від них висхідної іскри, усіх місць появи лідерного каналу блискавки з грозової хмари та розподілу вірогідності їх потенціалів.



а)



б)



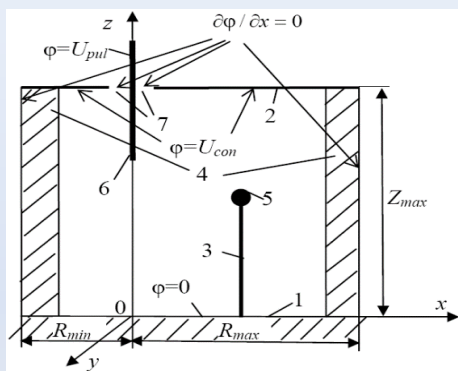
в)

Схема високовольтного стенда і його фотографія:

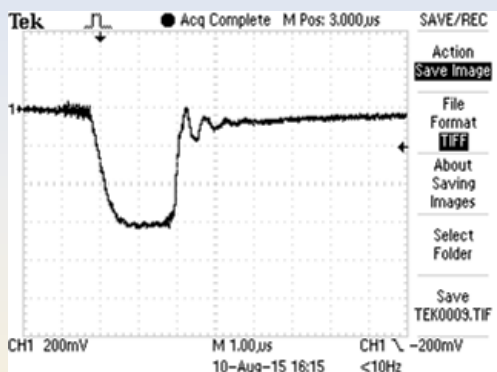
а) електрична схема стенду; б) схема фізичної моделі для дослідження впливу струму корони на процеси пробую; в) фотографія високовольтного залу

СТАТИСТИЧНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ОСНОВІ ФІЗИЧНОГО ТА МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

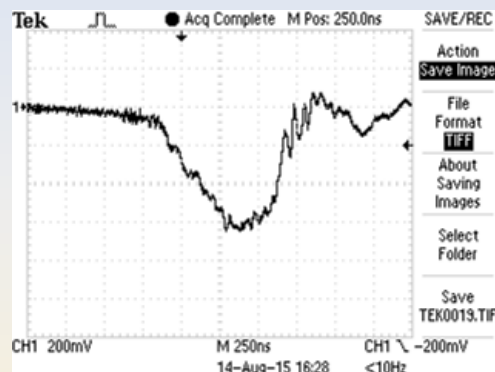
Проведені експериментальні дослідження процесів пробою при наявності коронного розряду на вершинах заземлених стрижнів.



Розрахункова система для моделювання процесів пробою між високовольтним і заземленим електродами системи



а)



б)

Типові осцилограми при розряді з високовольтного електрода на заземлюючий стрижневий електрод:

- а) розряд на фронті прикладеного імпульсу ($d=0,44$ м, $U_{pul}=0,84$ МВ);
- б) розряд на спаді прикладеного імпульсу ($d=1,01$ м, $U_{pul}=1,08$ МВ)

