

Автоматизація та кібербезпека енергосистем

ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПЛОТНИКІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ



Харків – 2020

УДК 621.315.17

С 59

Авторський колектив:

Сокол Є.І., Резинкіна М.М., Гриб О.Г., Сендерович Г.А., Карпалюк І.Т.,
Грабко В.В., Запорожець А.О., Швець С.В.

Затверджено до друку вченою радою Національного технічного
університета «Харківський політехнічний інститут»
(Протокол № 2 від 28.02.2020р.)

Рецензенти:

М.Л. Лисиченко, д-р техн. наук, проф. (Харківський національний
технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка);

В.Г. Ягуп, д-р техн. наук, проф. (Харківський національний університет
міського господарства імені О.М. Бекетова);

Сокол Є.І.

С 59 Використання безпілотників для підвищення безпеки та ефективності
енергетичної системи / Є.І. Сокол, М.М. Резинкіна, О.Г. Гриб та ін.; під
ред. Сокола Є.І. – Х.: ФОП Бровін О.В., 2020. – 148 с.
ISBN 978-617-7738-94-6

Монографія присвячена створенню комплексу методів і засобів їх реалізації,
спрямованих на підвищення безпеки функціонування об'єднаної енергетичної системи, а
також на підвищення її енергоефективності при використанні безпілотників.

Монографія призначена для інженерно-технічних працівників енергосистем,
співробітників проектних організацій та студентів електроенергетичних спеціальностей.

Іл.: Табл.: 11. Бібліогр. наймен.: 136.

ISBN 978-617-7738-94-6

© Сокол Є.І., Резинкіна М.М., Гриб О.Г.,
Сендерович Г.А., Карпалюк І.Т.,
Грабко В.В., Запорожець А.О.,
Васильченко В.І., Швець С.В., 2020

ЗМІСТ

Вступ.....	3
1 Моніторинг параметрів об'єктів енергетики за допомогою безпілотних апаратів.....	5
2 Удосконалення методів однобічного визначення місця пошкодження ліній електропередачі в мережах з ефективно заземленою нейтраллю на базі БПЛА.....	10
2.1 Математична модель однобічного визначення місця пошкодження лінії електропередачі по параметрах аварійного режиму	11
2.1.1 Однофазне коротке замикання	11
2.1.2 Двофазне коротке замикання.....	19
2.1.3 Трифазне коротке замикання.....	23
2.2 Методика визначення місця пошкодження лінії електропередачі по параметрах режиму, отриманим на одній її стороні	25
2.2.1 Розрахунок параметрів системи протилежного кінця лінії	26
2.2.2 Розрахунок струмів короткого замикання від системи протилежного кінця лінії.....	29
2.2.3 Методика визначення відстані до місця пошкодження	33
3 Автоматизація визначення місця пошкодження лінії електропередачі за допомогою БПЛА.....	35
3.1 Функціональне призначення блоку автоматизації розрахунків.....	35
3.2 Вибір моменту початку і тривалості інтервалу аналізу аварійного режиму	36
3.2.1 Визначення моменту початку КЗ	38
3.2.2 Мінімізація інтервалу аналізу аварійного режиму	38
3.3 Визначення виду КЗ і особливої фази	42
3.4 Визначення положення місця КЗ	50
4 Експериментальні дослідження методів визначення місця пошкодження в умовах експлуатації.....	51
4.1 Програмно-апаратний комплекс "ЦПРС"	52
4.2 Аналіз аварійних відключень ліній електропередачі в мережах напругою 110 кВ	58
4.2.1 Пошкодження повітряної лінії "Л-СиМ"	58
4.2.2. Пошкодження повітряної лінії "И-С"	65
4.2.3 Пошкодження повітряної лінії "К-Б"	68
5 Математичні моделі електричних полів ліній електропередачі.....	71
5.1 Аналітичні методи моделювання електричних полів ліній електропередачі.....	71
6 Фізичне моделювання розрядів у довгих повітряних проміжках з урахуванням наявності корони на вершинах заземлених об'єктів.....	75
6.1 Опис високовольного експериментального стенду і методики проведення досліджень	75
6.2 Результати експериментальних досліджень процесів пробую при наявності коронного розряду на вершинах заземлених стрижнів.....	77

