

ГОЛИК Олена Петрівна

ЖЕСАН Роман Володимирович

ВОЛКОВ Ігор Васильович

ЧЕКАНОВ Олександр Олександрович

БЕРЕЗЮК Ірина Анатоліївна

**ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ
ПОНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ**



Частина I

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

*Голик О.П., Жесан Р.В.,
Волков І.В., Чеканов О.О., Березюк І.А.*

**ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА
ВИКОРИСТАННЯ ПОНОВЛЮВАНИХ
ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ**

Частина І

*Навчальний посібник
для здобувачів освіти за спеціальністю
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»*

Кропивницький
Видавець Лисенко В. Ф.
2020

УДК 620.92-049.34(075.8)

Г 60

*Рекомендовано до друку Вченою радою
Центральноукраїнського національного технічного університету
Міністерства освіти і науки України
(протокол № 4 від 23.12.2019)*

Рецензенти:

С. І. Осадчий, д.т.н., професор

(Центральноукраїнський національний технічний університет);

Б. М. Гончаренко, д.т.н., професор

(Національний університет харчових технологій);

В. О. Кондратець, д.т.н., професор

(Центральноукраїнський національний технічний університет)

Голик О. П., Жесан Р. В., Волков І. В., Чеканов О. О., Березюк І. А.

Г 60 Енергозбереження та використання поновлюваних джерел енергії. Частина І: навчальний посібник для здобувачів освіти за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Уклад.: О.П. Голик, Р.В. Жесан, І.В. Волков [та ін.]. – Кропивницький : Видавець Лисенко В.Ф., 2020 – 192 с.
ISBN 978-617-7813-05-6

Посібник розрахований для студентів, що навчаються на технічних спеціальностях, пов'язаних з електроенергетикою, електротехнікою та електромеханікою, а також автоматизацією та комп'ютерно-інтегрованими технологіями.

УДК 620.92-049.34(075.8)

© Центральноукраїнський національний
технічний університет, 2020

© Укладачі Голик О.П., Жесан Р.В.,
Волков І.В., Чеканов О.О.,
Березюк І.А., 2020

ISBN 978-617-7813-05-6

© Видавець Лисенко В.Ф., 2020

Навчальний посібник складається з двох частин.

Частина I охоплює 4 теми, які присвячені використанню сонячної та вітрової енергій. Наведено основні законодавчі та нормативні акти України в галузі електроенергетики, методи вимірювання сонячної та вітрової енергій, напрямки їх використання та схеми підключення. Наведено приклади розрахунків та питання для самоконтролю. Посібник розрахований для студентів, що навчаються на технічних спеціальностях, пов'язаних з електроенергетикою, електротехнікою та електромеханікою, а також автоматизацією та комп'ютерно-інтегрованими технологіями.

The tutorial consists of two parts.

Part I covers 4 topics that address to application of solar and wind energy. The main legislative and regulatory acts of Ukraine in the electricity sector, methods of measurements of solar and wind energy, directions of their use and connection schemes are given. Examples of calculations and questions for self-control. The guide is intended for students studying technical specialty related to electrical engineering, automation and computer-integrated technologies.

Для читача

Даний навчальний посібник допоможе самостійно опанувати основи використання відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячної та вітрової енергії. Наведено методiku вибору джерел енергії. Показані напрямки використання сонячної та вітрової енергії. Представлені схеми їх підключення. Наведено приклади розрахунків для сонячних колекторів, сонячних панелей та вітроустановок. Обґрунтовано можливість використання нейронних мереж та штучного інтелекту в системах автоматичного керування процесом електропостачання з вітро-сонячними установками. Наведено основні терміни та визначення.

For the reader

This tutorial will help you master the basics of using renewable energy sources, including solar and wind energy. The methodology for selection of energy sources that can be used to provide energy of consumers are given. The directions of application of solar and wind energy are given. The connection schemes to solar and wind power plants are presented. Examples of calculation for solar collectors, solar panels and wind turbine are given. The possibility of using neural network and artificial intelligence in systems of automatic control of the process of electricity supply with wind and solar power plants is substantiated.

ЗМІСТ

ВСТУП	11
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	14
1. ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ. ОСНОВНІ ЗАКОНОДАВЧІ ТА НОРМАТИВНІ АКТИ УКРАЇНИ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІЙ ГАЛУЗІ	15
1.1. <i>Невідновлювані та поновлювані джерела енергії</i>	15
1.1.1. <i>Сучасний стан енергетики України</i>	15
1.1.2. <i>Види відновлюваних (поновлюваних) джерел енергії</i>	24
1.2. <i>Законодавчі та нормативні акти</i>	32
1.3. <i>Питання для самоконтролю</i>	45
2. ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	46
2.1. <i>Сонячне випромінювання та його характеристики</i>	46
2.1.1. <i>Загальні характеристики сонячного випромінювання</i>	46
2.1.2. <i>Методи вимірювання сонячного випромінювання</i>	49
2.2. <i>Напрямки використання сонячної енергії</i>	59
2.3. <i>Види сонячних установок</i>	65
2.4. <i>Види схем підключення сонячних енергоустановок</i>	76
2.5. <i>Розрахунок сонячних колекторів та сонячних панелей</i>	80
2.6. <i>Питання для самоконтролю</i>	96
3. ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ВІТРУ	97
3.1. <i>Енергія вітру та його характеристики</i>	97
3.1.1. <i>Загальні характеристики енергії вітру та методи вимірювання швидкості вітру</i>	97
3.1.2. <i>Світовий досвід використання вітрових електростанцій. Використання енергії вітру в Україні</i>	100
3.2. <i>Види вітрових електричних установок та схеми їх підключення</i>	101

3.3. <i>Розрахунок основних показників роботи вітроелектричної установки з горизонтальною віссю обертання</i>	117
3.4. <i>Питання для самоконтролю</i>	128
4. КОМПЛЕКСНЕ ВИКОРИСТАННЯ ТРАДИЦІЙНИХ ТА ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ	129
4.1. <i>Вибір джерел енергії, які доцільно використовувати для енергозабезпечення споживачів</i>	129
4.2. <i>Основи проектування систем автоматизації процесу електропостачання з відновлюваними джерелами енергії</i>	137
4.2.1. <i>Загальні вимоги до процесу електропостачання з відновлюваними джерелами енергії</i>	137
4.2.2. <i>Системи електропостачання з відновлюваними джерелами енергії (сонячна та вітрова енергії)</i>	140
4.3. <i>Автоматизоване керування процесом електропостачання з вітро-сонячними установками</i>	143
4.4. <i>Нечіткі множини та нейронні мережі в системах автоматичного керування процесом електропостачання з вітро-сонячними установками</i>	155
4.5. <i>Питання для самоконтролю</i>	173
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	174
СЛОВНИК ТЕРМІНІВ	184

CONTENTS

INTRODUCTION	11
ABBREVIATIONS	14
1. GENERAL CONCEPT AND DEFINITION. BASIC LEGISLATIVE AND REGULATORY ACTS OF UKRAINE IN THE ELECTRICITY SECTOR	15
1.1. <i>Non-renewable and renewable energy sources</i>	15
1.1.1. <i>Current situation of power engineering in Ukraine</i>	15
1.1.2. <i>Types of renewable energy sources</i>	24
1.2. <i>Legislative and regulatory act</i>	32
1.3. <i>Questions for self-control</i>	45
2. APPLICATION OF SOLAR ENERGY	46
2.1. <i>Solar radiation and their characteristics</i>	46
2.1.1. <i>Basic characteristics of solar radiation</i>	46
2.1.2. <i>Methods of measuring of solar radiation</i>	49
2.2. <i>Directions for the use of solar energy</i>	59
2.3. <i>Types of solar power plants</i>	65
2.4. <i>Types of connection schemes for solar power plants</i>	76
2.5. <i>Calculation of solar collectors and solar panels</i>	80
2.6. <i>Questions for self-control</i>	96
3. APPLICATION OF WIND ENERGY	97
3.1. <i>Wind energy and their characteristics</i>	97
3.1.1. <i>Basic characteristics of wind energy and methods of measuring of wind speed</i>	97
3.1.2. <i>World experience in using wind farms. Application of wind energy in the Ukraine</i>	100

3.2. <i>Types of wind power plants and their connection schemes</i>	101
3.3. <i>Calculation of the main indicators of operation of the wind turbine with horizontal axis of rotation</i>	117
3.4. <i>Questions for self-control</i>	128
4. COMBINED USE OF TRADITIONAL AND RENEWABLE ENERGY SOURCES	129
4.1. <i>Selection of energy sources that can be used to provide energy of consumers</i>	129
4.2. <i>Basics of designing systems for automation process of electricity supply with renewable energy sources</i>	137
4.2.1. <i>General requirements for the process of electricity supply with renewable energy sources</i>	137
4.2.2. <i>Power supply systems with solar and wind energy</i>	140
4.3. <i>Automated control of the process of electricity power supply with solar and wind power plants</i>	143
4.4. <i>Fuzzy sets and neural networks in systems automatic control of the process of electricity power supply with solar and wind power plants</i>	155
4.5. <i>Questions for self-control</i>	173
REFERENCES	174
GLOSSARY	184

ВСТУП

Навчальний посібник призначений для вивчення дисципліни «Енергозбереження та використання поновлюваних джерел енергії» студентами першого рівня вищої освіти спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Дисципліна «Енергозбереження та використання поновлюваних джерел енергії» є складовою частиною циклу освітньо-професійної підготовки першого бакалаврського рівня вищої освіти зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Метою вивчення дисципліни є отримання знань та практичних навичок з енергозбереження, використання вторинних енергоресурсів та поновлюваних джерел енергії, зокрема, пошуку оптимальних комбінацій джерел енергії, які доцільно використовувати для енергопостачання.