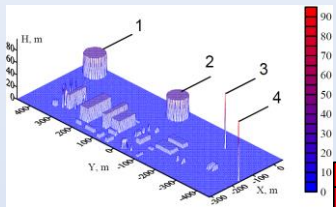
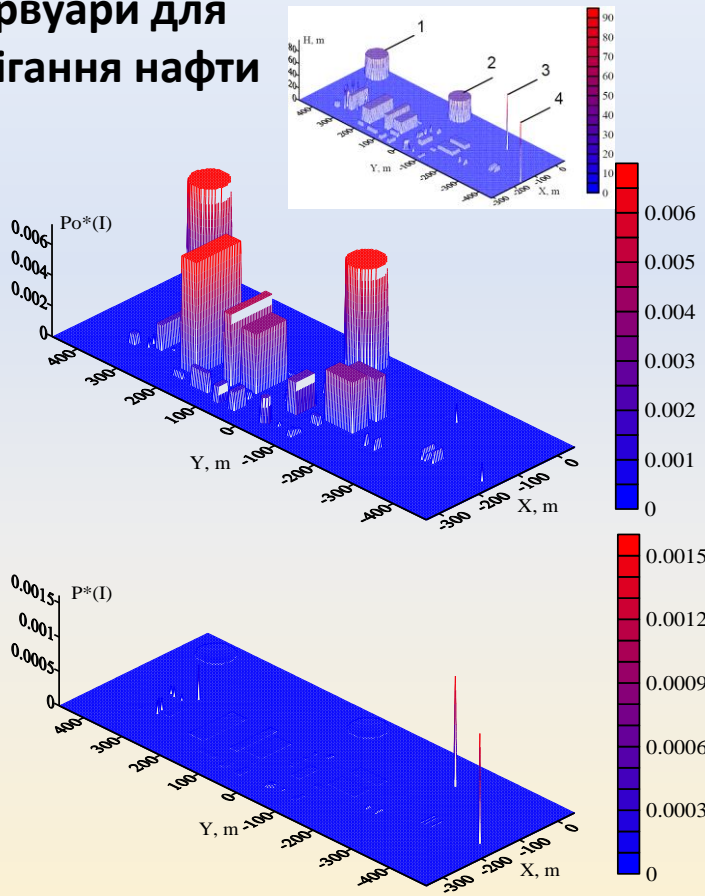


Фотографії високовольтних розрядів

СТАТИСТИЧНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ОСНОВІ ФІЗИЧНОГО ТА МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

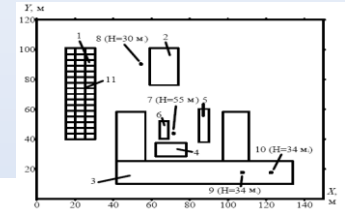
На рисунках показані плани (а) та розраховані за допомогою розробленої статистичної моделі розподіли щільності ймовірності попадання блискавок з низьким (б) і високим (в) потенціалом по території досліджуваних об'єктів.

Резервуари для зберігання нафти

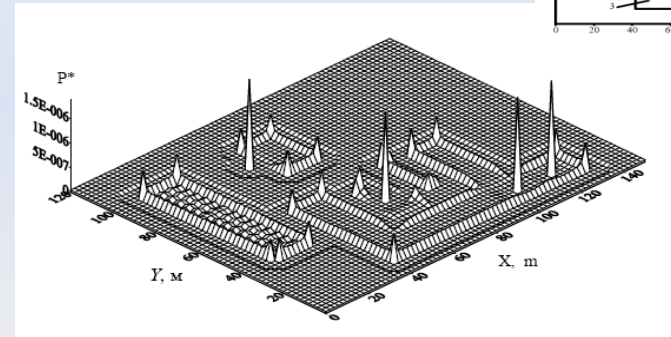


Високовольтна підстанція

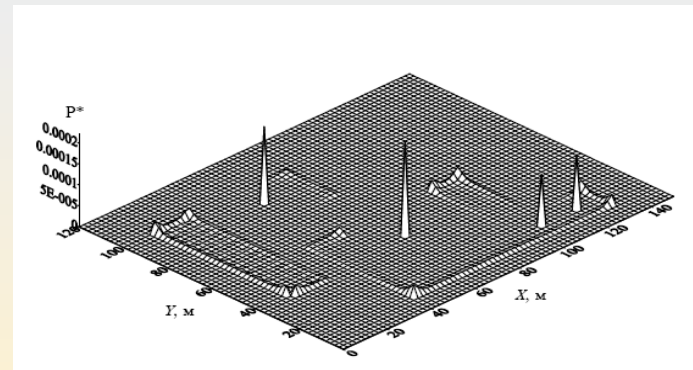
а)



б)