7	Математичне моделювання електромагнітних процесів утворення корони при роботі електроенергетичних об'єктів.....	86
7.1	Моделювання електричних полів при наявності стрижнів з округленими вершинами.....	86
7.1.1	Моделювання електричних полів при наявності криволінійних поверхонь розділу	87
7.1.2	Розрахунок ЕП в околиці електропровідного циліндричного стрижня.....	93
7.1.3	Вплив геометрії стрижнів з округленими вершинами на рівні максимальної напруженості ЕП	94
7.2	Комбінована методика математичного моделювання посилення електричного поля на заокруглених вершинах дуже довгих циліндричних стрижнів	97
7.2.1	Розрахунок ЕП циліндричного довгого стрижня з кроком розрахункової сітки, пропорційним його радіусу	97
7.2.2	Розрахунок ЕП довгого циліндричного стрижня з кроком розрахункової сітки, пропорційним його довжині	99
7.2.3	Розрахунок посилення ЕП на вершинах довгих циліндричних стрижнів	100
8	Фізичне моделювання електрофізичних процесів утворення корони при роботі електроенергетичних об'єктів	103
8.1	Фізичне моделювання електромагнітних процесів при розвитку корони на стрижневих електродах з вершинами різної форми	103
8.1.2	Математичне моделювання процесів утворення корони на вершинах стрижневих електродів	105
9	Акустична діагностика наявності коронного розряду	108
9.1	Зв'язок якісних параметрів електричної енергії і коронного розряду.....	108
9.2	Акустичні шуми в електричних установках і коронний розряд	109
9.3	Експериментальні дослідження акустичної складової коронного розряду	110
9.3.1	Виконання акустичних замірів і їх результати	111
9.3.2	Спектральний розклад аудіо фрагментів шуму коронного розряду	112
9.4	Розпізнавання коронного розряду за наявністю спектральних складових	117
9.5	Побудова акустичного поля коронного розряду	121
9.5.1	Побудова кривої сили звука від елементів з коронним розрядом.....	123
9.5.2	Розрахунок звукового поля від елементів з коронним розрядом.....	126
	Перелік посилань.....	132

ВСТУП

Збереження безпеки та енергоефективності функціонування об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України при мінімальних енерговитратах є одним з найважливіших умов забезпечення енергонезалежності країни. Будь-які відмови і збої при роботі систем передачі електроенергії від виробника до споживача призводять до значних втрат електроенергії. Звідси слідує необхідність якнайшвидшого відновлення працездатності елементів ОЕС після аварій. При цьому особливе значення має моніторинг стану систем передачі електроенергії від виробника до споживача. Такий моніторинг спрямований на запобігання відключень ліній електропередачі (ЛЕП) і аварій на високовольтних підстанціях, гідро, тепло і атомних електростанціях (ГЕС, ТЕС і АЕС), а також на швидке відновлення їх працездатності. Найбільш перспективним сучасним методом діагностики стану об'єктів енергетики, який вимагає значно менших енерговитрат у порівнянні з існуючими, а також дозволяє мінімізувати терміни відновлення працездатності елементів ОЕС після аварій, є моніторинг із застосуванням безпілотних літальних апаратів (БПЛА) – безпілотників. При цьому контроль стану досліджуваних об'єктів шляхом їх оптичної реєстрації, реєстрації за допомогою тепловізорів, засобів вимірювання акустичних сигналів, а також реєстрації часткових розрядів, що мають місце в ізоляції, проводиться в автоматичному режимі без залучення дорогої в обслуговуванні льотної техніки (гвинтокрили).

Енергоефективність ОЕС України істотно залежить від оперативної передачі інформації про розподіл величин напружень вздовж ЛЕП і характеру метеоумов. Використання БПЛА для контролю і фіксації цих параметрів по довжині ліній електропередачі дозволяє знизити втрати при передачі енергії за рахунок регулювання напруги окремих ділянок електричних мереж. Крім того, наявність таких даних, отриманих в режимі реального часу, дозволяє істотно підвищити точність короткострокового прогнозування режиму їх роботи і поліпшити диспетчерське управління енергосистемою в цілому при розрахунках режимів мереж. Таким чином, розробка комплексу методів підвищення безпеки функціонування та енергоефективності ОЕС України з застосуванням безпілотників представляє актуальну науково-технічну задачу.

Оперативний контроль стану ЛЕП, а також високовольтних підстанцій, ГЕС, ТЕС і АЕС є невід'ємною частиною системи забезпечення надійності енергопостачання та усунення причин аварійних відключень. Управління рухом БПЛА при моніторингу безпеки об'єктів енергетичної системи може бути зроблено за допомогою вимірювання напруженості електричного (ЕП) або магнітного (МП) поля. Аналіз даних параметрів за допомогою розроблених математичних моделей використовується також для оптимізації режимів роботи і структури досліджуваних енергетичних об'єктів.

