

Автоматизація та кібербезпека енергосистем

Економічна ефективність моніторингу ліній електропередач безпілотними літальними апаратами



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.,
Гرابко В.В., Запорожець А.О., Томашевський Р.С., Старенький В.П.,
Швец С.В., Захаренко Н.С.

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 Економічна ефективність моніторинга ліній електропередач
безпілотними літальними апаратами / Є.І. Сокол, М.М. Резинкіна,
О.Г. Гриб та ін.; під ред. Сокола Є.І. – Х.: ФОП Бровін О.В., 2020. –
140 с.
ISBN 978-617-7738-95-3

Монографія присвячена ефективності використання безпілотних літальних паратів
в енергетичній системі, а також впливу електромагнітних полів на обслуговуючий
персонал енергетичного комплексу.

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

Іл.: Табл.: 21. Бібліогр. наймен.: 313.

ISBN 978-617-7738-95-3

© Сокол Є.І., Резинкіна М.М., Гриб О.Г.,
Сендерович Г.А., Карпалюк І.Т.,
Гرابко В.В., Запорожець А.О.,
Томашевський Р.С., Старенький В.П.,
Швец С.В., Захаренко Н.С., 2020

ЗМІСТ

Вступ.....	3
1 Аналіз безпілотних апаратів та їх технічні параметри для моніторингу енергетичних об'єктів.....	4
1.1 Огляд існуючих і перспективних безпілотних літальних апаратів.....	8
1.1.1 БПЛА розроблені в Україні. Розглянемо вітчизняні БПЛА, як найбільш ймовірних кандидатів для вирішення завдань моніторингу об'єктів енергосистеми України.	13
2 Математичні моделі розповсюдження електричних полів ліній електропередачі та їх вплив на БПЛА і персонал енергосистем.....	19
2.1 Аналітичні методи моделювання електричних полів ліній електропередачі.....	19
2.2 Чисельні методи моделювання електричних полів ліній електропередачі при наявності біологічних об'єктів.....	23
2.2.1 Розрахунок ЕП методом скінченних об'ємів.....	23
2.2.2 Розрахунок ЕП за наявності в санітарній зоні біологічних об'єктів.....	30
2.3 Математичне моделювання впливу електромагнітних полів на біоелектричну активність мозку людини.....	40
2.3.1 Використання еквівалентних схем заміщення.....	40
2.3.2 Дослідження за допомогою моделі Hodgkin–Huxley.....	42
2.3.3 Дослідження впливу повільно наростаючого і спадаючого струму на біоелектричну активність нейронів.....	47
3 Підвищення надійності блискавкозахисту електроенергетичних і біологічних об'єктів.....	58
3.1 Моделювання електричного поля в околиці тонких провідних стрижнів великої довжини.....	58
3.1.1 Постановка завдання розрахунку ЕП в околиці провідних стрижнів великої довжини.....	60
3.1.2 Розподіл ЕП при наявності іонізованої стримерної зони поблизу вершини лідерного каналу блискавки.....	65
3.2 Статистична модель електрофізичних процесів при ударі блискавки в наземні об'єкти.....	68
3.2.1 Статистичне моделювання "вибору" блискавкою місця удару.....	72
3.2.2 Порівняння експериментальних і розрахункових даних за місцем розряду в довгих повітряних проміжках.....	76
3.3 Дослідження процесів коронування на вершинах заземлених стрижнів, які імітують об'єкти, що захищаються, та блискавкоприймачі... ..	78
3.4 Фізичне моделювання електромагнітних процесів при розвитку корони на стрижневих електродах з різними вершинами.....	79
3.4.1 Методика вимірювання струму корони.....	79
3.4.2 Залежність струму корони від характеру електричного поля.....	81
3.4.3 Залежність струму корони від геометрії стрижня.....	83
3.4.4 Експериментальні результати.....	86

3.5 Математичне моделювання коронних розрядів зі стрижневих електродів	87
3.5.1 Порівняння розрахункових та експериментальних результатів	87
3.5.2 Залежність струму корони від E_{\max}	88
3.5.3 Залежність початкового значення корони від об'єму зони, обумовленої критичним ЕП	89
4 Економічна ефективність від використання БПЛА на об'єктах енергетики	93
4.1 Аналіз стану енергетичних об'єктів	93
4.2 Загальне споживання (вироблення) електричної енергії в Україні	98
4.3 Розрахунок втрат від аварійних режимів	99
4.4 Пропозиція заходів по зменшенню втрат від аварійних режимів за рахунок використання БПЛА	108
4.4.1 Забезпечення надійності через кількість оглядів енергооб'єктів .	108
4.5 Розрахунок економічного ефекту від впровадження використання БПЛА.....	117
4.5.1 Визначення дохідну частину від впровадження заходу	118
4.5.2 Визначення витрат на придбання комплектів БПЛА.....	120
4.5.3 Визначення витрат на поточні витрати підтримання БПЛА	121
4.5.4 Визначення ефективності впровадженого заходу на п'ять років .	122
Перелік посилань.....	123

ВСТУП

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.