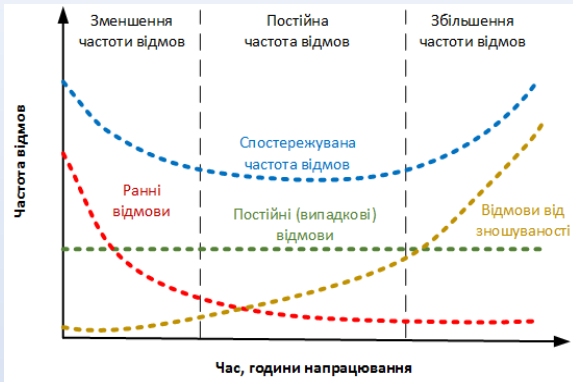


в)



РЕЗУЛЬТАТ ВПРОВАДЖЕННЯ

Заходи по зменшенню втрат від аварійних режимів побудовані на забезпеченні надійності через кількість оглядів енергооб'єктів за рахунок використання БПЛА.

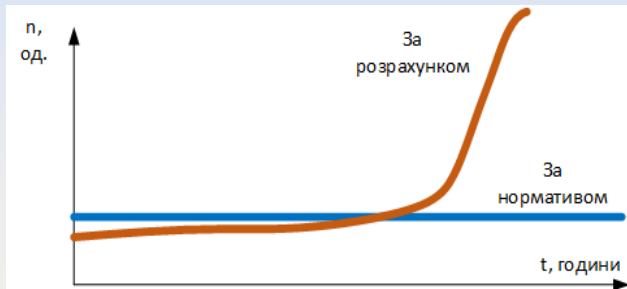


Кількість оглядів має бути залежною від похідної функції відмов:

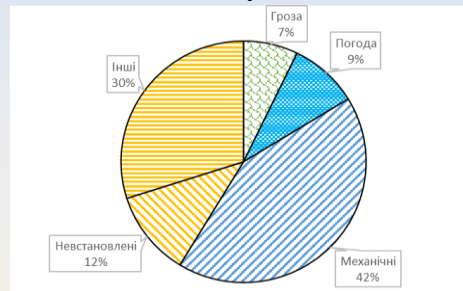
$$N = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{\text{Авар}(t_0 + \Delta t) - \text{Авар}(t_0)}{\Delta t} \right) = \text{Авар}'(t)$$

Українська енергосистема має значне зношення обладнання. Тобто система оглядів в теперішній час не дозволяє забезпечити необхідний рівень безвідмовної роботи.