Вивчення дисципліни «Енергозбереження та використання відновлюваних джерел енергії» дає змогу студенту отримати наступні компетенції:

- здатність розв'язувати практичні задачі із залученням методів математики, фізики та електротехніки;
- здатність розв'язувати комплексні спеціалізовані задачі та практичні проблеми, пов'язані з виробництвом, передачею та розподіленням електричної енергії;
- знати принцип роботи біоенергетичних, вітроенергетичних, гідроенергетичних та сонячних енергетичних установок;
- розуміти основні принципи і завдання технічної та екологічної безпеки об'єктів електротехніки та електромеханіки, враховувати їх при прийнятті рішень;
- розуміти значення традиційної та відновлюваної енергетики для успішного економічного розвитку країни;
- застосовувати емпіричні та теоретичні методи для зменшення втрат електричної енергії при її виробництві, транспортуванні, розподіленні та використанні;
- здатність застосовувати сучасні методи експериментальних досліджень у конкретній галузі знань,

методів планування експерименту та оброблення його результатів;

- здатність використовувати знання про сучасні досягнення традиційної та відновлюваної енергетики в професійній діяльності, контролювати ступінь використання виробленої електричної енергії та споживаних потужностей.

Курс «Енергозбереження та використання відновлюваних джерел енергії» студенти вивчають в останньому семестрі підготовки бакалаврів зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Він є частиною циклу загальної підготовки за вибором студента. Дисципліна вивчається після викладання наступних курсів: «Вступ до спеціальності», «Робітнича професія», «Основи метрології та електричних вимірювань», «Електроніка та мікросхемотехніка», «Електротехнічні матеріали», «Основи енергоменеджменту в АПК».

При вивченні навчальної дисципліни «Енергозбереження та використання відновлюваних джерел енергії» студент повинен:

- навчитися оцінювати енергоефективність поновлюваних джерел енергії;

- знати терміни та визначення, актуальність впровадження заходів з енергозбереження і використання поновлюваних джерел енергії;

- знати способи використання поновлюваних джерел енергії;

- вміти оцінювати енергетичні потреби об'єктів електропостачання та будувати графіки їх електричних навантажень;

- вміти використовувати апарат нечіткої логіки для розробки систем автоматичного керування процесом енергопостачання від поновлюваних джерел енергії.

Навчальний посібник складається з двох частин. Частина I присвячена загальним поняттям, термінам та визначенням у сфері енергозбереження та використання поновлюваних джерел енергії.

Посібник складається з 4 тем. В першій темі розкрито сучасний стан енергетики України та наведено основні законодавчі та нормативні акти України в електроенергетичній

галузі. Другу тему присвячено використанню сонячної енергії, методам її вимірювання, напрямкам використання та наведено приклад розрахунку сонячних колекторів і сонячних панелей. В третій темі розкрито загальні характеристики енергії вітру, методи вимірювання. Представлені види вітрових електричних установок та схеми їх підключення. Наведено приклад розрахунку основних показників роботи вітроелектричної установки. В четвертій темі наведено приклади комплексного використання традиційних та відновлюваних джерел енергії.

Матеріали навчального посібника систематизовано таким чином, щоб читачу було легше орієнтуватися при самостійному вивченні дисципліни. Цьому сприяють як питання для самоперевірки, так і приклади розрахунків, наведені в кожному розділі.

Це дасть змогу зручно здійснювати самоконтроль студентам заочної та дистанційної форм навчання при вивченні цієї дисципліни.

Автори вдячні рецензентам д.т.н., професору Осадчому С. І., д.т.н., професору Гончаренку Б. М., д.т.н., професору Кондратцю В. О. за цінні поради та зауваження, які було враховано в останній редакції навчального посібника.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- АЕС* – атомна електростанція
АКБ – акумуляторна батарея
ВДЕ – відновлюване джерело енергії
ВЕС – вітроелектрична станція
ВЕУ – вітроелектрична установка
ВК – вітроколесо
ГАЕС – гідроакумуюча електростанція
ГЕС – гідроелектростанція
ДВЗ – двигун внутрішнього згорання
ККД – коефіцієнт корисної дії
ОЕС – об'єднана електроенергетична система
ПЕК – паливно-енергетичний комплекс
ПЕР – паливно-енергетичні ресурси
ПР – прийняття рішень
ПСТП – пасивна система тепlopостачання
САЕП – система автоматизованого електропостачання
САК – система автоматичного керування
СВ – сонячне випромінювання
СЕ – сонячний елемент
СЕС – сонячна електростанція
СК – сонячний колектор
СП – сонячна панель
ТЕС – теплова електростанція
ТЕЦ – теплоелектроцентрально
ТП – трансформаторна підстанція

ТЕМА 1
ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ.
ОСНОВНІ ЗАКОНОДАВЧІ ТА НОРМАТИВНІ АКТИ
УКРАЇНИ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІЙ ГАЛУЗІ.

1.1. Невідновлювані та поновлювані джерела енергії
1.1.1. Сучасний стан енергетики України

Збільшення населення Землі і поступове підвищення рівня життя визначає неухильне зростання споживання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР). Глобалізація світового енергетичного ринку стала виразною ознакою нашого часу. З точки зору глобальних енергетичних процесів слід відзначити унікальне геополітичне та географічне становище України та пов'язану з цим її роль як значного транспортера ПЕР, недостатнє забезпечення країни власними природними ресурсами та значний імпорт ПЕР, значну частку енергоємного експорту в національному валовому продукті України та інше. Тому необхідно уважно розглянути та врахувати стан світової енергетики та перспективи її розвитку.

Одним з основних чинників економіки будь-якої країни є енергоресурси. Електроенергетика є складовою частиною енергетичного комплексу України. Вона впливає не тільки на розвиток народного господарства, але і на територіальну організацію виробничих сил. Для побудови енергетики України, що відповідає світовим стандартам, потрібна науково обґрунтована і прийнята суспільством довгострокова енергетична політика і Енергетична стратегія країни як державний документ, що відображає цю політику.

З метою визначення основних засад і пріоритетів державної політики України в енергетичній сфері, забезпечення ефективного функціонування галузей паливно-енергетичного комплексу (ПЕК), як основи економіки України, Національною академією наук України в 2003-2004 роках було розроблено концептуальні положення та перший варіант Енергетичної стратегії України на період до 2030 року та подальшу перспективу, останній варіант опублікований в 2013 році [1]. Згідно з [1] для забезпечення максимально ефективного

розвитку енергетичної сфери та підвищення якості життя населення країни до рівня кращих світових стандартів виділяється ряд пріоритетних напрямків:

- формування цілісної та дієвої системи управління і регулювання в паливно-енергетичному секторі, розвиток конкурентних відносин на ринках енергоносіїв;

- створення передумов для докорінного зменшення енергоємності вітчизняної продукції за рахунок впровадження нових технологій, прогресивних стандартів, сучасних систем контролю, управління та обліку на всіх етапах виробництва, транспортування та споживання енергетичних продуктів; розвиток ринкових механізмів стимулювання енергозбереження в усіх галузях економіки;

- розвиток експортного потенціалу енергетики, переважно, за рахунок електроенергії, шляхом модернізації та оновлення генеруючих потужностей, ліній електропередач, в тому числі міждержавних;

- розвиток вітчизняного енергетичного машинобудування, приладобудування та енергобудівельного комплексу як передумови конкурентоспроможності підприємств України в енергетичних проектах, в т.ч. за кордоном;

- оптимізація видобутку власних енергоресурсів з урахуванням їх пропозицій на зовнішніх ринках, цінової та геополітичної ситуації, збільшення обсягів енергії та енергопродуктів, видобутих із нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії;

- диверсифікація зовнішніх джерел постачання енергетичних продуктів, а також диверсифікація маршрутів їх транспортування;

- створення єдиної державної системи статистики, стратегічного планування, моніторингу виробництва і споживання енергетичних продуктів, формування балансів їх попиту та пропозицій;

- збалансування цінової політики щодо енергетичних продуктів, яка має забезпечити покриття витрат на їх виробництво та створення відповідних умов для надійного функціонування і сталого розвитку підприємств ПЕК;

- нормативно-правове забезпечення реалізації цілей Енергетичної стратегії з врахуванням існуючих міжнародних зобов'язань, передбачених Договором до Енергетичної Хартії, Кіотським протоколом, численними двосторонніми міжнародними договорами, а також вимогами європейського енергетичного законодавства.