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.

Однією з важливих систем, які забезпечують безпечну роботу енергетичних об'єктів, є система блискавкозахисту. За допомогою розроблених методів статистичного моделювання електрофізичних процесів при просуванні лідерного каналу блискавки до землі і заснованому на них програмному забезпеченні розраховуються розподіли ймовірності попадання блискавок на територію енергетичних об'єктів (високовольтних підстанцій, ГЕС, ТЕС і АЕС) і даються рекомендації по доукомплектуванню та модернізації існуючої системи блискавкозахисту. Використання БПЛА дозволяє оперативне контролювати стан систем блискавкозахисту після кожної грози.

При моніторингу ліній електропередачі виникає необхідність з'ясування місць розташування коронного розряду, який є джерелом вищих гармонік. Виявлення наявності коронного розряду та його розташування проводиться за допомогою акустичного методу. Цей метод дозволяє виявляти коронний розряд за спектральними акустичними характеристиками. На ці характеристики впливають вищі гармоніки коронного розряду, які мають позитивний зворотній зв'язок з вищими гармоніками мережі. Цей метод може використовувати дистанційно, він є гальванічне розв'язаним і придатним для застосування при діагностиці на базі 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., Иерусалимова 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 Беспилотные Летательные Аппараты TRIMBLE [Электронный ресурс] <http://trimble.org.ua/oborudovanie/bespilotnye-letatelnye-apparaty/bespilotnye-letatelnye-apparaty-trimble.html>
- 11 Da-Jiang Innovations Science and Technology Co. 2015. [Электронный ресурс] - www.dji.com
- 12 Drone Aviation Corp. 2015. [Электронный ресурс] - www.droneaviationcorp.com
- 13 Чугуевский авиационный ремонтный завод. 2015. [Электронный ресурс] - <http://charz.com.ua>
- 14 ЮМИК Аероспейс. 2015. [Электронный ресурс] - smic-aerospace.com.

15 ЧФ Геоком, 2020. [Электронный ресурс]
<https://geocom.in.ua/p287597512-bpla-tornado.html> .

16 Цепляева Т.П. Исследование влияния различных параметров беспилотного летательного аппарата на его взлетную массу / Т.П. Цепляева, А.Н. Лохов. - Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии № 42, 2009, с. 34-38.

17 ГОСТ 12.1.002-84. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах.- М.: Изд-во стандартов, 1985. - 5 с.

18 Бессонов В.А. Электромагнитная совместимость: Учебное пособие. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2000. – 80 с.

19 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.

20 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.

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

22 Самарский А.А. Теория разностных схем. - М.: Наука, 1989.–616 с.

23 Резинкина М.М. Численный расчет проникновения низкочастотного трехмерного электрического поля в неоднородные слабопроводящие объекты // Электричество. - 2003. - № 8. - С. 50-55.

24 Штемлер В.М., Колесников С.В. Особенности взаимодействия электромагнитных полей с биообъектами // Биологическое действие электромагнитных излучений. ВИНТИ. Сер. Физиология человека и животных. -М.: 1978. -Т.22. - С. 9-67.

25 Колечицкий Е.С. Расчет электрических полей устройств высокого напряжения. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 166 с.

26 Dimbylow P.J. Current densities in a 2 mm resolution anatomically realistic model of the body induced by low frequency electric fields // Phys. Med. Biol. - 2000. - N45. – P. 1013-1022.

27 Bedard C., Kroger H., Destexhe A. Modeling extracellular field potentials and the frequency-filtering properties of extracellular space // Biophysical Journal. – 2004. – V. 86. – P. 1829–1842.

28 Rezinkina M., Bydianskaya E., Shcherba A. Numerical evaluation of external electromagnetic fields influence on brain electrical activity // Proc. of 4d International Workshop on biological effects of electromagnetic fields, Crete (Greece). – 2006. – P. 172–179.

29 Rezinkina M., Bydianskaya E., Shcherba A. Alteration of brain electrical activity by electromagnetic field // The Environmentalist. – 2007. – V. 27, № 4. – P. 417–422.

30 Hodgkin A.I., Huxely A.F. A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve // J. Physiol. – 1952. – V. 117. – P. 500–544.

31 Adair R.K. Biophysical limits on athermal effects of RF and microwave radiation // Bioelectromagnetics. - 2003. – V. 24. – P. 39–48.

32 Bell G., Marino A., Chesson A., Struve F., Electrical states in the rabbit brain can be altered by light and electromagnetic fields // Brain Research. - 1992. – V. 570. – P. 307–315.

33 Board statement on restrictions on human exposure to static and time varying electromagnetic fields and radiation // Documents of the NRPB. – Chilton. Didcot. Oxon. – 1993. – V. 4, № 5. – P. 69.

34 Peasgood W., Dissado L.A., Lam C.K., Armstrong A., Wood W. A novel electrical model of nerve and muscle using Pspice // J. Phys. D: Appl. Phys. – 2003. – V. 36. – P. 311–329.