Класифікація відмов за трьома етапами



Графік оглядів за нормативом і за розрахунком



Розподіл автоматичних відключень ЛЕП з простом більше години



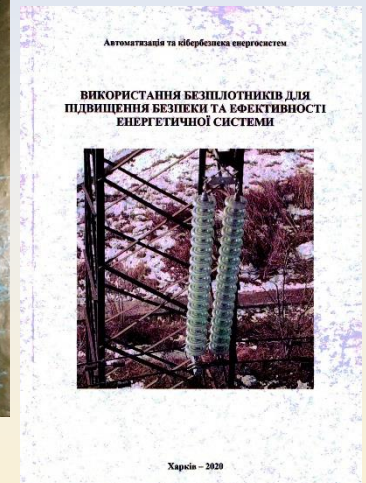
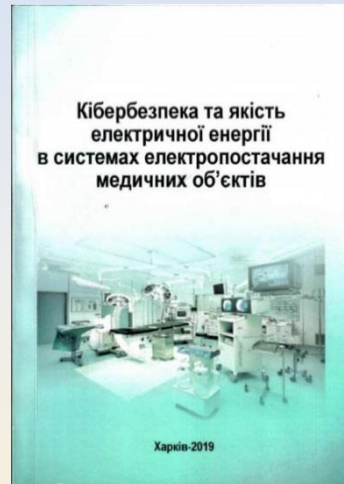
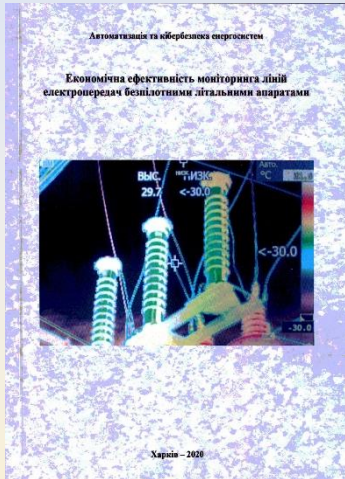
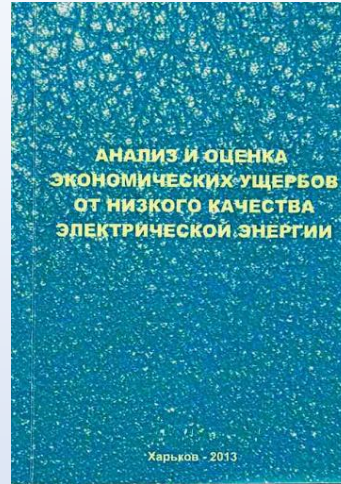
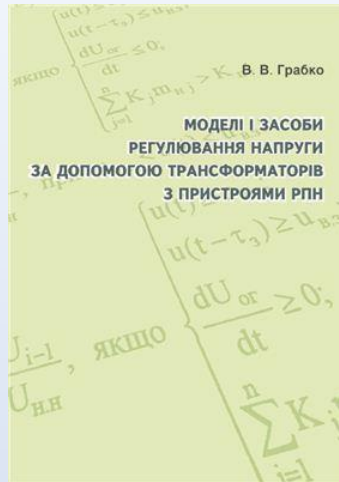
Квадрокоптер DJI Matrice 210 RTK V2 Combo

Економічний ефект від впровадження комплексу БПЛА в електроенергетичній системі однієї області (наприкладі Харківської області) за п'ять років експлуатації становить: 274,38 млн грн.

