

УДК 621.314.58

КАПЛУН Віктор Володимирович  
КОЗИРСЬКИЙ Володимир Вікторович  
ПЕТРЕНКО Андрій Володимирович

**КОМБІНОВАНІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ  
З ПОНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ**

Київ – 2011

**Комбіновані системи електроживлення з поновлюваними джерелами енергії / В. В. Каплун, В. В. Козирський, А. В. Петренко – К.: ЦТІ «Аграр Медіа Груп », 2011. – 330 с.: іл. 134.**

У монографії представлені матеріали наукових досліджень, що стосуються розробки принципів побудови комплексу з різнорідними автономними електрогенеруючими установками і електротехнологічним обладнанням у сільському господарстві та методів структурно-алгоритмічної оптимізації, тим самим створені передумови розвитку науково-технічного напрямку підвищення надійності і ефективності автономного електроживлення сільськогосподарських споживачів з традиційними (динамічними і статичними) та поновлюваними джерелами електроенергії.

Базуючись на закономірностях впливу організацій структур з різнорідними джерелами на функціональні властивості автономних систем електроживлення, розроблені принципи побудови та встановлені взаємозв'язки комплексу автономних електрогенеруючих установок і електротехнологічного обладнання у сільському господарстві, що дало змогу розширити уявлення про можливості підвищення надійності та ефективності електроживлення сільськогосподарських споживачів.

Монографія підводить підсумок багатолітній праці колективу кафедри електропостачання ім. проф. В.М. Синькова НУБіП України і призначена для науковців, студентів та широкого кола фахівців у галузі електроенергетики.

**Рецензенти:**

Член-кореспондент НАН України В.Ф. Резцов

Член-кореспондент НААН України В.І. Кравчук

Доктор технічних наук В.В. Василенко

Рекомендовано до друку вченою радою Національного університету біоресурсів і природокористування України (протокол № 10 від 31.05.2011 р.)

ISBN 978-966-2424-94-2

© В.В. Каплун, В.В. Козирський, А.В. Петренко, 2011

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	10
ПЕРЕДМОВА	12
<b>РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ АВТОНОМНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ СПОЖИВАЧІВ</b>	15
1.1. Аналіз проблем електрозабезпечення сільськогосподарських споживачів	16
1.1.1. Особливі чинники та вимоги до систем електроживлення сільськогосподарського виробництва	16
1.1.2. Якість електричної енергії як чинник забезпечення якості сільськогосподарської продукції	18
1.1.3. Характеристика основних електрифікованих технологічних процесів виробництва у сільському господарстві	19
1.1.4. Вплив зниження показників якості електроенергії на роботу електрообладнання у сільськогосподарському виробництві	22
1.2. Дослідження шляхів підвищення надійності та ефективності автономного електроживлення сільськогосподарських споживачів	25
1.2.1. Дослідження та аналіз реалізацій систем автономного електроживлення у сільському господарстві	26
1.2.2. Структурні реалізації систем автономного електроживлення з поновлюваними джерелами енергії	31
1.3. Перетворювачі електроенергії в автономних системах з різнорідними джерелами електроенергії	33
1.3.1. Основні вимоги до перетворювачів електроенергії	33
1.3.2. Місце та роль статичних перетворювачів у автономних системах електроживлення	34
1.3.3. Топології джерел безперервного живлення змінного струму	36
<b>РОЗДІЛ 2 СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ АВТОНОМНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ СПОЖИВАЧІВ З РІЗНОРІДНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ</b>	43

2.1.	Принципи побудови АСЕ як основа методології автономного електрозабезпечення споживачів	43
2.2.	Системний аналіз автономних систем електроживлення	45
2.2.1.	Обґрунтування методів дослідження автономних систем електроживлення	45
2.2.2.	Обґрунтування використання методу декомпозиції при дослідженні АСЕ з різномірними джерелами електроенергії	48
2.2.3.	Концепція системності при дослідженні автономних систем електроживлення	51
2.3.	Автономні системи електроживлення з підвищеними вимогами до показників якості електроенергії і безперервності електроживлення	54
2.4.	Розробка принципів побудови та обґрунтування функціональних реалізацій автономної системи електроживлення з різномірними джерелами	58
2.4.1.	Обґрунтування функціональних реалізацій та принципи побудови автономних систем електроживлення з динамічними та статичними джерелами	58
2.4.2.	Розробка узагальненої функціональної структурної схеми АСЕ	64
2.5.	Стратегія структурно-алгоритмічної оптимізації автономних систем електроживлення	66
2.5.1.	Характеристичні критерії. Принципи оптимізації АСЕ	66
2.5.2.	Структурно-алгоритмічна оптимізація АСЕ	71
<b>РОЗДІЛ 3 НАДІЙНІСНО-ФУНКЦІОНАЛЬНА МОДЕЛЬ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОНОМНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ З РІЗНОМІРНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ</b>		<b>76</b>
3.1.	Аналіз надійності електроживлення з різномірними джерелами електроенергії	76
3.2.	Автономні системи електроживлення з поновлюваними джерелами енергії	80
3.2.1.	Особливості реалізації автономних систем електроживлення з поновлюваними джерелами енергії	80
3.2.2.	Постановка задачі оптимального визначення структури джерел АСЕ	84
3.2.3.	Техніко-економічний аналіз досконалості структури АСЕ	87

