

621.31
Б40

АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕНЕРГОСИСТЕМ



**БЕЗПЕКА ТА МОНІТОРИНГ
ЕНЕРГОСИСТЕМ
БЕЗПІЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ
АПАРАТАМИ**

Харків 2017

АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕНЕРГОСИСТЕМ

**БЕЗПЕКА ТА МОНІТОРИНГ
ЕНЕРГОСИСТЕМ
БЕЗПЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ
АПАРАТАМИ**

Харків 2017

УДК 621.31
Б40

Друкується за постановою вченої ради
Національного Технічного Університету
«Харківський політехнічний інститут»
(Протокол № 5 от 2 червня 2017 р.)

Рецензенти:

Доктор технічних наук, професор А. Л. Єрохін
Харківського Національного університету радіоелектроніки
Доктор технічних наук, професор М. Л. Лисиченко
Харківського національного технічного університету сільського господарства
ім. Петра Василенка

**Є. І. Сокол, О. Г. Гриб, М. М. Резинкіна, Г. А. Сендерович, С. В. Бабак,
С. Ю. Шевченко, Д. А. Гапон, А. О. Зуєв, С. В. Швець, Т. С. Ієрусалімова**

Б40

**Безпека та моніторинг енергосистем безпілотними літальними
апаратами**, Є. І. Сокол, О. Г. Гриб, М. М. Резинкіна, Г. А. Сендерович,
С. В. Бабак, С. Ю. Шевченко, Д. А. Гапон, А. О. Зуєв, С. В. Швець, Т. С.
Ієрусалімова / Під загальною редакцією член-кореспондента НАН
України, доктора технічних наук, професора Сокола Є. І.– Харків:–2017,
ФОП Панов А. М., 382 с.

ISBN 978-617-7474-96-7

У монографії розглянуто проблему забезпечення безпеки і моніторингу енергосистем безпілотними літальними апаратами. Дана монографія призначена для студентів і аспірантів електроенергетичних спеціальностей, а також для фахівців, що працюють в галузі проектування та експлуатації енергетичних систем.

**УДК 621.31
Б40**

ISBN 978-617-7474-96-7

©Є. І. Сокол, О. Г. Гриб, М. М. Резинкіна,
Г. А. Сендерович, С. В. Бабак, С. Ю. Шевченко,
Д. А. Гапон, А. О. Зуєв, С. В. Швець,
Т. С. Ієрусалімова, 2017

ЗМІСТ

1 Вступ.....	8
2 Апаратно-програмна реалізація комп'ютеризованої системи дистанційного контролю за допомогою БПЛА.....	12
2.1 Узагальнена структура багатофункціонального безпілотного авіаційного комплексу дистанційного контролю.....	12
2.2 Формування багатофункціональних вимірювальних каналів у безпілотному авіаційному комплексі.....	21
2.3 Фільтроежекційний пристрій.....	24
2.4 Програмне забезпечення багатофункціональної КІВС.....	28
2.5 Апаратна реалізація розробленого безпілотного авіаційного комплексу.....	34
3 Результати експериментальних досліджень системи дистанційного контролю довкілля об'єктів електроенергетики на базі безпілотного авіаційного комплексу.....	41
3.1 Експериментальні дослідження температурного стану повітряних ліній електропередачі за допомогою БПЛА.....	41
3.2 Оцінювання метрологічних характеристик вимірювальних каналів системи БПЛА.....	46
3.3 Результати експериментальних досліджень атмосферного забруднення на межі зони Чорнобильської АЕС за допомогою фільтроежекційного пристрою БПЛА.....	48
3.4 Експериментальні дослідження системи дистанційного контролю потужності експозиційної дози за допомогою БПЛА.....	50
4 Математичні моделі електричних полів ліній електропередачі.....	65
4.1 Аналітичні методи моделювання електричних полів ліній електропередачі.....	65
4.2 Чисельні методи моделювання електричних полів ліній електропередачі при наявності біологічних об'єктів.....	69
4.2.1 Розрахунок ЕП методом скінченних об'ємів.....	70
4.2.2 Розрахунок ЕП за наявності в санітарній зоні біологічних об'єктів.....	79
4.3 Математичне моделювання впливу електромагнітних полів на біоелектричну активність мозку людини.....	92
4.3.1 Використання еквівалентних схем заміщення.....	92
4.3.2 Дослідження за допомогою моделі Hodgkin-Huxley.....	94
4.3.3 Дослідження впливу повільно наростаючого і спадаючого струму на біоелектричну активність нейронів.....	100