35 Rezinkina M., Markov M. Results of theoretical estimation of the slowly rising and falling current pulses influence on excitation processes in neurons // Proc. of 5th International Workshop on Biological Effects of Electromagnetic Fields. – Palermo (Italy). – 2008.

36 Rezinkina M., Bydianskaya E. Theoretical evaluation of the possible mechanisms of external electromagnetic fields interaction with brain own electrical activity // Proc. of EHE'07 (2nd International Conference on Electromagnetic Fields, Health and Environment). – Wroclaw (Poland). – 2007.

37 Wieraszko A. Amplification of evoked potentials recorded from mouse hippocampal slices by very low repetition rate pulsed magnetic fields // Bioelectromagnetics. - 2004. – N 25. – P. 537–544.

38 Wieraszko A., Ahmed Z. The influence of Pulsed Magnetic Fields (PMF) on the synaptic transmission and on the action potential in the mouse nervous system // Proc. of 4d International Workshop on biological effects of electromagnetic fields, Crete (Greece). – 2006. – P. 430–445.

39 Ahmed Z., Wieraszko A.A. Magnetic field-induced increase in excitability of hippocampal neurons is mediated by electrical synapses // Proc. of 3d International Workshop on Biological Effects of Electromagnetic Fields, Kos (Greece), – 2004. – P. 607–613.

40 Koch C. Biophysics of Computation: Information Processing in Single Neuron, Oxford University Press: New York, 1999. – P. 562.

41 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.

42 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.

- 43 Резинкина М.М. Численное моделирование электрического поля заземлителей // Электронное моделирование. - 2000. - №1. - С. 107-112.
- 44 Техника высоких напряжений / Под общ. ред. Д.В.Разевига. -М.-Л.: Энергия, 1964. - 471 с.
- 45 Рябкова Е.Я. Расчет заземляющих устройств. - М.: МВССО СССР, МЭИ, 1973. - 127 с.
- 46 Техника высоких напряжений / Под общей ред. М.В.Костенко. - М.: Высшая школа, 1973. - 527 с.
- 47 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.
- 48 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>).
- 49 Каден Г. Электромагнитные экраны в высокочастотной технике и технике электросвязи. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1957. 327 с.
- 50 Шапиро Д.Н. Основы теории электромагнитного экранирования. Ленинград: "Энергия", 1975. 109 с.
- 51 De Wulf M., Wouters P., Sergeant P., etc. // J. of Magnetism and Magnetic Materials. 2007. № 316. P. 908-911.
- 52 Clemens M., Weiland T. // IEEE Trans. on Magnetics. 2002. V.38. № 2. P. 569-572.
- 53 Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. М.: Энергоатомиздат, 1984. 150 с.
- 54 Taflove A., Hagness S. Computational electrodynamics: the finite difference time domain method. Boston – London: Artech House, 2000. 852 p.
- 55 Кошляков Н.С., Глинер Э.Б., Смирнов М.М. Уравнения в частных производных математической физики. М.: Высшая школа, 1970. 710 с.
- 56 Biro O., Preis K. // IEEE Trans. on Magnetics. 1989. Vol. 25. No. 4. P. 3145-3159.
- 57 Clemens M., Weiland T. // IEEE Trans. on Magnetics. 2003. Vol. 39. № 3. P. 1175-1178.
- 58 Резинкина М.М. // ЖТФ. 2007. Т. 77. № 11. С. 17-24.
- 59 Круг К. А. Физические основы электротехники (Т.1). М.-Л.: Государственное энергетическое издательство, 1946. 472с.
- 60 Стрэттон Дж.А. Теория электромагнетизма. М.-Л.: ОГИЗ Гостехиздат, 1948. 539 с.
- 61 Salinas E., Rezinkina M., Atalaya J. // Environmentalist. 2009. Vol. 29. № 2. P. 141-146.
- 62 Резинкина М.М., Гринченко В.С. // Вестник НТУ "ХПИ". 2012. № 61. С. 75-81.
- 63 Losito O., Dimiccoli V., Barletta D. // Proc. of 10th Int. Symp. on EMC (York, UK). 2009. 4 p.

64 Mimos E.I., Tsanakas D.K., Tzinevrakis A.E. // *Electrical engineering*. 2010. № 91. P. 327-335.

65 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.

66 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.

67 Круг К. А. Физические основы электротехники. - М.-Л.: Государственное энергетическое издательство, 1946. – 472 с

68 Стрэттон Дж.А. Теория электромагнетизма. М.-Л.: ОГИЗ, Гостехиздат, 1948. – 539 с.

69 Базелян Э.М., Райзер Ю.П. Физика молнии и молниезащиты. – М.: Физматлит, 2001. – 319 с.

70 Базелян Э.М., Ражанский И.М. Искровой разряд в воздухе. Новосибирск: Наука, 1988. – 164 с.

71 Cooray V., Rakov V., Theethayi N. The lightning striking distance—Revisited // *J. Electrostatics*. 2007. N 65. P. 296–306.