Основою електроенергетики країни є Об'єднана електроенергетична система (ОЕС), яка здійснює централізоване електрозабезпечення внутрішніх споживачів. ОЕС взаємодіє з енергосистемами суміжних країн, забезпечує експорт та імпорт електроенергії. Визначаючи місце України в світовій електроенергетиці, відзначимо наступне.

Географічним розташуванням нашої країни була зумовлена побудова тут значної кількості потужності ліній електропередач міждержавного значення, які з'єднали ОЕС України з енергосистемами суміжних країн – Польщі, Словаччини, Угорщини, Румунії, Російської Федерації, Республіки Молдова, Республіки Білорусь. Таким чином Україна має вигідне геополітичне та географічне становище України та пов'язану із цим її роль як транзитної держави. Оскільки Україна не здатна повністю забезпечити себе власними традиційними видами первинної енергії, то змушена вдаватися до їх імпорту.

Україна має достатньо потужні та розвинуті газо-, нафтотранспортні та електричні мережі, поєднані з транспортними мережами Європейського союзу (ЄС) і країн СНД, що дозволяє їй брати участь у формуванні Європейської енергетичної політики та спільного енергетичного ринку, відігравати важливу роль в енергетичній співпраці країн СНД і ЄС [1, 2].

Централізоване виробництво електричної енергії в ОЕС здійснюють теплові, атомні та гідравлічні електростанції. Загальна встановлена потужність електричних станцій ОЕС України на кінець 2017 року (без енергогенеруючих об'єктів Кримської електроенергетичної системи та неконтрольованої території Донбаської електроенергетичної системи) складає 51,7 ГВт, з яких 59% припадає на теплові електростанції (ТЕС, ТЕЦ, блок-станції), 26.7% – на атомні електростанції (АЕС), 12% – на гідроелектростанції (ГЕС) і гідроакumuлюючі електростанції

(ГАЕС), 2,3% – на електростанції, що працюють на альтернативних джерелах енергії – ВЕС, СЕС, БіоЕС [2].

Транспортування електричної енергії від енергогенеруючих до енергопостачальних компаній здійснюється магістральними та розподільними електромережами країни.

Магістральні електричні мережі України нараховують 22,9 тис. км, з них 4,9 тис. км припадає на мережі з напругою 400–800 кВ, 13,3 тис. км – напругою 330 кВ, 4,1 тис. км – напругою 220 кВ і 0,7 тис. км – напругою 35–110 кВ, а також 136 підстанцій загальною трансформаторною потужністю 78 631,6 МВА. Розподільчі електричні мережі нараховують близько 1 млн. км повітряних і кабельних ліній електропередач напругою 0,4–150 кВ і близько 200 тис. трансформаторних підстанцій напругою 6–150 кВ [1, 2].

Електроенергія виробляється здебільшого за рахунок невідновлювальних джерел – вугілля, нафта, природний газ. Відновлювальним джерелом енергії є гідроенергетика. Всі електростанції України можна розділити на чотири види. В основу розподілу береться ресурс, що використовується: ТЕС, які працюють на твердому, рідкому та газоподібному пальному; ГЕС та ГАЕС, які використовують відповідні гідроресурси; АЕС, що використовують збагачений уран або інші радіоактивні елементи; електростанції, що використовують відновлювані джерела енергії (ВДЕ).

Розглянемо загалом перераховані вище типи електростанцій.

Теплопостачання країни забезпечується різноманітними джерелами теплоти: промисловими і опалювальними теплоелектроцентралями (ТЕЦ), великими і середніми районними опалювальними котельнями, груповими та автономними промислово-опалювальними котельнями, дрібними автономними опалювальними котельнями, поквартирними генераторами, джерелами теплових вторинних енергоресурсів, нетрадиційними та відновлювальними джерелами теплової енергії.

Ефективність роботи ТЕС визначається використанням органічного палива на вироблену одиницю електричної і теплової енергії. Для ТЕС одним з основних техніко-економічних показників роботи кожного енергоблоку є питомі

витрати умовного палива на відпуск одиниці електричної енергії. Для можливості порівняння роботи енергоблоків різні види органічного палива приводяться до одного показника – так званого **умовного палива**, яке при спалюванні 1 кг дає 7000 Ккал [2]. На ТЕС у якості умовного палива використовують вугілля та газ.

Найбільш великими ТЕС в Україні є Вуглеродська, Старобешевська, Кураховська, Слов'янська (Донецька обл.), Кривоозерська-2, Придніпровська (Дніпропетровська обл.), Бурштинська (Івано-Франківська обл.), Запорізька, Ладизинська (Вінницька обл.), Трипільська (Київська обл.) та ін. [1, 2].

Перевагою ТЕС є відносно довільне розміщення, вартість капіталовкладень вдвічі менше у порівнянні з ГЕС.

Необхідно відмітити основні негативні моменти систем централізованого теплопостачання в Україні:

- низька надійність транспорту тепла та великі експлуатаційні затрати (значно вище проектних) на ремонт теплових мереж;
- недостатньо гнучке регулювання режимів теплопостачання, що знижує комфортність та призводить до втрат теплової енергії;
- великий відсоток фізичного зносу обладнання.

ГЕС є одним з самих ефективних джерел електроенергії. Основні електростанції розташовані на Дніпрі. Це – Дніпрогес, Кременчуцька, Каховська, Дніпродзержинська, Канівська, Київська. На Дністрі збудована Дністровська ГЕС, в Закарпатській області – Требле-Рицька ГЕС. Крім них, на маленьких річках діє біля сотні електростанцій невеликої потужності, більшість з них належить до державної енергосистеми. Специфічну роль виконують ГАЕС: Київська, Дністровська та Запорізька (Дніпрогес-2). За їх допомогою можна успішно вирішувати проблему забезпечення споживачів електроенергією в “пікові” години. Діючи за принципом переміщення одного об’єму води між двома басейнами, розташованими на різних рівнях висоти, ГАЕС працюють як помпи [1-3].

ГЕС є одним з самих ефективних джерел електроенергії. Переваги ГЕС є в тому, що вони виробляють електроенергію, яка в 5-6 разів дешевше, ніж ТЕС, а персоналу, що їх обслуговує в 15-20 разів менше, ніж АЕС. Коефіцієнт корисної дії ГЕС складає більше 80% [1, 2]. Однак, їх розміщення повністю залежить від природних умов, а виробництво електроенергії носить сезонний характер. Будівництво ГЕС на рівнинних річках України складає значні матеріальні збитки, оскільки потребує затоплення великих територій, що використовуються для водоймищ.

Атомна енергетика стала окремою галуззю енергетики після другої світової війни. Сьогодні вона відіграє важливу роль в енергетиці. АЕС використовують транспортабельне паливо – уран. Їх розташовують незалежно від паливно-енергетичного фактора та орієнтують на споживачів у районах з напруженим паливно-енергетичним балансом. До найбільших експортерів уранових концентратів можна віднести Канаду, Австралію, ПАР, Бразилію, США. АЕС за характером палива, яке вони використовують, не зв'язані з родовищами його видобутку, що забезпечує широкий маневр їх розміщення. АЕС орієнтовані на споживачів, особливо на райони з обмеженими ресурсами палива та гідроенергії.

Рівні розвитку ядерної енергетики зумовлені сукупністю кількох суперечливих факторів. Діючі ядерні енергоблоки характеризуються високими економічними показниками через малі витрати на паливо. Безпечно працюючі ядерні енергоблоки не мають викидів пилу, окислів сірки, азоту та вуглекислого газу. Заходи з подовження терміну роботи ядерних енергоблоків є відносно маловитратними. Водночас нові ядерні енергоблоки потребують на великі капіталовкладення. Великих коштів потребують демонтаж та захоронення відпрацьованих конструкцій та матеріалів АЕС. Під час роботи сучасні ядерні реактори АЕС напрацьовують нові радіоактивні матеріали, які вимагають досить вартісного довгострокового зберігання та ізоляції від навколишнього середовища. Робота АЕС супроводжується ризиками глобальних техногенних катастроф, що призводять до величезних втрат. Будівництво нових АЕС пов'язане з попереднім його узгодженням з органами

муніципальної влади та населенням, що в умовах України зумовлює великі проблеми з визначенням нових майданчиків для АЕС.