3.2.4.	Основний характеристичний критерій оцінки ефективності АСЕ	90
3.3.	Дослідження автономних систем з динамічними та статичними джерелами електроенергії	90
3.3.1.	Обґрунтування структури автономних джерел електроживлення с з динамічними та статичними джерелами електроенергії	91
3.3.2.	Техніко-економічний аналіз АСЕ з двома різнорідними джерелами електроенергії	92
3.3.3.	Питання технологічної досконалості АСЕ з двома різнорідними джерелами електроенергії	96
3.4.	Дослідження показників надійності автономних систем електроживлення	98
3.4.1.	Показники надійності функціональних реалізацій автономних систем з різнорідними джерелами електроенергії	100
3.4.2.	Дослідження надійнісно-функціональних схем АСЕ	101
3.4.3.	Припущення, обмеження, методика розрахунків показників надійності АСЕ	105
3.5.	Обґрунтування вибору рівнів автоматизації АСЕ	107
3.5.1.	Аналіз експлуатаційних спостережень автономних електростанцій з двигунами внутрішнього згорання	107
3.5.2.	Принципи оптимальності при визначенні рівня автоматизації АСЕ	113
3.5.3.	Дослідження надійнісно-вартісних показників комплексу АСЕ-АСУ	118
<b>РОЗДІЛ 4 МАРКОВСЬКА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОПТИМІЗАЦІЇ АВТОНОМНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ</b>		122
4.1.	Методи досліджень структурно-алгоритмічної організації АСЕ	122
4.2.	Загальна постановка задачі	124
4.3.	Постановка задачі оптимізації структури БАСЕ з одним джерелом типу $D_2$ та одним джерелом типу $D_3$	129
4.4.	Математична модель функціонування АСЕ з двома різнорідними джерелами електроенергії	132
4.5.	Моделювання процесу функціонування автономної системи електроживлення	138
<b>РОЗДІЛ 5 ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНІСНО-ВАРТІСНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОНОМНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ З</b>		

<b>ПОНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ</b>	144
5.1. Структурно-алгоритмічна організація автономних систем електроживлення з поновлюваними джерелами енергії (вітрогеліоенергетичними установками)	144
5.2. Розробка імітаційної моделі дослідження автономних систем електроживлення з вітрогеліоенергетичними установками у програмному середовищі GPSS	147
5.3. Перевірка адекватності моделі, планування і проведення експерименту. Оцінка достовірності результатів моделювання	155
5.4. Надійнісно-вартісні показники АСЕ з вітрогеліоенергетичними установками. Аналіз результатів досліджень	159
<b>РОЗДІЛ 6 ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВІТРОЕЛЕКТРОНАСОСНИХ І ВІТРОНАСОСНИХ УСТАНОВОК</b>	161
6.1. Аналіз стану вітроелектронасосних і вітронасосних установок та визначення шляхів підвищення енергоефективності їх функціонування	161
6.2. Задачі підвищення ефективності функціонування вітроелектронасосних і вітронасосних установок та шляхи їх вирішення	171
<b>РОЗДІЛ 7 ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИНЦИПІВ ПОБУДОВИ КОМБІНОВАНОЇ ЕЛЕКТРОВОДОПОСТАЧАЛЬНОЇ ВІТРОУСТАНОВКИ З МАГНІТОЕЛЕКТРИЧНИМ ЛІНІЙНИМ ГЕНЕРАТОРОМ ЗВОТНО-ПОСТУПАЛЬНОГО РУХУ</b>	177
7.1. Особливості будови та функціонування електротехнічної системи комбінованої електроводопостачальної вітроустановки	177
7.2. Дослідження енергетичних потоків та аналіз балансу потужностей комбінованої електроводопостачальної вітроустановки	181
7.3. Обґрунтування показників енергоефективності структурних елементів комбінованої електроводопостачальної вітроустановки	191
7.4. Математична модель функціонування комбінованої електроводопостачальної вітроустановки за умов стохастичного надходження енергії вітру	194
7.5. Особливості керування режимами електроводоспоживання у комбінованій електроводопостачальній вітроустановці	202