ПАТЕНТИ

1. Пат. 15299 Україна, МПК H02H 3/20. Пристрій занулення в мережах із заземленою нейтраллю / Абракітов В.Е., Карпалюк І.Т. [Режим доступу] Пристрій занулення електроустановок у мережах із заземленою нейтраллю.
2. Пат. 24461 Україна, МПК H02H 3/20. Заземлюючий пристрій в електричних мережах з ізольованою нейтраллю / Абракітов В.Е., Карпалюк І.Т. [Режим доступу] Заземлюючий пристрій в електричних мережах з ізольованою нейтраллю .
3. Пат. 57808 Україна, МПК G 07 C 3 / 10. Пристрій для контролю ресурсу групи повітряних високовольтних вимикачів / Грабко В.В., Грабко В.В., Лебедь О.М., Бальзан І.В.; Заявник та патентотримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201010718; Заявл. 06.09.2010; Опубл. 10.03.2011; Бюл. №5. – 9 с.
4. Пат. 63421 Україна, МПК G 07 C 3 / 10. Пристрій для контролю ресурсу комутаційних апаратів / Грабко В.В., Грабко В.В., Лебедь О.М., Осельський О.В.; Заявник та патентотримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201102691; Заявл. 09.03.2011; Опубл. 10.10.2011; Бюл. №19. – 7 с.
5. Пат. 63850 Україна, МПК G 07 C 3 / 10. Пристрій для контролю ресурсу повітряних високовольтних вимикачів / Грабко В.В., Грабко В.В., Колмачов К.І.; Заявник та патентотримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201102746; Заявл. 09.03.2011; Опубл. 25.10.2011; Бюл. №20. – 6 с.
6. Пат. 64969 Україна, МПК G 05 B 23 / 00. Пристрій для діагностування системи захисту технологічного об'єкта / Грабко В.В., Євтухівський М.В.; Заявник та патентотримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201104751 ; заявл. 18.04.2011; опубл. 25.11.2011; Бюл. № 22.– 5 с.
7. Пат. 64994 Україна, МПК G 07 C 3 / 10. Пристрій для контролю ресурсу комутаційних апаратів / Грабко В.В., Бартецький А.А.; Заявник та патентотримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201104950 ; заявл. 20.04.2011; опубл. 25.11.2011, Бюл. № 22.– 6 с.
8. Пат. 66032 Україна, МПК G 07 C 3 / 10. Пристрій для контролю ресурсу комутаційних апаратів / Грабко В.В., Грабко В.В., Писклярова А.В., Кривий А.І.; Заявник та патентотримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201105555; Заявл. 04.05.2011; Опубл. 26.12.2011; Бюл. №24. – 5 с.
9. Пат. 66044 Україна, МПК G 07 C 3 / 10. Пристрій для контролю ресурсу комутаційних апаратів / Грабко В.В., Грабко В.В., Писклярова А.В., Муравський О.А.; Заявник та патентотримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201105615; Заявл. 04.05.2011; Опубл. 26.12.2011; Бюл. №24. – 7 с.
10. Пат. 76409 Україна, МПК G 05 C 3 / 10. Пристрій для діагностування системи захисту технологічного об'єкта / Грабко В.В., Євтухівський М.В.; Заявник та патентотримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201204567; Заявл. 11.04.2012; Опубл. 10.01.2013; Бюл. №1. – 7 с.
11. Патент України № 84385, МПК G06G7/18. Пристрій для визначення похідної огинаючої синусоїдального сигналу / Грабко В.В., Бальзан І.В.; Заявник та патентотримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201301898; Заявл. 18.02. 2013; опубл. 25.10.2013; Бюл № 20. – 6 с.
12. Пат. 88814 Україна, МПК G 07 C 3 / 10. Пристрій для контролю роботи пристрою регулювання під навантаженням силового трансформатора / Грабко В.В., Бальзан І.В.; Заявник та патентотримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201214110; Заявл. 11.12. 2012; Опубл. 10.04.2014; Бюл. №7. – 7 с.