72 Тамм И.Е. Основы теории электричества. М.: Наука, 1989. 504 с.

73 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.

74 Резинкина М.М., Недзельский О.С., Хребтов С.М. и др. // *ЖТФ*. 1998. Т. 68. Вып. 1. С. 106-109.

75 Cooray V. *Lightning Protection*. London: The Institution of Engineering and Technology, 2010. 1036 p.

76 Хаушильд В., Мош В. Статистика для электротехников в приложении к технике высоких напряжений. - Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 311 с.

77 Кучинский Г.С., Кизеветтер В.Е., Пинталь Ю.С. Изоляция установок высокого напряжения. - М.: Энергоатомиздат, 1987.- 368 с.

78 NFPA 780 Standard for the Installation of Lightning Protection Systems, 2004. 108 P.

79 Uman M., Rakov V. A critical review of nonconventional approaches to lightning protection // *American Meteorological Society*. – 2002. – P. 1809–1820.

80 Петров Н., Петрова Г. Физические механизмы развития молниевых разрядов между грозовым облаком и ионосферой // *Журнал технической физики*. – 1999.– Т. 69, вып. 4. – С. 134–137.

81 Mansell E., MacGorman D., Ziegler C., Straka J. Simulated three-dimensional branched lightning in a numerical thunderstorm model // *Journal of Geophysical Research*. – 2002. – № D9, vol. 107.

- 82 . Agoris D.P., Charalambakos V.P., Pyrgioty E., Grzybowski S. Estimation of the protection zone of a Franklin rod using a stochastic model // Proc. of 26th Int. Conf. on Lightning Protection. – Cracow (Poland). - 2002. – P. 270–274.
- 83 Резинкина М.М. Методика расчета прогнозируемого числа поражений молнией протяженных объектов // Журнал технической физики – 2008. – Т. 78, № 5. – С. 1–7.
- 84 Щерба А.А., Резинкина М.М. Электромагнитные поля и их воздействие на объекты. - Киев: "Наукова думка", 2009, 191 с.
- 85 Техника высоких напряжений / Под общей ред. М.В.Костенко. – М.: Высшая школа, 1973, 527 с.
- 86 Петров Н., Петрова Г. // ЖТФ. 1999. Т. 69. Вып. 4. С. 134–137.
- 87 Дульзон А.А., Лопатин В.В., Носков М.Д., Плешков О.И. // ЖТФ. 1999. Т. 69. Вып. 4. С. 48-53.
- 88 Резинкина М.М. // ЖТФ. 2008. Т. 78. № 5. С. 1–7.
- 89 Базелян Э.М., Райзер Ю.П. Искровой разряд. – М.: МФТИ, 1997. – 320 с.
- 90 IEC 62305-2. International standard “Protection against lightning – Part 2: Risk management”. Geneva: IEC, 2010. 84 p.
- 91 Uman M.A. The Art and Science of Lightning Protection. New York: Cambridge University Press, 2008. 240 p.
- 92 Базелян Э.М., Горин Б.Н., Левитов В.И. Физические и инженерные основы молниезащиты. – Л.: Гидрометеоздат, 1978. – 223 с.
- 93 Cooray V. Lightning Protection. London: The Institution of Engineering and Technology, 2010. 1036 p.
- 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 Качество электрической энергии. Том2. «Контроль качества электрической энергии» Под ред. Гриба О. Г. – Харьков: Монография ПП«Граф-Ікс», 2014. – 244 с.
- 97 Анализ и оценка экономических ущербов от низкого качества электрической энергии: Монография / [Онищенко В.А, Самойленко И.А., Гриб О.Г., Жаркин А.Ф., Васильченко В.И., Ущатовский К.В., Сендерович Г.А., Светелик А.Д., Кондратенко К.И., Довгалюк О.Н., Щербакова П.Г., Захаренко Н.С.] / Под ред. В.А. Онищенко. – Харьков: ПП «Граф-Ікс», 2013. – 329 с.
- 98 Гриб О. Г., Праховник А. В., Тесик Ю. Ф., Жаркін А. Ф., Новський В. О., Калінчик В. П., Красінський О. Л., Довгалюк О. М., Светелік О. Д. Автоматизовані системи обліку та якості електричної енергії/ під ред. Гриба О. Г. – Харків: ПП «Ранок-НТ», 2012. – 516 с.
- 99 Sokol E. I., Grib O. G., Shvets S. V. The structural and parametrical organization of elements of power supply system in the conditions of network centrism. Electrical engineering & electromechanics, 2016, no.2, pp 61-64. doi: 10/20998/2074-272X.2016.2.11

100 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.

101 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". Серия: 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

102 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.

103 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

104 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

105 Сокол Е.И., Гриб О.Г., Резинкина М.М., Резинкин О.Л., Светличная Е.Е. Статистическая модель для определения вероятности поражения молнией наземных объектов / Технічна електродинаміка №2.2016. – С.11 – 18.