Найбільш поширеними ушкодженнями ліній електропередачі є обриви проводів, в тому числі внаслідок їх обмерзання, перехрещення, пробоїв ізоляторів та ін., що призводить до коротких замикань (КЗ) на ЛЕП. Для швидкого усунення виниклої аварії необхідно точне визначення місця

пошкодження. Приблизне розташування і тип КЗ визначаються за допомогою розроблених апаратних засобів і алгоритмів. Потім ця інформація вводиться в систему управління БПЛА, за допомогою якого визначається точне місце пошкодження з оптимізацією шляху проходження оперативної виїзної ремонтної бригади служби лінії. З огляду на те, що доступ до ЛЕП для визначення місця пошкодження в ряді випадків ускладнений і є трудомістким та тривалим процесом, алгоритм пошуку місця пошкодження з застосуванням БПЛА виявляється вельми ефективним.

На практиці дуже складно або взагалі неможливо виміряти параметри електромагнітних полів всередині різних технічних пристроїв, в тому числі БПЛА, особливо в аварійних режимах. Для вирішення даної проблеми розроблені та програмно реалізовані методи математичного моделювання тривимірних електромагнітних полів в неоднорідних середовищах. Такі моделі зокрема дозволяють отримати еталонні значення розподілів ЕП і МП, які можна порівнювати з вимірюваними БПЛА.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1 Арбузов Р.С., Овсянников А.Г. Современные методы диагностики воздушных линий электропередачи. Новосибирск: Наука, 2009. - 136 с.
- 2 Книжников Ю.Ф. Аэрокосмические методы географических исследований. // Ю.Ф. Книжников, В.И. Кравцова, О.В.Тутубалина - М.: Academia, 2004. 333 с.
- 3 Skarbek L., Zak A., Ambroziak D. Damage detection strategies in structural health monitoring of overhead power transmission system // 7th European Workshop on Structural Health Monitoring July 8-11, 2014. La Cité, Nantes, France. P. 663 – 670.
- 4 Li L. The UAV intelligent inspection of transmission lines // International Conference on Advances in Mechanical Engineering and Industrial Informatics (AMEII 2015). P. 1542 – 1545.
- 5 Adabo G.J. Unmanned aircraft system for high voltage power transmission lines of Brazilian electrical system // AUVSI's Unmanned Systems 2013. Washington (USA). 2013.
- 6 Безпека та моніторинг енергосистем безпілотними літальними апаратами. Монографія / Сокол Є.І., Гриб О. Г., Резинкіна М.М., Сендерович Г.А., Бабак С.В., Шевченко С.Ю., Гапон Д.А., Зуєв А.О., Швець С.В., Йерусалимова Т.С.: / Типографія ФОП Андреев К.В. - Харків: 2017г.- 381 с.
- 7 Гребеников А.Г. Общие виды и характеристики беспилотных летательных аппаратов: справ. пособие / А.Г. Гребеников, А.К. Мялица, В.В. Парфенюк и др. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2008. 377 с.
- 8 Митин М. Д. Современные тенденции развития отрасли беспилотных летательных аппаратов / М. Д. Митин, Д. Б. Никольский. - GEOMATICS №4. Данные дистанционного зондирования. 2013. с. 27-31.
- 9 Гребеников А.Г. Проблемы создания беспилотных авиационных комплексов в Украине / А.Г. Гребеников, А.К. Мялица, В.В. Парфенюк, О.И. Парфенюк, С.В. Удовиченко. - Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии № 42, 2009, с. 111-119.
- 10 Бессонов В.А. Электромагнитная совместимость: Учебное пособие. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2000. – 80 с.
- 11 Демирчян К.С., Нейман Л. Р., Коровкин Н.В., Чечурин В.Л. Теоретические основы электротехники: в 3-х т. Том 3. – М.: Изд.-во "Питер", 2006. - 377 с.
- 12 A. Tzinevrakis, D. Tsanakas, E. Mimos Analytical calculation of the electric field produced by single circuit power lines with horizontal arrangement of the conductors Power Engineering 51st Internationales Wissenschaftliches Kolloquium Technische Universität Ilmenau September 11 – 15, 2006.

13

http://deet.ftn.uns.ac.rs/files/tehres/TR_2012_Juhas_Milutinov_Pekaric.pdf

14 Сендерович Г.А. Проектирование систем электроснабжения. / Г.А. Сендерович, О.Г. Гриб, П.Г. Щербакова // Харьков: Из-во "ТОЧКА", 2014. Обсяг 144 стор.

15 Проектирование питающих сетей / [О.Г. Гриб, Г.А. Сендерович, В.Н. Полищук, О.Н. Довгалюк, Д.Н. Калюжный]. – Харьков: ХГАГХ, 2007. – 217 с.

16 Decision making support at emergency situations electric systems / Yevgen Biletskiy, Valentina Chikina, Gennady Senderovich and other // Proceeding of the Fourth IASTEG International conference POWER AND ENERGY SYSTEMS – 2004, – June 28-30, Rhodes, Greece. – P. 199 – 204.