<b>РОЗДІЛ 8 МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ЦИЛІНДРИЧНОМУ МАГНІТОЕЛЕКТРИЧНОМУ ЛІНІЙНОМУ ГЕНЕРАТОРІ ЗВОРОТНО-ПОСТУПАЛЬНОГО РУХУ</b>	<b>220</b>
8.1. Моделювання динамічних процесів та аналіз енергетичних характеристик в однофазному циліндричному магнітоелектричному лінійному генераторі зворотно-поступального руху	220
8.1.1. Розрахунок електричних параметрів однофазного циліндричного магнітоелектричного лінійного генератора зворотно-поступального руху	221
8.1.2. Розробка Simulink-моделі однофазного циліндричного магнітоелектричного лінійного генератора зворотно-поступального руху	224
8.1.3. Дослідження динамічних процесів та аналіз енергетичних характеристик в однофазному циліндричному магнітоелектричному лінійному генераторі зворотно-поступального руху	226
8.1.4. Аналіз енергетичних характеристик варіантів однофазних циліндричних магнітоелектричних лінійних генераторів зворотно-поступального руху	234
8.2. Імітаційне моделювання електромагнітного поля в трифазній циліндричній магнітоелектричній лінійній машині зворотно-поступального руху	235
8.2.1. Циліндрична магнітоелектрична лінійна машина зворотно-поступального руху з не розосередженою трифазною обмоткою у замкненому магнітопроводі	237
8.2.2. Розробка та дослідження циліндричної магнітоелектричної лінійної машини зворотно-поступального руху з розосередженою трифазною обмоткою у замкненому магнітопроводі	239
8.2.3. Розробка алгоритму керування трифазною циліндричною магнітоелектричною лінійною машиною зворотно-поступального руху у режимі електродвигуна	245

8.3.	Моделювання динамічних процесів та аналіз енергетичних характеристик в трифазному циліндричному магнітоелектричному лінійному генераторі зворотно-поступального руху	247
8.3.1.	Розробка Simulink-моделі трифазного циліндричного магнітоелектричного лінійного генератора зворотно-поступального руху	247
8.3.2.	Дослідження динамічних процесів та аналіз енергетичних характеристик у трифазному циліндричному магнітоелектричному лінійному генераторі зворотно-поступального руху	249
8.3.3.	Теоретичне моделювання роботи трифазного циліндричного магнітоелектричного лінійного генератора зворотно-поступального руху	256

## **РОЗДІЛ 9 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИФАЗНОГО ЦИЛІНДРИЧНОГО МАГНІТОЕЛЕКТРИЧНОГО ЛІНІЙНОГО ГЕНЕРАТОРА ЗВОРОТНО-ПОСТУПАЛЬНОГО РУХУ**

9.1.	Розробка та виготовлення трифазного циліндричного магнітоелектричного лінійного генератора зворотно-поступального руху	263
9.2.	Розробка спеціалізованого стенду для проведення досліджень магнітоелектричного лінійного генератора зворотно-поступального руху	267
9.3.	Методика та програма експериментальних досліджень	271
9.3.1.	Методика експериментального визначення електричних параметрів трифазного циліндричного магнітоелектричного лінійного генератора зворотно-поступального руху	271
9.3.2.	Експериментальне дослідження енергетичних характеристик трифазного циліндричного магнітоелектричного лінійного генератора зворотно-поступального руху та їх аналіз	277

## **РОЗДІЛ 10 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОНОМНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ**

10.1.	Задачі техніко-економічної оцінки автономних систем електроживлення	287
10.2.	Обґрунтування методики визначення показників ефективності інвестицій впровадження АСЕ	288



10.2.1. Визначення ефективності інвестицій довгострокових проектів впровадження АСЕ	290
10.2.2. Визначення ефективності інвестицій впровадження АСЕ без врахування терміну дії проектів	293
10.3. Оцінка техніко-економічних показників автономної системи електроживлення з динамічним та статичним джерелами електроенергії	294
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b>	<b>298</b>