До об'єктів ядерно-енергетичного комплексу України відносяться: Запорізька АЕС, Рівненська АЕС, Хмельницька АЕС, Чорнобильська АЕС, Південно-Українська АЕС, Східний гірничо-збагачувальний комбінат, підприємства цирконієвого виробництва, а також ряд підприємств виробничого, наукового, проектно-конструкторського, освітнього та інших профілів [1-3]. Чорнобильська АЕС знімається з експлуатації. Термін експлуатації більшості існуючих блоків АЕС досяг 20 років [1], що становить близько половини від установленого нормативного. Стає все актуальнішим питання подовження періоду експлуатації, а також реконструкції наявних ядерних енергоблоків.

Важливою проблемою для українських АЕС є поводження з відпрацьованим ядерним паливом та радіоактивними відходами. Поки що лише Запорізька АЕС має власне сховище для відпрацьованих палива та відходів, проектна місткість якого повинна забезпечити зберігання всіх відпрацьованих відходів та палива протягом терміну її експлуатації. На інших АЕС цю проблему ще не розв'язано.

Також в Україні побудована перша когенераційна енергетична установка. ДК “Укргазвидобування” ввела в експлуатацію першу в Україні когенераційну енергетичну установку на Шебелинському газопереробному заводі, яка використовує скидний потенціал газофракційних печей для одержання тепла та електроенергії. Виробництво електричної енергії за рахунок використання скидного потенціалу забезпечить скорочення викидів парникових газів, термічне знешкодження продуктів неповного згорання та скорочення викидів оксидів азоту.

Важливою складовою глобалізації енергетичних процесів є екологічний вплив енергетики на планету та її окремі регіони. Цей вплив неупинно зростає і людство підійшло майже до граничної межі забруднення оточуючого середовища. Принциповим вирішенням цієї проблеми є перехід енергетики на шлях сталого розвитку, що є загальним світовим процесом

на перспективу. Генеральним напрямом при цьому є структурна перебудова енергетики, застосування сучасних технологій в класичних напрямках виробництва та використання відновлюваних джерел енергії.

Здавалося б, є дешеві на сьогоднішній день атомна і гідроенергетика, але аварія на Чорнобильській АЕС, затоплення територій із всіма негативними наслідками при будівництві ГЕС, згубно впливають на оточуюче середовище. Тому необхідно збільшити виробництво електроенергії з нетрадиційних джерел.

Світові прогнози показують, що використання ВДЕ не призведе до значного впливу на енерговиробництво впродовж кількох десятиліть. За різними прогнозами їх частка в загальному виробництві енергії може скласти 3–4 % у 2030 р [1].

Головний вплив на впровадження та розвиток ВДЕ в Україні мають наступні взаємопов'язані фактори [1, 2]:

- рівень політичної та громадської підтримки розвитку ВДЕ;
- конкурентоспроможність ВДЕ по відношенню до традиційних джерел енергії та обсяги необхідної фінансової підтримки на загальнодержавному та місцевих рівнях для їх впровадження та розвитку;
- жорсткість екологічних обмежень та вимог;
- загальний стан економіки;
- обсяги впровадження ВДЕ на базі використання механізмів реалізації проектів спільного впровадження та торгівлі квотами на викиди газів, які викликають парниковий ефект.

Виходячи із сьогоденного стану цих факторів, прогноз доцільної сукупної потужності ВДЕ у 2030р. складає 12,6 % від загальної встановленої потужності або 8 ГВт (14 ГВт включаючи великі ГЕС), а обсяг виробітку – 14 ТВт·год (28 ТВт·год включаючи великі ГЕС). Однак вказані прогнозні показники можуть збільшитися за рахунок зміни факторів, зазначених вище [1].

Сьогодні розвиток генерації на базі ВДЕ в Україні стимулюється «зеленим тарифом», який забезпечує рентабельність виробництва електроенергії з нетрадиційних та

поновлюваних джерел. На сьогодні ставки «зеленого тарифу» в Україні достатні для забезпечення необхідного повернення на інвестиції в об'єкти генерації з ВДЕ. Також за значного зростання генерації на базі ВДЕ може знадобитися перегляд механізму розподілення (між суб'єктами – виробниками з ВДЕ та компаніями-власниками електромереж) витрат на реконструкцію та будівництво магістральних та розподільчих мереж, необхідних для підключення електростанцій на ВДЕ до енергосистеми. При цьому при зростанні обсягів електроенергії, що виробляється на базі ВДЕ, потрібно здійснити модернізацію мереж для переходу до так званих “smart grids”, або «розумних мереж» [1].

Основним задачами для впровадження та використання ВДЕ в Україні на сьогоднішній момент є [1, 2]:

- розробка законодавства України про альтернативні джерела енергії;
- розробка законодавчої та правової бази для економічного стимулювання керівників та спеціалістів підприємств та організацій за розробку та впровадження енергозберігаючих технологій;
- визначення реальних енергетичних можливостей для використання природних відновлювальних та нетрадиційних джерел енергії, створення кадастру для кожного характерного району;
- створення спеціалізованих регіональних підприємств по виробництву енергозберігаючого обладнання, сертифікації, монтажу та сервісному обслуговуванню;
- забезпечення науково-дослідницьких та проектно-конструкторських робіт по розробці та впровадженню установок по використанню ВДЕ;
- створення науково-технічних центрів по підготовці та навчанню спеціалістів з питань енергозбереження.

Подальший розвиток альтернативної енергетики та енергозбереження залежить від рівня його фінансування і знаходиться в прямій залежності від ціни енергоресурсів, які використовуються, та існуючих тарифів на відпускну електроенергію як основний продукт переробки первинних

енергоресурсів. Саме тариф головним чином впливає на зацікавленість кінцевих споживачів раціонально використовувати паливно-енергетичні ресурси та впроваджувати передові енергозберігаючі технології.

1.1.2. Види відновлюваних (поновлюваних) джерел енергії

До ВДЕ належать енергія сонячна, вітрова, геотермальна, енергія хвиль та припливів, гідроенергія, біомаси, газу з органічних відходів, газу каналізаційно-очисних станцій, біогазів, та вторинні енергетичні ресурси, до яких належать доменний та коксівний газ, газ метан дегазації вугільних родовищ, перетворення скидного енергопотенціалу технологічних процесів [4-9]. Більш повну картину щодо використання ВДЕ можна представити у вигляді, наведеному на рис. 1.1.

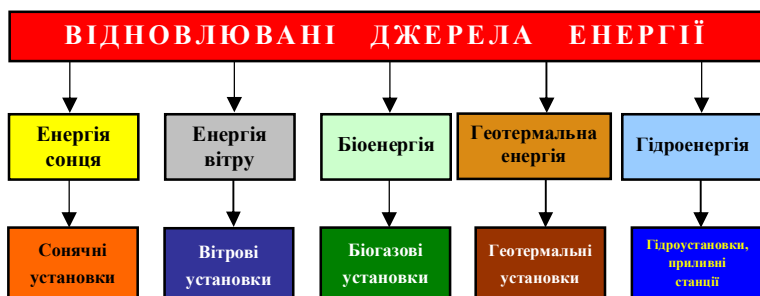


Рис. 1.1. Класифікація ВДЕ та установок для їхнього використання

Перераховані вище джерела енергії мають як позитивні, так і негативні якості. До переваг можна віднести територіальну розповсюдженість більшості їх видів, екологічна чистота. Експлуатаційні витрати по використанню ВДЕ не вміщують паливної складової, оскільки енергія цих джерел так би мовити безкоштовна.

Негативні якості – це мала густина потоку (питома потужність) та мінливість у часі більшості ВДЕ. Перша обставина змушує створювати великі площі енергоустановок, що «перехоплюють» потік енергії, які використовуються (приймаючи поверхні сонячних установок, площі вітроколеса, протяжні греблі приливних електростанцій та ін.). Це призводить до великої матеріалоемності схожих пристроїв, а, значить, і до збільшення питомих капіталовкладень у порівнянні з традиційними енергоустановками. Правда, підвищення капіталовкладень згодом окупаються за рахунок низьких експлуатаційних затрат.

Україна має досить сприятливі умови для розвитку сонячної енергетики. Визначено що, кількість енергії, яка надходить на одиницю площі протягом року складає $1000-1350 \text{ кВт} \cdot \text{год.} / \text{м}^2$ [10]. За рівнем інтенсивності сонячного випромінювання країну можна поділити на чотири регіони – Західний, Центральний, Південно-східний та Південний. Середня інтенсивність сонячного випромінювання складає близько $1200 \text{ кВт} \cdot \text{год.} / \text{м}^2$ [10].

За прогнозними оцінками [11] технічний можливий потенціал дає можливість у 2030 р. виробляти електроенергії сонячними фотоелектричними установками у обсязі $2 \text{ ТВт} \cdot \text{год.} / \text{рік}$, а в 2050 р. – $9 \text{ ТВт} \cdot \text{год.} / \text{рік}$.