106 Резинкина М. М., Резинкин О. Л., Литвиненко С. А. Физическое и математическое моделирование электрофизических процессов в системах молниезащиты с учетом появления коронных разрядов // 5-а Всеукраїнська наук. – техн. конф. «ПАСЕБ-2019». – Харків. – 2019. – С. 74.

107 Chrzan K. L., Musiał E., Rezynkina M. M. Lightning inductive overvoltage protection of distribution power lines // 5-а Всеукраїнська наук. – техн. конф. «ПАСЕБ-2019». – Харків. – 2019. – С. 87-90.

108 Резинкина М. М., Резинкин О. Л., Литвиненко С. А. Використання методу скінчених об'ємів для розрахунку електричного поля на верхівках стрижнів // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта,

здоров'я: тези доповідей XXVI міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2019, 2019 р.: у 4 ч. Ч. IV. / за ред. проф. Сокола Є. І. – Харків: НТУ «ХПІ», – С. 241.

109 Данилюк А. Р., Резинкин О. Л., Резинкина М. М. Низкоимпедансный наносекундный обостритель импульсов // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2019, 2019 р.: у 4 ч. Ч. IV. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ», – С. 226.

110 Rezinkina M. M., Rezinkin O. L., Chrzan K. L., Lytvynenko S. A., Veselova N. V. Simulation of the Power Transmission Lines Electrical Field to Ensure Safe Navigation of the Unmanned Aerial Vehicles at Their Monitoring // Proc. of MEMPS'19. – Wroclaw. – 2019.

111 Rezinkin O., Rezinkina M., Danyluk A., Tomashevskyi R. Formation of High-Voltage Pulses with Nanosecond Fronts in Low-Impedance Loads // Proc. of IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (IEEE UKRCON-2019). – 2019. – P. 464-467 DOI: 10.1109/UKRCON.2019.8880015.

112 Rezinkina M. Simulation of Electromagnetic Fields at Sharpening of the Impulse Front in Nonlinear Dielectric // Proc. of UkrMiCo-2019/ – Odessa. – 2019.

113 Rezinkin O., Rezinkina M., Danyluk A. Investigation of High-Voltage Ceramic SMD-Capacitors Non-Linearity for Usage in Sharpening Forming Lines with Nanosecond Rise Times // Proc. of UkrMiCo-2019. – Odessa. – 2019.

114 Rezinkin O., Rezinkina M., Lytvynenko S., Tomashevskyi R. Electromagnetic Compatibility at UAVs Usage for Power Transmission Lines Monitoring // Proc. of APUAVD-2019. – Kiev. – 2019.

115 Резинкина М. М. Расчет электромагнитных полей в неоднородных средах для выбора защитных покрытий // Электротехника и электромеханика, № 5. – 2019. – С. 31-34. (Web of Science)

116 Сокол Є. І., Резинкіна М. М., Резинкін О. Л., Литвиненко С. А., Гриб О. Г. Моделювання електричних полів в околі електропровідних стрижнів – блискавкоприймачів // Bulletin of the National Technical University "KhPI". 66 Series: Hydraulic machines and hydraulic units, № 17. – 2019. – P. 1342. (Web of Science)

117 Zhang Zh, Zeng R., Yu Zh. Measurement of Corona Characteristics and Electromagnetic Environment of ± 800 kV HVDC Transmission Lines under High Altitude Condition, Progress in Electromagnetics Research Symposium Proceedings // Moscow, Russia, August 18-21. – 2009. – P. 61-65.

118 Simmelvuo M. K., et al. Electric power system suppressing corona discharge from viewpoint of environment // European Patent Office, International publication number: WO 2005/043708 (12.05.2005 Gazette 2005/19).

119 Pekarek S., Balek R. Ozone generation by hollow-needle to plate electrical discharge in an ultrasound field // J. Phys. D. Appl. Phys. 37. – 2004. - P. 1214-1220.

120 Naidis G. V. Conditions for inception of positive corona discharges in air // J. Phys. D. Appl. Phys. 38. – 2005. – P. 2211-2214.

121 Sattari P., Gallo C. F., Castle G. S. P., Adamiak K. Trichel pulse characteristics of negative corona discharge in air // J. Phys. D. Appl. Phys. 44/ – 2011. – P. 1-11.

122 Meng X., Zhang H., Zhu J. A general empirical formula of current-voltage characteristics for point-to-plane geometry corona discharges // J. Phys. D. Appl. Phys. 41. – 2008. – P. 1-10.

123 Raizer Yu. P. Gas Discharge Physics, Springer-Verlag: Berlin Heidelberg, 1997.

124 Khalifa M. High-voltage Engineering, Marcel Dekker: New York, 1990.

125 20. Kuffel E., Zaengl W. S., Kuffel J. High Voltage Engineering, Newnes: Oxford, 2000.

126 D'Alessandro F. Berger G. Laboratory studies of corona emissions from air terminals // J. Phys. D. Appl. Phys. Vol. 32. – 1999. – P. 2785-2790.

127 D'Alessandro F. Experimental study of the effect of wind on positive and negative corona from a sharp point in a thunderstorm // J. Electrostat. Vol. 67 (2-3). – 2009. – P. 482-487.