17 Methods and Models for Control of Emergency Situations in Power Systems / Yevgen Biletskiy, Valentina Chikina, Gennady Senderovich and other // Wseas Transactions on Systems. – 2005. – Issue 8, Volume 4. – ISSN 1109-2777. – <http://www.wseas.org>. – P. 1339-1348.

18 Methods and Models for Decision-Making Support at Emergency Events in Power Systems / Yevgen Biletskiy, Valentina Chikina, Gennady Senderovich and other // Wseas Transactions on Systems. – 2005. – Issue 8, Volume 4. – ISSN 1109-2777. – <http://www.wseas.org> – P. 1349-1354.

19 Малый А.С., Шалыт Г.М., Айзенфельд А.И. Определение мест повреждения линий электропередачи по параметрам аварийного режима. – М.: Энергия, 1972. – 216 с.

20 Стогний Б.С., Оробец Ю.Н., Супруновская Н.И. Методика определения места повреждения ЛЭП на базе микропроцессорной системы регистрации // Микропроцессорные системы управления электроэнергетическими объектами. Часть I. – Киев: АН УССР. – 1990. – С. 58-64.

21 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 патентоутримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201010718; Заявл. 06.09.2010; Опубл. 10.03.2011; Бюл. №5. – 9 с.

22 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 патентоутримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201102691; Заявл. 09.03.2011; Опубл. 10.10.2011; Бюл. №19. – 7 с.

23 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 патентоутримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201102746; Заявл. 09.03.2011; Опубл. 25.10.2011; Бюл. №20. – 6 с.

24 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 патентоутримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201104751 ; заявл. 18.04.2011; опубл. 25.11.2011, Бюл. № 22.– 5 с.

25 Пат. 64994 Україна, МПК G 07 C 3 / 10. Пристрій для контролю ресурсу комутаційних апаратів / Грабко В.В., Бартецький А.А.; Заявник та патентоутримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201104950 ; заявл. 20.04.2011; опубл. 25.11.2011, Бюл. № 22.– 6 с.

26 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 патентоутримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201105555; Заявл. 04.05.2011; Опубл. 26.12.2011; Бюл. №24. – 5 с.

27 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 патентоутримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201105615; Заявл. 04.05.2011; Опубл. 26.12.2011; Бюл. №24. – 7 с.

28 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 патентоутримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201204567; Заявл. 11.04.2012; Опубл. 10.01.2013; Бюл. №1. – 7 с.

29 Патент України № 84385, МПК G06G7/18. Пристрій для визначення похідної огинаючої синусоїдального сигналу / Грабко В.В., Бальзан І.В.; Заявник та патентоутримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201301898; Заявл. 18.02. 2013; опубл. 25.10.2013; Бюл № 20. – 6 с.

30 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 патентоутримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201214110; Заявл. 11.12. 2012; Опубл. 10.04.2014; Бюл. №7. – 7 с.

31 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 патентоутримувач Вінницький національний університет. – № u201314381; Заявл. 09.12.2013; Опубл. 26.05.2014; Бюл. №10. – 14 с.

32 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.

33 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 патентоутримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201506639; Заявл. 06.07.2015; Опубл. 10.02.2016; Бюл. №3.

34 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 патентоутримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201506642; Заявл. 06.07.2015; Опубл. 10.03.2016; Бюл. №5.

35 Пат. 105431 Україна, МПК Н 02 Р 13 / 00. Регулятор напруги для силових трансформаторів / Грабко В.В., Поліщук А.Л., Грабко В.В., Бальзан І.В.; Заявник та патентоутримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201506652; Заявл. 06.07.2015; Опубл. 25.03.2016; Бюл. №6.

36 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 патентоутримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201809603; Заявл. 24.09.2018; Опубл. 11.02.2019; Бюл. №3.

37 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 патентоутримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201903558; Заявл. 08.04.2019; Опубл. 25.10.2019; Бюл. №20.

38 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 патентоутримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201907035; Заявл. 24.06.2019; Опубл. 26.12.2019; Бюл. №24.

39 Грабко В.В. Методи і засоби для дослідження об'єктів, що обертаються, за тепловими полями: монографія / В.В. Грабко, В.В. Грабко – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 155 с.

40 Грабко В.В., Грабко В.В. Математична модель для коригування температурних зображень об'єктів при контролі електрообладнання // Міжвідомчий науково-технічний збірник. Електромашинобудування та електрообладнання. Тематичний випуск. Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика. Київ: Техніка, 2006. – С. 394–396.