Також Україна має сприятливі умови для розвитку вітроенергетики. За даними [11, 12], найбільш придатними регіонами для будівництва вітроелектричних станцій вважаються Карпатський, Причорноморський, Приазовський, Донбаський, Західно-Кримський, Східно-Кримський регіони та Харківська і Полтавська області.

Згідно з даними [1], прогноз темпів запровадження потужностей вітроелектричних станцій на період до 2030 р. складатиме сумарну потужність 11290 МВт з річним виробництвом $25 \text{ ТВт} \cdot \text{год.}$ За даними [11] до 2050 р. виробництво електричної енергії за допомогою вітроелектричних станцій може становити до $42 \text{ ТВт} \cdot \text{год.} / \text{рік}$.

Коротко розглянемо основні види ВДЕ, їх переваги та недоліки.

Енергія сонця. В останні часи інтерес до проблем використання енергії сонця різко підвищився, і, хоча це джерело також можна віднести до відновлювальних, увага, яка приділяється йому в усьому світі, змушує нас розглядати його можливості окремо. Потенційні можливості енергетики, заснованої на використанні безпосередньо сонячного випромінювання, надзвичайно великі. Відмітимо, що використання всього 0,0125 % [4, 13, 14] цієї кількості енергії сонця могло б забезпечити всі сьогоденні потреби світової енергетики, а використання 0,5 % [4, 13, 14] - повністю забезпечити потреби на перспективу. Нажаль, навряд коли-небудь ці величезні потенційні ресурси вдасться реалізувати у великих масштабах.

Середня інтенсивність сонячних променів на поверхні Землі знаходиться в межах від 7,2 МДж / м² за добу на півночі Європи до 21,6 МДж / м² в посушливих районах [14-17].

Для виробництва електроенергії за допомогою енергії сонця, використовують сонячні панелі (СП). Фотоелементи виготовляють з кремнію, вони безпосередньо перетворюють потік фотонів сонячної радіації, який надходить до фотоелементів, в електричну енергію. Послідовне або паралельне з'єднання великої кількості фотоелементів утворює СП (або фотоелектричний модуль). Сонячні фотоелементи можуть напряму перетворювати сонячну радіацію в електричну енергію без використання рухомих механізмів.

Перевагами сонячних енергосистем є:

- висока надійність;
- низькі поточні витрати (фотоелементи працюють на безкоштовному пальному – енергії сонця. Завдяки відсутності рухомих частин, вони не потребують особливого догляду);
- екологічність (оскільки при використанні СП не спалюється пальне і немає рухомих частин, то вони є безшумними та екологічно чистими. Ця їх особливість корисна там, де єдиною альтернативою для отримання енергії є традиційні установки з двигунами внутрішнього згорання (ДВЗ));

- модульність (сонячні енергосистеми можна довести до будь-якого розміру в залежності від енергетичних потреб споживача);

- низькі витрати на будівництво (зазвичай сонячні енергосистеми розташовують близько до споживача, а значить лінії електропередач не потрібно потягувати на далекі відстані, як це необхідно у випадку підключення до ЦЕС).

Завдяки природним і кліматичним умовам наша країна має значні перспективи у використанні енергії сонця. Це зумовлене тим, що 60 % енергії у виробництві і побуті витрачається на низькопотенційні процеси з температурою до 100 °С, а інтенсивність сонячного випромінювання становить за день від 8,5 до 1,7 кВт · год. / м², або в середньому 1900 кВт · год. / м² за рік для географічної широти 40-60 °[9].

Згідно даних [18, 19], енергосистеми на основі СП можуть бути ефективні на всій території України. Єдиний недолік – висока вартість СП, що стримує розвиток енергосистем середньої та великої потужності.

Таким чином, можна зробити висновок, що енергія сонця є дуже перспективним джерелом енергії. Сама по собі ця енергія безкоштовна, але коли справа доходить до конструювання фотоелементів та СП, ситуація різко змінюється. Використання такої «безкоштовної» енергії для великих потреб вимагає величезних капіталовкладень. Проте за розрахунками, такі капіталовкладення згодом окупаються. А головний чинник, який дає сонячним установкам «зелене світло» – це той факт, що сонце буде завжди. Принаймні на теперішній час сумнівів у цьому немає.

Гідроенергія. Кругообіг води в природі регулюється сонцем і відбувається в кілька етапів – випаровування, випадання опадів, стікання у водоймища і моря. Найбільший стік води внаслідок опадів відмічають весною та восени, найменший – влітку та взимку. Для створення стабільних запасів застосовують греблі і загради, які дозволяють підтримувати однаковий рівень води незалежно від опадів. Це важливо для виробництва механічної та електричної енергії за допомогою гідроагрегатів,

ефективність дії яких залежить від висоти падіння і кількості води, яка проходить через них.

Широко застосовується енергія річок для виробництва електроенергії в більшості країн світу. За останнє десятиріччя в розвинених країнах для цього почали використовувати енергію малих річок і потоків за допомогою сучасних мікро-гідроелектричних станцій (мікро-ГЕС). В Україні виготовляють мікро-ГЕС різних типорозмірів. Починаючи від 0,25 кВт, до 6 кВт, в залежності від напору води. Джерелами енергії для мікро-ГЕС є: невеликі річки, струмки, природні перепади висот на озерних водосхилах; технологічні водотоки (промислові та каналізаційні скиди).

Перевагами використання гідроенергії є:

- відсутнє порушення природного ландшафту і навколишнього середовища в процесі будівництва і на етапі експлуатації;

- відсутній негативний вплив на якість води: вона не втрачає первинних природних властивостей і може використовуватися для водопостачання населення;

- практично відсутня залежність від погодних умов.

Недоліками є:

- даний вид ВДЕ не має територіальної розповсюдженості, внаслідок чого використання даного ресурсу обмежується географічними та кліматичними умовами, в яких розташований автономний споживач;

- оскільки стоки річок нерівномірні, то на повній потужності мікро-ГЕС працюють лише у період повеней та паводків; таким чином коефіцієнт використання потужності знижується на 15-20 % [9];

- відсутність басейнів добового регулювання (вони не можуть здійснювати регулювання потужності протягом доби та працюють на водотоці).

В Україні найбільший гідроенергетичний потенціал малих річок зосереджений в карпатському регіоні – близько 30 % ресурсів [9]. Тому широкомасштабне використання гідроенергії використовують лише для великих ГЕС.

Геотермальна енергія. Серед відновлюваних джерел енергії найбільш перспективним і готовим до практичного використання є тепло Землі. Теплове випромінювання Землі складає приблизно $1,2 \cdot 10^{-6}$ кал / (см² · с), або для всієї поверхні планети – $2 \cdot 10^{20}$ кал / рік [9].

Розрізняють чотири основні джерела геотермальної енергії:

- нормальне поверхове тепло землі, яке використовується геотермальними тепловими насосами;
- гідротермальні системи, тобто резервуари пари, гарячої чи теплої води біля самої поверхні землі (нині для вироблення електроенергії використовуються саме ці ресурси);
- глибока коркова теплота, яка утримується під поверхнею землі, але може не мати води;
- енергія магми, теплота, що накопичена під вулканами та кальдерами; іноді магма частково буває у розплавленому стані.

Від того, яке джерело геотермальної енергії використовується, залежить будова станції. Оскільки ці джерела мають дуже широкий спектр характеристик, то неможливо уніфікувати технічні рішення щодо об'єктів та обладнання, яке на них застосовуватиметься.

Перевагами використання геотермальної енергії є:

- екологічна чистота та економічність;
- незалежність від умов навколишнього середовища.

До недоліків цього виду ВДЕ можна віднести:

- автономний споживач повинен бути розташований поблизу геотермальних ресурсів, які існують не в кожній місцевості;
- вартість спорудження свердловини зростає із збільшенням глибини;
- може забруднювати середовище, оскільки в атмосферу надходить додаткова кількість розчинених в підземних водах сполук сірки, бору, миш'яку, арсену, ртуті; викидається водяна пара, збільшуючи вологість.

В Україні значні запаси термальних вод є на Закарпатті, у Криму, Прикарпатті та в інших регіонах [9]. Ці запаси вже сьогодні рентабельно використовуються не тільки для

теплопостачання різноманітним споживачам, а й для виробництва електроенергії.

Енергія вітру. Величезна енергія повітряних мас, що рухаються. Запаси енергії вітру більш ніж у сто разів перевищують запаси гідроенергії всіх річок планети. В наші дні двигуни, що використовують вітер, покривають всього одну тисячу світових потреб в енергії. Енергосистеми на основі вітрових установок ефективні в районах, які мають сприятливі вітрові умови, тобто середня швидкість вітру перевищує 4,5 – 5 м/с [4, 8, 9].

Привабливість вітрової енергії обумовлена рядом причин:

- безкоштовність та екологічна чистота;
- територіальна розповсюдженість і доступність в кожній точці Землі;
- тривалість існування на перспективу.