13. Пат. 90371 Україна, МПК G 07 C 3 / 10. Пристрій для контролю ресурсу групи комутаційних апаратів / Грабко В.В., Грабко В.В., Кметь Н.Д.; Заявник та патентотримувач Вінницький національний університет. – № u201314381; Заявл. 09.12.2013; Опубл. 26.05.2014; Бюл. №10. – 14 с.
14. Пат. 100440 Україна, МПК G01R 29/027. Пристрій для оцінювання залишкового робочого ресурсу силового масляного трансформатора / Грабко Володимир Віталійович (UA); Бомбик Вадим Сергійович (UA) ; Опубл. 27.07.2015; Бюл. №14.
15. Пат. 104548 Україна, МПК G 07 C 3 / 10. Пристрій для контролю ресурсу комутаційних апаратів / Грабко В.В., Грабко В.В., Занін М.П.; Заявник та патентотримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201506639; Заявл. 06.07.2015; Опубл. 10.02.2016; Бюл. №3.
16. Пат. 105094 Україна, МПК G 07 C 3 / 10. Пристрій для контролю ресурсу комутаційних апаратів / Грабко В.В., Поліщук А.Л., Грабко В.В., Співак І.А.; Заявник та патентотримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201506642; Заявл. 06.07.2015; Опубл. 10.03.2016; Бюл. №5.
17. Пат. 105431 Україна, МПК H 02 P 13 / 00. Регулятор напруги для силових трансформаторів / Грабко В.В., Поліщук А.Л., Грабко В.В., Бальзан І.В.; Заявник та патентотримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201506652; Заявл. 06.07.2015; Опубл. 25.03.2016; Бюл. №6.
18. Пат. 132156 Україна, МПК G 01 K 13 / 08. Пристрій для безконтактного вимірювання температури / Грабко В.В., Грабко В.В., Бартецький А.А., Здітовецький Ю.С.; Заявник та патентотримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201809603; Заявл. 24.09.2018; Опубл. 11.02.2019; Бюл. №3.
19. Пат. 137512 Україна, МПК G 07 C 3 / 10. Пристрій для діагностування електричного привода високовольтного вимикача / Грабко В.В., Грабко В.В., Дідушок О.В.; Заявник та патентотримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201903558; Заявл. 08.04.2019; Опубл. 25.10.2019; Бюл. №20.
20. Пат. 139605 Україна, МПК G 01 K 13 / 08. Пристрій для безконтактного вимірювання температури / Грабко В.В., Грабко В.В., Ротар А.В., Ткачук В.П.; Заявник та патентотримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201907035; Заявл. 24.06.2019; Опубл. 26.12.2019; Бюл. №24.
21. Пат. №117967, Україна, МПК G01R 31/01, G06F 17/18. Спосіб визначення взаємної кореляційної функції шумових сигналів / Бабак В.П., Запорожець А.О., Мартинюк Г.В., Щербак Л.М.; заявник та патентовласник Інститут технічної теплофізики НАН України; заявл. 14.12.2016; опубл. 25.10.2018. Бюл. №20.
22. Пат. №112900, Україна, МПК G01W1/02. Портативна метеорологічна метеостанція / Бабак В.П., Запорожець А.О.; заявник та патентовласник Інститут технічної теплофізики НАН України; заявл. 22.07.2015; опубл. 10.01.2017. Бюл. №1.
23. Пат. № 47130, Україна, МПК H02M 7/04. Спосіб перетворення змінної напруги в постійну і пристрій для здійснення цього способу / Скопенко В.В., Скопенко В.В., Скопенко В.В.; заявники та патентовласники Скопенко В.В., Скопенко В.В., Скопенко В.В.; заявл. 01.08.2001; опубл. 17.06.2002, Бюл. №6
24. Пат. № 55277, Україна, МПК G08B 13/00. Спосіб виявлення вторгнення в простір, що охороняється, і пристрій для його здійснення / Скопенко В.В., Скопенко В.В., Скопенко В.В.; заявники та патентовласники Скопенко В.В., Скопенко В.В., Скопенко В.В.; заявл. 02.10.2002; опубл. 17.06.2003, Бюл. №3
25. Пат. № 47131, Україна, МПК G01R 19/00. Пристрій для безконтактного виміру електричних сигналів / Скопенко В.В., Скопенко В.В., Скопенко В.В.; заявники та патентовласники Скопенко В.В., Скопенко В.В., Скопенко В.В.; заявл. 01.08.2001; опубл. 17.06.2002, Бюл. №6