41 Diagnostic Systems For Energy Equipments / V.P. Babak, S.V. Babak, M.V. Myslovych, A.O. Zaporozhets, V.M. Zvaritch. – Springer, 2020. – 290 p. doi: 10.1007/978-3-030-44443-3

42 Автоматизированные методы и средства определения мест повреждения линий электропередачи / О.Г. Гриб, А.А. Светелик, Г.А. Сендерович, Д.Н. Калюжный; Учебное пособие. – Харьков: ХГАГХ, 2003. – 146 с.

43 Гриб О.Г., Сендерович Г.А., Калюжный Д.Н. Одностороннее определение места повреждения воздушных линий по параметрам аварийного режима в сетях с эффективно заземленной нейтралью // Электрические станции. – 2006. – №2. – С.42-46.

44 Руководящие указания по релейной защите. Вып. 11. Расчеты токов короткого замыкания для релейной защиты и системной автоматики в сетях 110-750 кВ. – М.: Энергия, 1979. – 152 с.

45 Гриб О.Г., Сендерович Г.А., Калюжный Д.Н., Светелик А.А. Определение места повреждения при однофазных коротких замыканиях в питающих сетях сельскохозяйственных районов Украины // Вісник харківського

державного технічного університету сільського господарства – Харків: ХДТУСГ. – 2001. – Вип.6. – С. 292-297.

46 Одностороннее определение места повреждения по параметрам аварийного режима / О.Г. Гриб, Г.А. Сендерович, Д.Н. Калюжный и др. // Збірник наукових праць Донецького національного технічного університету. Серія “Електротехніка і енергетика”. – Донецьк: ДонНТУ. – 2002. Випуск 50. – С. 98 - 101.

47 Расчетные выражения для определения места повреждения при многофазных коротких замыканиях в сетях с эффективно заземленной нейтралью / О.Г. Гриб, Г.А. Сендерович, Д.Н. Калюжный и др. // Вісник національного технічного університету “ХПІ”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2002. – №3. – С. 241-246.

48 Приближенный учет подпитки с противоположного конца линии при определении расстояния до места повреждения / О.Г. Гриб, Г.А. Сендерович, Д.Н. Калюжный и др. // Вісник національного технічного університету “ХПІ”. – Харків: НТУ “ХПІ” – 2002. – №7. Том II. – С. 178-184.

49 Методика одностороннего определения места повреждения воздушных линий с двухсторонним питанием в сетях с эффективно заземленной нейтралью / О.Г. Гриб, Г.А. Сендерович, Д.Н. Калюжный, А.В. Кольченко // Вісник національного технічного університету “ХПІ”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2002. – №20. – С. 191-196.

50 Одностороннее определение места повреждения воздушных линий в сетях с эффективно заземленной нейтралью / О.Г. Гриб, Г.А. Сендерович, Д.Н. Калюжный и др. // Наукові праці Донецького Національного технічного університету. Серія “Електротехніка і енергетика”. – Донецьк: ДонНТУ. – 2004. Випуск 79. – С. 78-81.

51 Компьютерные информационные технологии в электроэнергетике: Учебное пособие / И.Г. Абраменко, О.Г. Гриб, Г.А. Сендерович и др. – Харьков: ХГАГХ, 2003. – 170 с.

52 Сендерович Г.А. Автоматизация расчетов по определению места повреждения линии электропередачи // Наукові праці Донецького Національного технічного університету. Серія “Електротехніка і енергетика”. – Донецьк: ДонНТУ. – 2004. Випуск 79. – С. 175-178.

53 Сендерович Г.А. Задание интервала анализа аварийного режима при автоматическом определении места повреждения в сети с эффективно заземленной нейтралью // Вісник Національного технічного університету “Харківський Політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2004. – №42. – С. 118 - 123.

54 Алгоритмы функционирования и опыт эксплуатации микропроцессорных устройств определения мест повреждения линий электропередачи. / А.К. Белотелов, А.-С.С. Саухатас, А.И. Иванов, Д.Р. Любарский. - Электрические станции, 1997, №12, с. 7-12.

55 Совершенствование приборов одностороннего определения места повреждения на ВЛ. / А.Е. Аржаников, Е.А. Аржаников, М.Г. Марков, А.М. Чухин, - Электрические станции, 1998, №3, с. 43 - 46.

56 Сендерович Г.А. Автоматическое определение вида замыкания и особой фазы // Электротехника и электромеханика. – 2005. – №2. – С. 51 – 54.

57 Опыт использования определителя места повреждения «Анфас» в сетях 110 кВ / О.Г. Гриб, Г.А. Сендерович, Д.Н. Калюжный, К.М. Карпенко // Вісник харківського державного технічного університету сільського господарства. – Харків: ХДТУСГ. – 2003. – Вип.19. Том I. – С. 42-50.

58 Методика и технические средства для диагностики состояния заземляющих устройств энергообъектов / Р.К.Борисов, Е.С.Колечицкий, А.В.Горшков и др. // Электричество. - 1996. - № 1. - С. 65-67.