128 Rezinkina M., O. Rezinkin O., D'Alessandro F., et al. Influence of corona on strike probability of grounded electrodes by high voltage discharges // J. Electrostat. Vol. 83. – 2016. – P. 42-51.

129 Rezinkina M. M. Simulation of electric fields in the presence of rods with rounded upper ends // Tech. Phys. Vol. 60. – 2015. – P. 337-343.

130 Tamm I. E. Fundamentals of the theory of electricity // Moscow. Nauka. – 1989.

131 Bazelyan E. M., Rayzer Yu. P. Physics of lightning and lightning protection // Moscow. – Fizmatlit. – 2001.

132 Cooray V. Lightning Protection. London: The Institution of Engineering and Technology. – 2010.

133 Rezinkina M. M. Modeling of the dendrite shape variation with applied electric field strength in poly(ethylene) // Technical Physics Letters. - Vol. 26, iss. 3. – 2000. – P. 196-198.

134 Rezinkina M. M. Growth of dendrite branches in polyethylene insulation under a high voltage versus the branch conductivity // Technical Physics. – Vol. 50, iss. 6. – 2005. – P. 758-765.

135 Rezinkina M. M. Technique for predicting the number of lightning strokes to extended objects // Technical Physics. – Vol. 53, № 5. - 2008. – P. 533-539.

136 Bazelyan E. M., Rayzer Yu. P. Physics of lightning and lightning protection. Moscow: Fizmatlit. – 2001.

137 Cooray V. Lightning Protection. London: The Institution of Engineering and Technology. – 2010.

138 Petrov N. I., Waters R. T. Determination of the striking distance of lightning to earthed structures // Proc. R. Soc. - Vol. 450. – 1995. – P. 589-601.

139 Waters R. T. Negative discharges in long air gaps at Les Renardières: 1978 results // Electra. - Cigre 74. – 1981. – P. 67-216.

- 140 Rezinkina M. M., Rezinkin O. L. Modeling of the electromagnetic wavefront sharpening in a nonlinear dielectric // *Technical Physics*. – Vol. 56, № 3. – 2011. – P. 406-412.
- 141 Clemens M., Weiland T. Discrete electromagnetism with the finite integration technique // *Progress in Electromagnetics Research*. – Vol. 32. – 2001. – P. 65-87.
- 142 Tamm I. E. *Fundamentals of the theory of electricity* // Moscow. Nauka. – 1989.
- 143 Bazelyan E. M., Rayzer Yu. P. *Physics of lightning and lightning protection* // Moscow. – Fizmatlit. – 2001.
- 144 Cooray V. *Lightning Protection*. London: The Institution of Engineering and Technology. – 2010.
- 145 Yuman M. *Lightning*. – Moscow: Mir, 1972.
- 146 Petrov N. I., Waters R. T. Determination of the striking distance of lightning to earthed structures // *Proc. R. Soc.* – Vol. 450. – 1995. – P. 589-601.
- 147 Waters R. T. Negative discharges in long air gaps at Les Renardières: 1978 results // *Electra – Cigre* 74. – 1981. – P. 67-216.
- 148 Akyuz M., Cooray V. The franklin lightning conductor: conditions necessary for the initiation of a connecting leader // *Journal of Electrostatics*. – Vol. 51-52. – 2001. – P. 319-325.
- 149 Bazelyan E. M., Razhanskiy I. M. *Spark in the air*. Novosibirsk. – Nauka. – 1988.
- 150 Krug K. A. *Physical principles of electrical engineering*. Moscow – Leningrad: State Energy Publishing House, 1946.
- 151 Stretton G. A. *Theory of electromagnetism*. Moscow – Leningrad: OGIZ, Gostekhizdat, 1948.
- 152 Rezinkina M. M., Knyazyev V. V., Kravchenko V. I. Statistical model of the lightning leader attraction to ground objects // *Technical Physics*. – Vol. 50, iss. 9. – 2005. – P. 1150-1157.
- 153 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*. – Vol. 52, iss. 8. – 2007. – P. 1006-1060.
- 154 Rezinkina M. M., Technique for predicting the number of lightning strokes to extended objects // *Technical Physics*. – Vol. 53, iss. 5. – 2008. – P. 533-539.
- 155 Akyuz M., Cooray V. The Franklin lightning Conductor: Conditions Necessary for the Initiation of a Connecting Leader // *Journal of Electrostatics*. — 2003. — № 51-52. — P. 319-325.
- 156 D'Alessandro F., Gumley J. R. Electric field modelling of structures under thunderstorm conditions // *24th International Conference on Lightning Protection, Birmingham (U.K.)* — 1998. — P. 457-462.
- 157 Rezinkina M. M. Software for determination of 3-d electrical fields distribution in the vicinity of special installations and systems with lightning-rods

during thunderstorm // Proc. of 24th International Conf. of Lightning Protection. – Birmingham (United Kingdom). – 1998.