Головними недоліками цієї енергії є:

- стохастичний характер надходження;
- в окремих випадках можливість завдання шкоди фауні;
- можливі шумові та електромагнітні впливи під час роботи вітрових установок.

В Україні сприятливі умови для використання енергії вітру існують в Криму, на Чорноморському узбережжі, південних та південно-східних областях, в Карпатах.

Біоенергія. Під терміном біомаса розуміють органічні речовини рослинного і тваринного походження (деревина, солома, гній тощо), що містять вуглець. Основним джерелом біомаси, незаперечно, є ліс і сільськогосподарські рослини. В основі виробництва біомаси лежить механізм фотосинтезу рослин, за допомогою якого акумулюється сонячна енергія, перетворюючись у хімічну.

Біологічну масу переробляють з метою отримання тепла або палива високої якості. Враховуючи вид виробленого кінцевого продукту (тверде, рідке або газоподібне паливо), існують різні способи переробки біомаси: термічний, хімічний, термохімічний, біологічний та біохімічний. Ні один з названих способів не може претендувати на універсальність. Вибір способу перероблення залежить від виду біомаси, кінцевої мети

(одержання твердого, рідкого або газоподібного палива), економічної і екологічної доцільності та ін.

Крім біомаси використовують також і біогаз. Біогаз – суміш CH_4 та CO_2 – продукт анаеробної ферментації органічних речовин. Ці речовини розкладаються метановими бактеріями за таких основних сприятливих умов для їх життєздатності: відсутності вільного кисню; достатньої кількості азоту; наявності лужного середовища; відсутності світла; відповідного значення температури; високої вологості (вище 50 %) [4, 6, 9].

На продуктивність біогазової установки впливають: температурний та *pH* режими; хімічний склад та розміри частинок біомаси, яку завантажують; тиск газового середовища в реакторі; концентрація мікроорганізмів всередині реактора; спосіб та ефективність перемішування бродильного середовища; швидкість завантаження біомасою реактора; тривалість бродіння (час утримання біомаси в реакторі); наявність живильних та отруйних речовин.

Перевагами таких систем є:

- великі потенційні запаси та різноманітність культур;
- підтримка інтегрованого с/г виробництва;
- покращення екології довкілля;
- ефективне використання супутніх продуктів (відходів, стоків).

Також такі системи мають і ряд недоліків, до яких можна віднести наступні:

- збіднення та ерозія ґрунтів;
- використання генної інженерії може викликати появу непідконтрольних організмів;
- перевезення біомаси до місця переробки завантажує транспорт;
- помилки в проектуванні і відсутність замкнутого циклу перероблення можуть призвести до забруднення середовища.

Жодне з ВДЕ не є універсальним, придатним, для використання в будь-якій ситуації, в будь-якому регіоні, в будь-яку пору. Все це визначається конкретними географічними та кліматичними умовами, потребами споживача, типом навантаження, екологічними обмеженнями тощо.

В розділі 4 наведено методику за допомогою якої можна визначити – яке джерело (джерела) енергії слід обрати для енергозабезпечення споживача, з метою максимального задоволення його енергетичних потреб та раціонального використання енергії, шляхом врахування метеорологічних, кліматичних, екологічних, матеріальних та інших факторів, що впливають на прийняття рішення (ПР).

1.2. Законодавчі та нормативні акти

Нижче наведено перелік основних нормативно-правових актів, які регулюють діяльність електроенергетичної галузі [1-3, 20,]:

1. Закон України від 24.10.2013 № 663-VII «Про засади функціонування ринку електричної енергії України».

2. Закон України від 22.06.2012 № 5021-VI «Про внесення змін до деяких законів України щодо плати за приєднання до мереж суб'єктів природних монополій».

3. Закон України від 16.10.1997 №575/97 – ВР «Про електроенергетику».

4. Закон України від 02.06.2005 № 2633-IV «Про теплопостачання».

5. Закон України від 01.07.1994 №74/94 «Про енергозбереження».

6. Закон України від 05.04.05 №2509-IV «Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання скидного енергопотенціалу».

7. Закон України від 20.02.2003 №555-IV «Про альтернативні джерела енергії».

8. Закон України від № 14.01.2000 №1391-XIV «Про альтернативні види палива».

9. Указ Президента України від 04.04.1995 №282/95 «Про структурну перебудову в електроенергетичному комплексі України».

10. Указ Президента України від 03.12.2001 №1169/2001 «Про додаткові заходи щодо реформування електроенергетичної галузі».

11. Указ Президента України від 27.12.2005 №1863/2005 «Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 9 грудня 2005 року «Про стан енергетичної безпеки України та основні засади державної політики у сфері її забезпечення».

12. Постанова Кабінету Міністрів України від 22.06.2004 №794 «Про утворення Національної акціонерної компанії «Енергетична компанія України».

13. Постанова Кабінету Міністрів України від 15.02.1999 №189 «Про затвердження Порядку здійснення державного нагляду в електроенергетиці».

14. Постанова Кабінету Міністрів України від 10.07.1997 №731 «Про Комплексні заходи щодо реалізації Національної енергетичної програми України до 2010 року».

15. Постанова Кабінету Міністрів України від 05.06.2000 №922 «Про затвердження Статуту державного підприємства «Енергоринок».

16. Постанова Кабінету Міністрів України від 16.11.2002 №1789 «Про схвалення Концепції функціонування та розвитку оптового ринку електричної енергії України».

17. Постанова Кабінету Міністрів України від 29.04.1999 №753 «Про порядок видачі Національною комісією регулювання електроенергетики ліцензій на провадження діяльності, пов'язаної з виробництвом, передачею та постачанням електричної енергії, комбінованим виробництвом теплової та електричної енергії, виробництвом теплової енергії на теплоелектроцентралях та установках з використанням нетрадиційних або поновлюваних джерел енергії».

18. Постанова Кабінету Міністрів України від 17.03.2004 №328 «Про утворення Міжвідомчої комісії з координації роботи, пов'язаної з реалізацією положень Концепції функціонування та розвитку оптового ринку електричної енергії України».

19. Постанова Кабінету Міністрів України від 03.12.2008 №1082 «Питання удосконалення схем розрахунків за використану електроенергію та природний газ».

20. Постанова Кабінету Міністрів України від 22 лютого 2008 року №75 «Про затвердження критеріїв розподілу суб'єктів господарювання за ступенем ризику їх діяльності в галузі

електроенергетики та сфері теплопостачання і визначення періодичності здійснення заходів державного нагляду (контролю)».

21. Постанова Кабінету Міністрів України від 19.07.2000 №1139 «Про затвердження Порядку застосування санкцій за порушення законодавства про електроенергетику».

22. Постанова Кабінету Міністрів України від 19.02.2009 №126 «Про особливості приєднання до електричних мереж об'єктів електроенергетики, що виробляють електричну енергію з використанням альтернативних джерел».

23. Постанова Кабінету Міністрів України від 22.01.2005 №89 «Про затвердження Порядку зарахування та використання надходжень від збору у вигляді цільової надбавки до діючого тарифу на електричну та теплову енергію».

24. Постанова Кабінету Міністрів України від 07.08.1996 №929 «Про посилення контролю за режимами споживання електричної і теплової енергії».

25. Постанова Кабінету Міністрів України від 16.11.2002 №1789 «Про схвалення Концепції функціонування та розвитку оптового ринку електричної енергії України».

26. Постанова Кабінету Міністрів України від 25.08.2004 №1091 «Про утворення Комісії з питань реформування та розвитку енергетичної галузі».

27. Постанова Кабінету Міністрів України від 15.07.1998 № 1094 «Про державну експертизу з енергозбереження».

28. Постанова Кабінету Міністрів України від 03.12.2008 № 1082 «Питання удосконалення схем розрахунків за використану електроенергію та природний газ».

29. Постанова Кабінету Міністрів України від 11.04.2002 № 483 «Про порядок затвердження інвестиційних програм і проектів будівництва та проведення їх комплексної державної експертизи».

30. Постанова Кабінету Міністрів України від 26.07.1999 № 1357 «Про затвердження Правил користування електричною енергією для населення».

31. Постанова Кабінету Міністрів України від 15.07.1997 № 786 «Про порядок нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів у суспільному виробництві».

32. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 08.09.2004 № 648-р «Про заходи щодо реконструкції та модернізації теплоелектростанцій у період до 2010 року».

33. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 13.06.2007 №408-р «Про затвердження плану заходів з реформування та розвитку енергетичного сектору».

34. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 28.11.2007 №1056-р «Про схвалення плану заходів щодо реалізації положень Концепції функціонування та розвитку оптового ринку електричної енергії України».

35. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 02.07.2012 № 418-р «Про організаційні заходи з підготовки обладнання електростанцій, теплових та електричних мереж до стабільної роботи в осінньо-зимовий період».

36. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 №1071 «Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2030 року».