МОНОГРАФІЇ



ВИСНОВКИ

1 Запропонований метод комплексного автоматизованого моніторингу об'єктів енергетичної системи України із залучення БПЛА дозволяє забезпечити її безпечне та ефективне функціонування.

2 Розроблено блок автоматизації розрахунків щодо визначення місця пошкодження ЛЕП на базі БПЛА. Блок забезпечив автоматичний вибір інтервалу аналізу параметрів аварійного режиму, дозволив визначити види КЗ, особливу фазу, дозволив виділити пошкоджену фазу та приблизне місце КЗ. Точне місце КЗ або пошкодження визначається за допомогою БПЛА.

3 Розроблена, чисельно реалізована та протестована методика, призначена для розрахунку ЕП навколо ЛЕП щодо безпечної навігації БПЛА - основного елемента запропонованої системи моніторингу.

4 Розроблено блок автоматизації розрахунків щодо визначення місця пошкодження ЛЕП на базі БПЛА. Блок забезпечив автоматичний вибір інтервалу аналізу параметрів аварійного режиму, дозволив визначити види КЗ, особливу фазу, дозволив виділити пошкоджену фазу та приблизне місце КЗ. Точне місце КЗ або пошкодження визначається за допомогою БПЛА.

5 На базі розробленої моделі розрахунку електричних полів у неоднорідних середовищах запропоновані ефективні наукові підходи і програмні засоби для чисельного розрахунку розподілу напруженості електричного поля навколо і всередині неоднорідних включень, якими з електричної точки зору є БПЛА, з урахуванням їх реальної геометричної конфігурації та електричних параметрів. Це дозволило провести аналіз впливів електричних полів на системи керування БПЛА та визначити зони, які можуть бути небезпечними для його функціонування. Розрахунки показали, що зовнішнє низькочастотне електричне поле викривляється у присутності БПЛА: рівні його напруженості можуть збільшуватися у 2-8 разів в залежності від умов впливу.

ВИСНОВКИ

6 Розроблений метод розрахунку електричного поля для визначення напруженості електричного поля над верхівками струмопровідних стрижнів, які імітують гострі крайки елементів електроенергетичних об'єктів, блискавкоприймачі, канали високовольтних розрядів, тощо завдяки врахування нелінійного закону зміни напруженості електричного поля і зниження потенціалу в напрямках, перпендикулярних осі стрижня та над його верхівкою. Математичне моделювання утворення корони на вершинах заземлених електродів за допомогою даної моделі та проведені експериментальні дослідження показали, що інтенсивність корони, яка характеризується її виміряним струмом, залежить від об'єму зон, у яких напруженість електричного поля перевищує критичний рівень пробою у слабо неоднорідних полях - 30 кВ/см.

7 Розроблено метод визначення наявності коронного розряду на елементах електричного обладнання по акустичному шуму, який він створює. За допомогою спектрального аналізу акустичних шумів коронного розряду визначені акустичні спектри, притаманні тільки даному процесу. Це дозволяє виділяти відповідні спектральні пакети на фоні шумів обладнання або квадрокоптера. За допомогою спектрально-акустичного методу розраховані розподіли акустичних полів від коронного розряду для визначення розташування корони в просторі.

8 Експериментально досліджені порушення якості електричної енергії в електромережах внаслідок наявності коронного розряду. Проведені дослідження виявили вищі гармоніки напруги у всіх розглянутих системах електропостачання. Отримані результати дозволяють визначити коронні розряди за акустичним спектром із використанням БПЛА.

ВИСНОВКИ

9 Розроблена статистична модель для визначення ймовірності удару блискавки в електроенергетичні об'єкти з урахуванням їх висоти і габаритів, а також можливості розвитку від них зустрічної іскри. Дана модель заснована на аналізі наявних даних про параметри блискавок, а також про електрофізичні процеси при пробі довших повітряних проміжків. Порівняння отриманих результатів з відомими експериментальними даними показало їх збіг в межах менш ніж 20 %. Використання даної моделі для дослідження процесів, які супроводжують просування лідерного каналу блискавки на останньому етапі перед "вибором" місця удару заземленого об'єкта, дозволило визначити прогнозоване число ударів у блискавковідводи та об'єкти, що захищаються, та оцінити ступінь впливу числа використовуваних блискавковідводів. Контроль стану систем блискавкозахисту здійснюється за допомогою БПЛА.

10 Результати роботи використані в енергокомпаніях України. Результати роботи доповідались за фінансовою підтримкою НАТО у якості лекцій на тренувальних курсах з питань безпечного та надійного використання безпілотників у 2018 р. (SPS NATO Advanced Training Course G.5427) та 2019 р. (SPS NATO Advanced Training Course G.5613).

11 Впровадження заходів з використання контролю стану систем електропостачання за допомогою БПЛА дозволило отримати значний економічний ефект в енергетичних компаніях.

В результаті виконання представленої роботи вирішено стратегічно важливе завдання створення і впровадження методів підвищення безпеки та ефективності функціонування об'єднаної енергетичної системи України із застосуванням безпілотних літальних апаратів, які підвищують надійність, стійкість і ефективність її роботи.