158 Mansell E., MacGorman D., Ziegler C., Straka J. Simulated Three-dimensional Branched Lightning in a Numerical Thunderstorm Model // Journal of Geophysical Research. – 2002. – № D9. – Vol. 107.

159 Portela C. Statistical distribution of parameters in lightning impulses in antennas, towers and buildings — methodological aspects // Proc. of IEEE Int. Symp. on EMC, Denver, Colorado (USA). – 1998. – V. 2. – P. 1018-1023.

160 Дульзон А. А., Лопатин В. В., Носков М. Д. и др. Моделирование развития ступенчатого лидера молнии // Журнал технической физики. – 1999. – Т. 69, вып. 4. – С. 48-53.

161 Petrov N. I., Petrova G. N., D'Alessandro F. Quantification of the probability of lightning strikes to structures using a fractal approach // IEEE Trans. on Dielect. and Electrical Insulation. – 2003. – V. 10, № 4. – P. 641-654.

162 Agoris D. P., Charalambakos V. P., Pyrgioty E., Grzybowski S. Estimation of the protection zone of a Franklin rod using a stochastic model // Proc. of 26th Int. Conf. on Lightning Protection. – Cracow (Poland). – 2002. – P. 270-274.

163 Базелян Э. М., Горин Б. Н., Левитов В. И. Физические и инженерные основы молниезащиты. Л.: Гидрометеоздат, 1978, 223 с.

164 Князев В. В., Резинкина М. М., Кравченко В. И., Щерба А. А. Основные направления развития современных методов молниезащиты // Вестник НТУ “ХПИ”. – 2004. – Вып. 35. – С. 102-111.

165 Резинкина М. М., Князев В. В., Кравченко В. И. Статистическая модель процесса ориентировки лидера молнии на наземные объекты // Журнал технической физики. – 2005. – Т. 75, № 9. – С. 44-51.

166 Rakov V. A. Transient response of a tall object to lightning // IEEE Trans. on Electromagn. Compat. – 2001. – Vol. 43, № 4. – P. 654-661.

167 Юман М. Молния. М: Мир, 1972, 327 с.

168 Базелян Э. М., Горин Б. Н., Левитов В. И. Физические и инженерные основы молниезащиты. Л.: Гидрометеоздат, 1978, 223 с.

169 Uman M., Rakov V. A Critical Review of Nonconventional Approaches to Lightning Protection // American Meteorological Society. – 2002. – P. 1809-1820.

170 Месяц Г. А. Генерирование мощных наносекундных импульсов. М.: Советское радио, 1974, 256 с.

171 Briet R. The International Journal of EMCTM, ITEMTM // 1997. – P. 91.

172 CEI IEC 1312-1. International standard Protection against lightning electromagnetic impulse // Geneva: IEC. – 1995. – P 81.

173 Clemens M., Wilke M., Weiland T. Linear-Implicit Time Integration Schemes for Error-Controlled Transient Nonlinear Magnetic Field Simulations // IEEE Transactions on Magnetics. – 2003. – Vol. 39, № 3. – P. 1175-1178.

174 Assessment of the risk of damage due to lightning // Technical report CEI IEC 1662. – Geneva. – 1995. – P. 109.

175 Электрофизические основы техники высоких напряжений / Под ред. Верещагина И. П., Ларионова В. П. — М.: Энергоатомиздат. – 1993. – 54 с.

176 The International Standard CEI/IEC 1024-1 // Protection of structures. – Part I, II: General Principles. – 1990.

177 Ларионов В. П. Основы молниезащиты. М.: Знак, 1999, 103 с.

178 Резинкина М. М., Князев В. В., Кравченко В. И. Расчетное определение вероятности поражения молнией наземных объектов // Журнал технической физики – 2007. – Т. 77, № 1. – С. 63-68.

179 Резинкина М. М., Князев В. В. Математическое моделирование основных закономерностей, влияющих на процесс продвижения лидерного канала молнии к земле // Вестник НТУ “ХПИ”. – Вып. 18. – 2006.

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

181 Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України № 798 від 10.12.2015 «Концепція зняття з експлуатації діючих атомних електростанцій України». – С. 11.

182 Презентація ДП «НАЕК «Енергоатом»: сьогодення, перспективи розвитку та проблемні питання. – Київ, 2017. – Режим доступу: <http://www.xaes.org.ua/pdf/pres201701261048.pdf>

183 Реактори Фламанвіль-3, Олкілуото-3 <https://www.carbonbrief.org/new-nuclear-finlands-cautionary-tale-for-the-ukta>
<https://www.theguardian.com/environment/2016/jul/27/flamanville-france-edf-nuclear-reactor-hinkley-point-c>

184 Лист Державної інспекції ядерного регулювання України №15-55/1439-60 від 01.03.2013 щодо вимог до проекту будівництва енергоблоків №3, 4 Хмельницької АЕС. – Режим доступу: http://necu.org.ua/wp-content/uploads/novi_vumogy_khaes_vidpovid.pdf

185 Презентація «Стратегічний розвиток ядерної галузі. Проблемні питання» зроблена ДП «НАЕК «Енергоатом» на Слуханнях у Комітеті ВРУ з питань паливно-енергетичного комплексу, ядерної політики та ядерної безпеки 15 квітня 2016 р. – С. 34. – Режим доступу: <https://yadi.sk/i/td-Gtgo6r7XBQ>

186 Communication from the Commission «Nuclear Illustrative Programme presented under Article 40 of the Euratom Treaty for the opinion of the European Economic and Social Committee», Brussels, 4.4.2016, SWD(2016) 102 final.