37. Постанова Національної комісії регулювання електроенергетики України від 07.04.2011 №573 «Про затвердження цільових показників надійності електропостачання».

38. Постанова Національної комісії регулювання електроенергетики України від 26.04. 2011 № 698 «Про затвердження на травень 2011 року сум коригування платежів за електроенергію, куповану на Оптовому ринку електроенергії України на території здійснення ліцензованої діяльності постачальників електричної енергії за регульованим тарифом».

39. Постанова Національної комісії регулювання електроенергетики України від 08.02.1996 №3 «Про затвердження Умов та Правил здійснення підприємницької діяльності з виробництва електричної енергії».

40. Постанова Національної комісії регулювання електроенергетики України від 13.06.1996 №15 «Про затвердження Умов та Правил здійснення підприємницької діяльності з передачі електричної енергії місцевими (локальними) електромережами».

41. Постанова Національної комісії регулювання електроенергетики України від 13.06.1996 №15/1 «Про

затвердження Умов та Правил здійснення підприємницької діяльності з постачання електричної енергії за регульованим тарифом»,

42. Постанова Національної комісії регулювання електроенергетики України від 12.08.1996 №36 «Про затвердження Умов та Правил здійснення підприємницької діяльності з постачання електричної енергії за нерегульованим тарифом».

43. Постанова Національної комісії регулювання електроенергетики України від 11.10.1996 №152 «Про затвердження Умов та Правил здійснення підприємницької діяльності з передачі електричної енергії магістральними та міждержавними електричними мережами».

44. Постанова Національної комісії регулювання електроенергетики України від 16.12.1996 №256 «Про затвердження Умов та Правил здійснення підприємницької діяльності з оптового постачання електричної енергії».

45. Постанова Національної комісії регулювання електроенергетики України від 31.07.1996 №28 «Про затвердження Правил користування електричною енергією».

46. Постанова Національної комісії регулювання електроенергетики України від 25.12.2002 №1455 «Про затвердження Порядку придбання товарів, робіт і послуг ліцензіатами, ціни (тарифи) на відповідну діяльність яких встановлюються НКРЕ».

47. Постанова Національної комісії регулювання електроенергетики України від 13.04.2006 №457 «Про затвердження Порядку контролю за дотриманням ліцензіатами Умов та Правил здійснення підприємницької діяльності з постачання електричної енергії за регульованим тарифом та за нерегульованим тарифом, з виробництва електричної енергії, передачі електричної енергії місцевими (локальними) електричними мережами, оптового постачання електричної енергії та передачі електричної енергії магістральними та міждержавними електричними мережами».

48. Постанова Національної комісії регулювання електроенергетики України від 06.10.1999 №1305 «Про затвердження Інструкції про порядок видачі ліцензій

Національною комісією регулювання електроенергетики на здійснення окремих видів підприємницької діяльності».

49. Постанова Національної комісії регулювання електроенергетики України від 25.03.10 № 299 «Про затвердження Порядку формування та ведення реєстру об'єктів електроенергетики, що використовують альтернативні джерела енергії (крім доменного та коксівного газів, а з використанням гідроенергії лише малих гідроелектростанцій)».

50. Постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сфері енергетики від 17.01.2013 № 32 «Правила приєднання електроустановок до електричних мереж».

51. Постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сфері енергетики від 12.02.2013 № 115 Методика розрахунку плати за приєднання електроустановок до електричних мереж.

52. Наказ Міністерства палива та енергетики України від 24.05.2006 №183 «Про затвердження Порядку підготовки та фінансування проектів з метою реалізації плану реконструкції та модернізації теплових електростанцій».

53. Наказ Міністерства палива та енергетики України від 21.06.2005 №276 «Про забезпечення інтеграції ОЕС України до об'єднання енергосистем країн та розвитку експортного потенціалу електроенергетичної галузі».

54. Наказ Міністерства палива та енергетики України від 07.07.2006 №231 (у редакції наказу Мінпаливенерго України від 29.12.2008 №667, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 03.03.2009 за №195/16211) «Про затвердження Положення про порядок оцінки готовності об'єктів електроенергетики до роботи в осінньо-зимовий період», зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 21.09.2006 за №1064/12938.

55. Наказ Міністерства палива та енергетики України від 24.03.2008 №161 «Регламент Міністерства палива та енергетики України».

56. Спільний наказ Державної Митної Служби України, Мінпаливенерго, Міністерства транспорту та зв'язку України від 12 грудня 2006 року №1110/484/1146 «Про затвердження

Інструкції про здійснення митного контролю за переміщенням електроенергії через митний кордон України».

57. Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 26.02.2014 № 227 «Про організацію роботи Міненерговугілля з реалізації положень Закону України «Про засади функціонування ринку електричної енергії України».

58. Енергетична стратегія України на період до 2030 року. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 1071.

Ці акти та документи дали змогу створити структуру державного управління та контролю у сфері енергозбереження, запровадити систему нормування паливно-енергетичних ресурсів, поняття енергетичного аудиту, систему державної експертизи з енергозбереження та нац. стандартів з енергозбереження, встановити санкції за порушення законодавства у сфері енергозбереження та систему економічного стимулювання підвищення енергоефективності та розвитку відновлюваної енергетики.

Слід зазначити, що ознакою удосконалення законодавства у сферах енергоефективності та відновлюваної енергетики протягом 2007 -2018 років стало прийняття низки законодавчих актів щодо надання преференцій та стимулювання розвитку відновлюваної енергетики і впровадження енергофактивних технологій. На сьогодні, всі пільги у цих сферах фактично з акумульовані в нормах Податкового і Митного кодексів та Закону України «Про електроенергетику».

Згідно [5] альтернативні джерела енергії - відновлювані джерела енергії, до яких належать енергія сонячна, вітрова, геотермальна, енергія хвиль та припливів, гідроенергія, енергія біомаси, газу з органічних відходів, газу каналізаційно-очисних станцій, біогазів, та вторинні енергетичні ресурси, до яких належать доменний та коксівний газ, газ метан дегазації вугільних родовищ, перетворення скидного енергопотенціалу технологічних процесів.

Нормами Закону України «Про електроенергетику» [21] передбачено «зелений» тариф за яким закуповується електрична енергія, вироблена на об'єктах електроенергетики, у тому числі

на введених в експлуатацію чергах будівництва електричних станцій (пускових комплексів), з альтернативних джерел енергії (крім доменного та коксівного газів, а з використанням гідроенергії - вироблена лише мікро-, міні- та малими гідроелектростанціями).

«Зелений» тариф встановлюється для кожного суб'єкта господарювання, який виробляє електричну енергію з альтернативних джерел енергії, за кожним видом альтернативної енергії та для кожного об'єкта електроенергетики (або для кожної черги будівництва електростанції (пускового комплексу)).

«Зелений» тариф на електричну енергію, вироблену генеруючими установками приватних домогосподарств, встановлюється єдиним.

Фіксований мінімальний розмір «зеленого» тарифу для суб'єктів господарювання встановлюється шляхом перерахування у євро величини «зеленого» тарифу, розрахованого за правилами Закону України «Про електроенергетику», за офіційним валютним курсом Національного банку України на зазначену дату.

Основним програмним документом у сфері енергоефективності та відновлюваної енергетики є «Державна цільова економічна програма енергоефективності і розвитку сфери виробництва енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива на 2010-2015 роки» [22].

Метою Програми є оптимізація структури енергетичного балансу держави, у якому частка енергоносіїв, отриманих з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива, становитиме у 2015 році не менш як 10 відсотків, шляхом зменшення частки імпортованих викопних органічних видів енергоресурсів, зокрема природного газу, та заміщення їх альтернативними видами енергоресурсів, у тому числі вторинними, за умови належного фінансування Програми.