59 Резинкина М.М. Численное моделирование электрического поля заземлителей // Электронное моделирование. - 2000. - №1. - С. 107-112.

60 Техника высоких напряжений / Под общ. ред. Д.В.Разевига. -М.-Л.: Энергия, 1964. - 471 с.

61 Рябкова Е.Я. Расчет заземляющих устройств. - М.: МВССО СССР, МЭИ, 1973. - 127 с.

62 Техника высоких напряжений / Под общей ред. М.В.Костенко. - М.: Высшая школа, 1973. - 527 с.

63 Rezinkina M.M., Rezinkin O.L., Koliyshko G.M. Numerical and experimental investigation of the reliance of high voltage substations' grounding system in short circuit regimes // Proc. of 11-th International Sympos. on High Voltage Engineering. - London (United Kingdom). - 1999.

64 World Health Organization International EMF Project “Electromagnetic Fields and Public Health: Extremely low frequency fields and cancer”. 2001. Fact sheet N°263. 4 P. (<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd52/fact263.pdf>).

65 Каден Г. Электромагнитные экраны в высокочастотной технике и технике электросвязи. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1957. 327 с.

66 Шапиро Д.Н. Основы теории электромагнитного экранирования. Ленинград: “Энергия”, 1975. 109 с.

67 De Wulf M., Wouters P., Sergeant P., etc. // J. of Magnetism and Magnetic Materials. 2007. № 316. P. 908-911.

68 Clemens M., Weiland T. // IEEE Trans. on Magnetics. 2002. V.38. № 2. P. 569-572.

69 Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. М.: Энергоатомиздат, 1984. 150 с.

70 Taflove A., Hagness S. Computational electrodynamics: the finite difference time domain method. Boston – London: Artech House, 2000. 852 p.

71 Кошляков Н.С., Глинер Э.Б., Смирнов М.М. Уравнения в частных производных математической физики. М.: Высшая школа, 1970. 710 с.

72 Biro O., Preis K. // IEEE Trans. on Magnetics. 1989. Vol. 25. No. 4. P. 3145-3159.

- 73 Clemens M., Weiland T. // IEEE Trans. on Magnetics. 2003. Vol. 39. № 3. P. 1175-1178.
- 74 Резинкина М.М. // ЖТФ. 2007. Т. 77. № 11. С. 17-24.
- 75 Круг К. А. Физические основы электротехники (Т.1). М.-Л.: Государственное энергетическое издательство, 1946. 472с.
- 76 Стрэттон Дж.А. Теория электромагнетизма. М.-Л.: ОГИЗ Гостехиздат, 1948. 539 с.
- 77 Salinas E., Rezinkina M., Atalaya J. // Environmentalist. 2009. Vol. 29. № 2. P. 141-146.
- 78 Резинкина М.М., Гринченко В.С. // Вестник НТУ “ХПИ”. 2012. № 61. С. 75-81.
- 79 Losito O., Dimiccoli V., Barletta D. // Proc. of 10th Int. Symp. on EMC (York, UK). 2009. 4 p.
- 80 Mimos E.I., Tsanakas D.K., Tzinevrakis A.E. // Electrical engineering. 2010. № 91. P. 327-335.
- 81 Резинкина М.М., Резинкин О.Л., Светличная Е.Е., Сосина Е.В. Комбинированный расчет усиления электрического поля в окрестности вершин тонких проводящих стержней // Технічна електродинаміка. - 2015. - № 3. - С. 10-16.
- 82 Резинкина М.М., Резинкин О.Л., Светличная Е.Е. Электрическое поле в окрестности тонких проводящих стержней большой длины // Журнал технической физики. – 2015. - Т. 85, № 9. - С. 17-24.
- 83 Круг К. А. Физические основы электротехники. - М.-Л.: Государственное энергетическое издательство, 1946. – 472 с
- 84 Стрэттон Дж.А. Теория электромагнетизма. М.-Л.: ОГИЗ, Гостехиздат, 1948. – 539 с.
- 85 Базелян Э.М., Райзер Ю.П. Физика молнии и молниезащиты. – М.: Физматлит, 2001. – 319 с.
- 86 Базелян Э.М., Ражанский И.М. Искровой разряд в воздухе. Новосибирск: Наука, 1988. – 164 с.
- 87 Cooray V., Rakov V., Theethayi N. The lightning striking distance– Revisited // J. Electrostatics. 2007. N 65. P. 296–306.
- 88 Тамм И.Е. Основы теории электричества. М.: Наука, 1989. 504 с.
- 89 Резинкина М.М. Влияние проводимости ветвей дендритов в полиэтиленовой изоляции на их рост при приложении высокого напряжения // ЖТФ. – 2005. Т. 75, № 6. С. 85-92.
- 90 Резинкина М.М., Недзельский О.С., Хребтов С.М. и др. // ЖТФ. 1998. Т. 68. Вып. 1. С. 106-109.
- 91 Cooray V. Lightning Protection. London: The Institution of Engineering and Technology, 2010. 1036 p.
- 92 Хаушильд В., Мош В. Статистика для электротехников в приложении к технике высоких напряжений. - Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 311 с.
- 93 Кучинский Г.С., Кизеветтер В.Е., Пинталь Ю.С. Изоляция установок высокого напряжения. - М.: Энергоатомиздат, 1987.- 368 с.