187 Projected Costs of Generating Electricity // International Energy Agency, Nuclear energy agency under the Organisation for Economic Co-operation and Development, 2015. Режим доступу: <https://www.oecd-neo.org/ndd/pubs/2015/7057-proj-costselectricity-2015.pdf>

188 Відповідь на запит Національного екологічного центру України, листом №11673 від 16.08.2013 р.

189 Лист ДП «НАЕК «Енергоатом» «Про надання інформації» №11673 від 16.08.2013 р. – Режим доступу: <http://necu.org.ua/wp-content/uploads/2017/04/vidpovid-ea-2013.pdf>

190 Постанова Кабінету Міністрів України від 7 грудня 2011 р. № 1270 «Про затвердження Комплексної (зведеної) програми підвищення рівня безпеки

енергоблоків атомних електростанцій». – Режим доступу:
<http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/1270-2011-%D0%BF>

191 Звіт «Розвиток відновлюваних джерел енергії в Україні»,
<http://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2017/03/Rozvitok-VDE-v-Ukrai--ni.pdf>

192 The State of the World's Rivers [Режим доступу]
<https://www.internationalrivers.org/>

193 «Позиція WWF щодо розвитку гідроенергетики в Україні» [Режим доступу] <http://wwf.panda.org/uk/?285130/hydropower-Ukraine>

194 Sustainability criteria for hydropower development [Режим доступу]
<https://bankwatch.org/publications/sustainability-criteria-hydropower-development>

195 Динамічні ряди показників енергетичних балансів за 1990-2018 роки (тестова версія) [Режим доступу]
https://ukrstat.org/uk/operativ/operativ2019/energ/drpeb/dr_u.htm (актуальність 2020/02/02)

196 Мелентьев Л.А. Системные исследования в энергетике. – М.: Наука, 1979. – 414 с.

197 Тейл Г. Экономические прогнозы и принятие решений. – М.: Статистика, 1971. – 220 с.

198 Науково-дослідна робота за договором № 06-4/2276-16 від 30.05.2016 р. між Державним підприємством «Національна енергетична компанія «Укренерго» та ТОВ «Карбон Емішн Партнершип» Визначення можливості забезпечення потреб національної економіки та суспільства у електричній енергії та потужності на середньострокову перспективу, з урахуванням стандартів операційної безпеки/науковий керівник Б.А. Костюковський; відповідальний виконавець С.В. Шульженко [та ін.], ТОВ «Карбон Емішн Партнершип». - К. 2016.

199 Руденко Ю.Н., Ушаков И.А. Надежность систем энергетики. М.: Наука, 1986. 252 с.

200 Справочник по общим моделям анализа и синтеза надежности систем энергетики. / Под общей ред. Ю.Н. Руденко М.: Энергоатомиздат 1994.

201 Теоретичні та прикладні основи економічного, екологічного та технологічного функціонування об'єктів енергетики / [В. О. Артемчук, Т. Р. Білан, І. В. Блінов та ін.; за ред. А. О. Запорожця, Т. Р. Білан]. – Київ, 2017. – 312 с.

202 «Перехід України на відновлювану енергетику до 2050 року» / О. Дячук, М. Чепелев, Р. Подолець, Г. Трипольська та ін. ; за заг. ред. Ю. Огаренко та О. Алієвої // Пред-во Фонду ім. Г. Бьоля в Україні. – Київ : Вид-во ТОВ «АРТ КНИГА», 2017. – 88 с.

203 Ashok Bindra Best Practices for Boosting Reliability in Power Supplies [Режим доступу] <https://www.digikey.com/en/articles/techzone/2014/jul/best-practices-for-boosting-reliability-in-power-supplies>

204 Электрофизические проблемы надежности эксплуатации высоковольтных сетей и цепей управления/ Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1999.– 162 с.

205 Укр стат [Режим доступу]
https://ukrstat.org/uk/operativ/operativ2019/energ/cin_el_energ/cin_el_energ_u/c_ele_nI_19_u.htm]

206 Peverett T. When power is done UPS helps make sure you're not out / T. Peverett // Canadian Datasys tems. – 1988. – Vol. 20, N 5. – p. 42-44.

207 Квадрокоптеры України [Режим доступу]
https://store.drone.ua/product/kvadrokopter-matrice-210-rtk-v2-combo/?gclid=Cj0KCQiA-bjyBRCCcARIsAFboWg1qESIws2Vba0YddnfxHFr3EdLcJiEEuhmLKFZ93UEhRUearpiKfvAaAhJCEALw_wcB