5	Удосконалення методів однобічного визначення місця пошкодження ліній електропередачі в мережах з ефективно заземленою нейтраллю.....	112
5.1	Математична модель однобічного визначення місця пошкодження лінії електропередачі по параметрах аварійного режиму.....	113
5.1.1	Однофазне коротке замикання.....	113
5.1.2	Двофазне коротке замикання.....	124
5.1.3	Трифазне коротке замикання.....	129
5.2	Методика визначення місця пошкодження лінії електропередачі по параметрах режиму, отриманим на одній її стороні.....	132
5.2.1	Розрахунок параметрів системи протилежного кінця лінії.....	132
5.2.2	Розрахунок струмів короткого замикання від системи протилежного кінця лінії.....	136
5.2.3	Методика визначення відстані до місця пошкодження.....	141
6	Автоматизація визначення місця пошкодження лінії електропередачі.....	143
6.1	Функціональне призначення блоку автоматизації розрахунків.....	143
6.2	Вибір моменту початку і тривалості інтервалу аналізу аварійного режиму.....	146
6.2.1	Визначення моменту початку КЗ.....	148
6.2.2	Мінімізація інтервалу аналізу аварійного режиму.....	149
6.3	Визначення виду КЗ і особливої фази.....	153
6.4	Визначення положення місця КЗ.....	162
7	Експериментальні дослідження методів визначення місця пошкодження в умовах експлуатації.....	164
7.1	Програмно-апаратний комплекс "ЦПРС".....	164
7.2	Аналіз аварійних відключень ліній електропередачі в мережах напругою 110 кВ.....	171
7.2.1	Ушкодження повітряної лінії "Л-СиМ".....	171
7.2.2	Ушкодження повітряної лінії "И-С".....	179
7.2.3	Ушкодження повітряної лінії "К-Б".....	183
8	Електромагнітні процеси в аварійних режимах на високовольтних підстанціях.....	187
8.1	Моделювання електричних полів в неоднорідному середовищі (земля) при додатку високої напруги до розташованої в ній системі заземлення.....	188
8.2	Дослідження впливу властивостей середовища на розподіл електричного поля в околиці заземлювачів.....	191
8.3	Розрахунок розподілу потенціалів на території високовольтних підстанцій в аварійних режимах.....	203

8.4 Розробка методів оцінки ефективності систем захисного заземлення енергооб'єктів.....	212
8.5 Вибір параметрів тонких електромагнітних екранів для зниження рівнів магнітної індукції.....	217
8.5.1 Постановка задачі.....	220
8.5.2 Математичне моделювання електромагнітних процесів в тонких протяжних екранах.....	222
9 Оцінка імовірності ураження блискавкою електроенергетичних об'єктів і вибір засобів блискавкозахисту підвищеної надійності.....	230
9.1 Моделювання електричного поля в околиці тонких провідних стрижнів великої довжини.....	230
9.1.1 Постановка завдання розрахунку ЕП в околиці проводять стрижнів великої довжини.....	232
9.1.2 Розподіл ЕП при наявності іонізованої стримерної зони поблизу вершини лідерного каналу блискавки.....	238
9.2 Статистична модель електрофізичних процесів при ударі блискавки в наземні об'єкти.....	242
9.2.1 Статистичне моделювання "вибору" блискавкою місця удару.....	248
9.2.2 Порівняння експериментальних і розрахункових даних за місцем розряду в довгих повітряних проміжках.....	253
10 Фізичне моделювання розрядів у довгих повітряного проміжку з урахуванням наявності корони на вершині заземлення об'єктів.....	256
10.1 Опис високовольтного експериментального стенду і методики проведення досліджень.....	256
10.2 Результати експериментальних досліджень процесів пробою при наявності коронного розряду на вершинах заземлених стрижнів.....	259
11 Математичне моделювання електромагнітних процесів утворення корони при роботі електроенергетичних об'єктів.....	270
11.1 Моделювання електричних полів при наявності стрижнів з округленими вершинами.....	271
11.1.1 Моделювання електричних полів при наявності криволінійних поверхонь розділу.....	272
11.1.2 Розрахунок ЕП в околиці проводить циліндричного стержня.....	279
11.1.3 Вплив геометрії стрижнів з округленими вершинами на рівні максимальної напруженості ЕП.....	281
11.2 Комбінована методика математичного моделювання посилення електричного поля на заокруглених вершинах дуже довгих циліндричних стрижнів.....	284

11.2.1 Розрахунок ЕП циліндричного довгого стрижня з кроком розрахункової сітки, пропорційним його радіусу.....	285
11.2.2 Розрахунок ЕП довгого циліндричного стрижня з кроком розрахункової сітки, пропорційним його довжині.....	287
11.2.3 Розрахунок посилення ЕП на вершинах довгих циліндричних стрижнів.....	288
12 Фізичне моделювання електрофізичних процесів утворення корони при роботі електроенергетичних об'єктів.....	291
12.1 Фізичне моделювання електромагнітних процесів при розвитку корони на стрижневих електродах з вершинами різної форми.....	291
12.2 Математичне моделювання процесів утворення корони на вершинах стрижневих електродів.....	293
13 Експериментальні та теоретичні дослідження теплових режимів обмежувачів перенапруг.....	297
13.1 Теплові режими ОПН.....	297
13.2 Теплові режими ОПН при низькій якості електричної енергії в мережі.....	303
13.3 Розрахунки теплових режимів ОПН.....	305
13.3.1 Розподіл температури всередині та на поверхні ОПН під дією робочої напруги мережі 6 кВ.....	308
13.3.2 Вплив гармонійних коливання мережі 6 кВ на розподіл температури всередині та на поверхні ОПН.....	310
13.3.3 Вплив теплофізичних параметрів матеріалів, з яких виготовлена оболонка апарата, на розподіл температури всередині та на поверхні ОПН.....	314
14 Діагностика нелінійних обмежувачів перенапруг під час експлуатації, у тому числі з використанням БПЛА.....	319
15 Мережецентричні технології моніторингу енергосистем.....	329
15.1 Запровадження концепції «інтелектуальної енергетики» Smart Grid при формуванні структурно-параметричної організації елементів енергосистеми.....	329
15.2 Втілення принципів мережецентризму в процес еволюції енергосистем.....	333
15.3 Структурно-параметрична оптимізація системи обслуговування енергосистем.....	339
15.4 Використання БПЛА в задачах оперативного обслуговування енергосистеми.....	348
Список літератури.....	364