- 94 Акопян А.А. // Труды ВЭИ. 1940. Вып. 36. С. 94–159.
- 95 IEC 62305-1. International standard “Protection against lightning – Part 1: General principles”. Geneva: IEC, 2010. 67 p.
- 96 Rakov V.A. // Int. J. of Plasma Environmental Science & Technology. 2010. Vol.4. No.1. P. 80-85.
- 97 D’Alessandro F., Berger G. Laboratory studies of corona emissions from air terminals // J. Phys. D: Appl. Phys. – 1999. – N 32 – P. 2785–2790.
- 98 Bazelyan E. M., Raizer Yu. P. Lightning Physics and Lightning Protection. CRC Press, 2000, 325 p.
- 99 Rezinkina M.M., Knyazyev V.V., Kravchenko V.I. Mathematical description of leader channel propagation for selection of model experiment parameters and lightning guard systems // Technical Physics Volume 52, Issue 8, August 2007, P. 1006-1010.
- 100 D’Alessandro F. Experimental study of the effect of wind on positive and negative corona from a sharp point in a thunderstorm // Journal of Electrostatics. Vol. 67, Iss. 2–3, 2009, P. 482–487.
- 101 Rezinkina, M.M. The calculation of the penetration of a low-frequency three-dimensional electric field into heterogeneous weakly conducting objects // Elektrichestvo Issue 8, 2003, P. 50-55.
- 102 Rezinkina, M.M. Calculation of three-dimensional electric fields in systems with thin wires // Elektrichestvo Issue 1, 2005, P. 44-49.
- 103 Rezinkina M.M. Simulation of Electric Fields in the Presence of Rods with Rounded Upper Ends. Technical Physics, 2015, Vol. 60, No. 3, pp. 337–343.
- 104 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.
- 105 Akyuz M., Cooray V. The Franklin lightning conductor: conditions necessary for the initiation of a connecting leader // J Electrostatics, 51-52, 2001, pp. 319-325.
- 106 Капцов Н. А. Коронный разряд. М.–Л., Гостехиздат. 1947. 226 с.
- 107 Александров Г. Н. Коронный разряд на линиях электропередачи. М., «Энергия», 1964. 228 с.
- 108 Кравченко В. Д., Левитов В. И., Попков В. И. Потери мощности и энергии на корону на проводах действующей линии 500 кВ.– «Электричество», 1964, № 5, с. 7–12.
- 109 Особенности излучения коронного разряда отрицательной полярности в воздухе в режиме импульсов Тричела/ В.И Карась и др. Физика плазмы, 2008, том. 34, №10, с. 1-8
- 110 Ashmarin G.V., Lelevkin V.M, Niyazaliev I.A., Tokarev A.V. The estimation of steel rope quality by a corona discharge.// 5-International Conference Plasma Physics and Plasma Technologies, Minsk, Belarus, 16-22 September, 2006, Vol.2, p. 808–811.

111 Niedbalski, Jorge. High-voltage multichannel rail gap switch triggered by corona discharge // Review of scientific Instruments, 2003, Vol. 74, Issue 7, p. 3520–3524.

112 Puchkarev, Viktor; Gundersen, Martin. Energy efficient plasma processing of gaseous emission using a short pulse discharge. // Applied Physics Letters, 1997, Vol.71, Issue 23, p.3364–3367.

113 Flagan, R.C., and Seinfeld, J.H. Fundamental of Air Pollution Engineering. 1988, Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J.

114 Леб Л. Основные процессы электрических разрядов в газах. – М.; Л: Тех. теор. издат., 1950.

115 Райзер Ю.П. Физика газового разряда. – М.: Наука, 1987

116 Мик Дж., Крэгс Дж. Электрический пробой в газах. – М.: ИЛ, 1969.

117 Качество электрической энергии. Том2. «Контроль качества электрической энергии» Под ред. Гриба О. Г. – Харьков: Монография ПП«Граф-Ікс», 2014. – 244 с.

118 Релейний захист та кібербезпека енергетичних систем / Є. І. Сокол, О.Г. Гриб, В.П. Старенький, О.Ю.Заковоротний, В. М. Баженов, Ю. В, Владимиров, А.Л. Єрохін, С.Ю. Шевченко, С.В. Швець, Д.А. Гапон, М. М.Одегов, Н.В. Рудевіч, І.Т. Карпалюк, Т.С. Донецька (Підручник / Під загальною редакцією член-кореспондента НАН України, доктора технічних наук, професора Сокола Є.І.). – Харків: ФОП Панов О.М., 2019. – 390 с.

119 Елементи цифрової енергетики в контролі стану мережі, що побудовані на вимірах допоміжних параметрів / Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії = Вестник Национального технического университета "ХПИ". Серія: Электрические машины и электромеханическое преобразование энергии = Bulletin of the National Technical University «KhPI». Series: Electrical Machines and Electromechanical Energy Conversion : зб. наук. пр./ Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Харків : НТУ «ХПІ», 2019. – №20 С 67-73

120 Wallis, J. 2015. Making the invisible visible: UViRCO, an innovation success story. In: The 5th CSIR conference, CSIR ICC, Pretoria, South Africa, 8 -9 October 2015

121 G. G. Karady, G. Besztercey and M. W. Tuominen, "Corona caused deterioration of ADSS fiber-optic cables on high voltage lines," in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 14, no. 4, pp. 1438-1447, Oct. 1999.

122 Christo van der Walt “Corona discharge detection using an ultraviolet imaging camera”, July 15th, 2016, Published in Articles: EE Publishers <https://www.ee.co.za/article/corona-discharge-detection-using-ultraviolet-imaging-camera.html> (Accessed 27 February 2019). (Eng)

123 V. Abramov, Ivan & I. Abramov, Andrei & Nikitin, Y & Sosnovich, Ella & Bozek, Pavol & Stollmann, Vladimir. (2015). Diagnostics of electrical drives. 364-367. 10.1109/EDPE.2015.7325321.

124 Ching-Chau Su, Cheng-Chi Tai, Chien-Yi Chen, Ju-Chu Hsieh and Jiann-Fuh Chen, "Partial discharge detection using acoustic emission method for a

waveguide functional high-voltage cast-resin dry-type transformer," 2008 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, Beijing, 2008, pp. 517-520. doi: 10.1109/CMD.2008.4580339

125 A.O. Akumu F. Adachi K. Arii "A 3-D Numerical Simulation of Partial Discharge Acoustic Wave Propagation in a Model Transformer" IEEE Int. Symp. On Electrical Insulation pp. 183-186 Apr. 7-10 2002.

126 Акустичні методи діагностики коронного розряду в лініях електропередач / О.Г. Гриб, І.Т. Карпалюк, С.В. Швець, Н.В. Рудевіч, Н.С. Захаренко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка Технічні науки. Випуск 203 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». Харків : ХНТУСГ, 2019 .- С. 12-15

127 Виявлення акустичних характеристик коронного розряду / Гриб О.Г., Карпалюк І.Т., Дем'яненко Р. // III Міжнародна науково-технічна конференція «Енергоефективність та енергетична безпека електроенергетичних систем (EEES-2019)». Збірник наукових праць. Харків : «Друкарня Мадрид», 2019. – С. 75

128 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.

129 S.A. Ashraf B.G. Stewart C. Zhou J.M. Jahabar "Modelling of Acoustic Signals from Partial Discharge activity" 3rd International IEEE-GCC conference March 19-22 2006.

130 Марпл. –мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения: Пер. с англ. Мир, 1990. 584 с.

131 Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных: Пер. с англ. М.: Мир, 1989, 540 с.

132 Релей, Теория звука, т. I и II. Гостехиздат, 1940-1944

133 Гордиенко В.А., Ильичев В.М., Захоров Л.Н. Векторно-фазовые методы в акустике. М.: Наука, 1989, 223 с.

134 Роберт Дж. Урик Основы гидроакустики. Ленинград: Судостроение. 1978. 445 с.

135 Моніторинг якості в електричній мережі за умови цифрової енергетики / О.Г. Гриб, І.Т. Карпалюк, С.В. Швець, Н.В. Рудевіч, Н.С. Захаренко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка Технічні науки. Випуск 204 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». Харків : ХНТУСГ, 2019. - С 3-5

136 Контекстний підхід до єдиного цифрового середовища енергетичних систем/ О.Г. Гриб, І.Т. Карпалюк, С.В. Швець, Н.В. Рудевіч // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність = Bulletin of the National Technical University «KhPI». Series:

Energy: Reliability and Energy Efficiency : зб. наук. пр./ Нац. техн. ун-т "Харків.
політехн. ін-т". – Харків : НТУ «ХПІ», 2019. – №14 (1339) – С. 3-7