Основними завданнями Програми є [22]:

- удосконалення законодавства та системи стандартизації у сфері енергоефективності, відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива шляхом:

- розроблення технічних завдань та стандартів у сфері енергоефективності, відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива;

- адаптації національного законодавства у сфері енергоефективності, відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива до законодавства Європейського Союзу;

- зменшення обсягу технологічних витрат і невиробничих втрат енергоресурсів у результаті модернізації обладнання, впровадження сучасних енергоефективних технологій, удосконалення системи державного управління та популяризації енергоефективності, зокрема шляхом:

- оновлення, модернізації енерговитратного технологічного обладнання промислових підприємств;

- проведення санації житлових будинків, об'єктів соціальної сфери та будівель установ, які повністю утримуються за рахунок коштів державного бюджету, в тому числі розроблення проектно-кошторисної документації;

- проведення санації об'єктів соціальної сфери, які повністю утримуються за рахунок коштів місцевих бюджетів;

- розроблення типових проектів з модернізації та заміни котлів з переведенням їх на альтернативні види палива, встановлення теплових насосів, впровадження технологій електричного теплоаккумуляційного обігріву та гарячого водопостачання на об'єктах комунальної форми власності і соціальної сфери, впровадження когенераційних технологій з використанням альтернативних видів палива у сфері комунальної теплоенергетики;

- стимулювання промислових підприємств до проведення модернізації котельень, впровадження енергоефективного обладнання, технологій, матеріалів і проведення відповідних робіт шляхом компенсації частини вартості проектів;

- проведення модернізації та заміни котлів з переведенням їх на альтернативні види палива, реалізації проектів з впровадження технологій використання теплових насосів, електричного теплоакumuляційного обігріву та гарячого водопостачання на об'єктах комунальної форми власності і соціальної сфери та впровадження когенераційних технологій з використанням альтернативних видів палива у сфері комунальної теплоенергетики;
- проведення модернізації газотранспортної системи, устаткування теплових електростанцій, теплоелектроцентралей;
- будівництва та реконструкції електричних мереж, будівництва пристанційних вузлів, підстанцій та електричних мереж для приєднання об'єктів, які виробляють електроенергію з відновлюваних джерел енергії;
- будівництва та реконструкції локальних мереж, пристанційних вузлів та підстанцій для приєднання об'єктів, які виробляють електроенергію з відновлюваних джерел;
- оснащення суб'єктів господарювання у сфері виробництва теплової енергії комунальної форми власності приладами обліку фактичного відпуску теплової енергії та оснащення житлових будинків будинковими приладами її обліку;
- стимулювання населення (далі - позичальники) до впровадження енергоефективного обладнання, технологій, матеріалів і проведення відповідних робіт шляхом компенсації процентів у визначеному розмірі за користування кредитами, отриманими позичальниками у фінансових установах;
- здійснення заходів, спрямованих на формування в суспільстві свідомого ставлення до необхідності підвищення енергоефективності, розвитку та використання відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива;

- оптимізація структури енергетичного балансу держави, зокрема заміщення традиційних видів енергоресурсів іншими видами, у тому числі отриманими з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива, а також вторинними енергетичними ресурсами, шляхом:

- будівництва електрогенеруючих потужностей на основі використання енергії вітру;
- реалізації проектів з будівництва сонячних установок для виробництва електроенергії та теплової енергії, установок для виробництва біодизеля та паливного біоетанолу, синтетичного палива;
- відновлення малої гідроенергетики та будівництва нових потужностей;
- реалізації проектів з будівництва установок, що працюють на твердому біопаливі та біогазі, для виробництва теплової і електричної енергії;
- реалізації пілотних проектів з будівництва установок для генерації електроенергії з використанням енергії біомаси, будівництва геотермальних теплових електростанцій з використанням супутнього газу;
- розроблення техніко-економічного обґрунтування та проекту будівництва типової сучасної міні-ТЕЦ, що працює на біомасі та інших альтернативних видах палива;
- впровадження технологій використання промислового газу, а також низьконапірного газу, видобутого з родовищ нафти і газу, для виробництва теплової та електричної енергії;
- реалізації проектів з перероблення торфу та виготовлення торфобрикетів, фрезерного торфу;
- науково-технічного забезпечення виконання Програми, у тому числі проведення науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт у сфері виробництва енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива;
- створення системи моніторингу виробництва енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії та

альтернативних видів палива відповідно до заходів Програми;

- проведення досліджень потенціалу регіонів щодо розміщення об'єктів відновлюваної енергетики;
- проведення досліджень поточного стану малих гідроелектростанцій;
- проведення досліджень вітропотенціалу, зокрема визначення пріоритетних районів розташування вітрових електростанцій та встановлення вимірювального устаткування.

Згідно Енергетичної стратегії України [1] Розвиток нетрадиційних ВДЕ є важливим фактором:

- зниження використання викопних паливних ресурсів (у тому числі імпортованих) для генерації електричної та теплової енергії та підвищення ступеня енергетичної безпеки;
- покращення екологічної обстановки в Україні;
- розвитку української промисловості та нарощування власних будівельних потужностей.

Розвиток ВДЕ країни у довгостроковій перспективі повинен відбуватися на основі економічної конкуренції з традиційними джерелами, а також з урахуванням потенційних вигід від розвитку ВДЕ.

Для розвитку ВДЕ потрібно на законодавчому рівні забезпечувати сприятливі умови для інвестування. Держава також повинна підтримувати розробку та впровадження конкурентоспроможних технологій і локалізацію виробництва потрібного устаткування. Подібні заходи створять основу для подальшого зниження витрат на будівництво станцій і розширення масштабів використання відновлюваних джерел енергії.

Зазначені заходи щодо стимулювання розвитку ВДЕ та суміжних галузей (сфер діяльності) найбільш ефективно можуть бути реалізовані шляхом прийняття довгострокової Національної стратегії розвитку відновлюваної енергетики, яка б включила в себе правові, економічні, наукові, управлінські та інші аспекти забезпечення збільшення частки ВДЕ в енергетичному балансі України.

У 2011 році Україна вступила до Енергетичного Співтовариства. З метою виконання взятих на себе зобов'язань в рамках Договору про заснування Енергетичного Співтовариства Урядом повинен бути підготовлений Національний план дій з енергоефективності (НПД ЕЕ) до 2020 року. Загальною метою НПД ЕЕ на національному рівні повинно бути досягнення кількості збереженої енергії у 2020 році в розмірі 9% від середньої кількості кінцевого споживання [1].

Основними принципами державної політики в сфері енергоефективності мають бути [1]:

- введення обов'язкового енергетичного менеджменту й енергетичного аудиту на підприємствах і установах усіх форм власності;
- розробка та впровадження механізмів стимулювання енергозбутових компаній до забезпечення зниження споживання електроенергії їх клієнтами;
- встановлення більш жорстких стандартів енергоефективності при будівництві та реконструкції будівель та встановлення темпів підвищення енергоефективності існуючих будівель;
- популяризація заходів із підвищення енергоефективності серед населення;
- стимулювання розвитку енергосервісних компаній (ЕСКО) за рахунок створення відповідної нормативної бази та впровадження механізмів ЕРС договорів.

Головним чинником, який унеможливорює забезпечення надійної основи для реалізації енергоефективної політики, є недосконалість законодавчої бази. Зокрема, на сьогодні, основним законодавчим актом, що регулює відносини у сфері енергоефективності, є Закон України «Про енергозбереження», який носить декларативний характер та не містить механізмів прямої дії і на сьогодні вичерпав свій ресурс. Саме прийняття законопроекту «Про ефективне використання паливно-енергетичних ресурсів» надасть реального поштовху до здійснення реформ у сфері енергоефективності

Необхідно надати пріоритет проведенню заходів із підвищення енергоефективності у державному секторі. У той же час необхідно розробити на національному та регіональних рівнях систему стимулювання та фінансової допомоги населенню, що буде спрямована на фінансування впровадження заходів для підвищення енергоефективності.

1.3. Питання для самоконтролю

1. Які електростанції здійснюють централізоване виробництво електричної енергії в Україні?
2. Яка різниця між не відновлюваними та поновлюваними джерелами енергії? Наведіть приклади.
3. Яким чином визначають ефективність роботи ТЕС?
4. Які переваги та недоліки використання ТЕС?
5. Які переваги та недоліки використання ГЕС?
6. Які переваги та недоліки використання АЕС?
7. Яка різниця між відновлюваним джерелом енергії та альтернативним джерело енергії?
8. Переваги та недоліки використання ВДЕ?
9. Що таке «зелений» тариф? Який механізм його дії?

ТЕМА 2 ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕГІЇ

2.1. Сонячне випромінювання та його характеристики

2.1.1. Загальні характеристики сонячного випромінювання

Сонячне світло, сонячне тепло живить все живе на Землі і є першоджерелом для багатьох різновидів енергії. В даний час, коли людством усвідомлена небезпека інших видів енергетики, невимірно зросли потреби і звузилися можливості їх задоволення, воно повертається до витоків – сонячної або геліоенергетики.

Сонце – це величезна куля з плазми (тобто іонізованого газу), що складається в основному з водню – 73,46 % маси і гелію – 24,85 % маси. Таким чином, на решту всіх елементів, що входять до складу Сонця, припадає менше 2 %. Такими елементами є: кисень (0,77 % сонячної маси); вуглець (0,29 %); залізо (0,16 %); неон (0,12 %); азот (0,09 %); кремній (0,07 %); магній (0,05 %); сірка (0,04 %) [4, 14, 16].

Сонце знаходиться на відстані більше 172 000 000 км., від планети Земля. Температура поверхні Сонця може досягати рівня 6000° С (при такій температурі будь-який метал або камінь перетворюється на газ, тому Сонце є газовою кулею) [26].

Реальне значення мають такі джерела як гравітаційне стискання і термоядерний синтез. З теорії випливає, що під час гравітаційного стискання протозоря випромінює практично половину звільненої потенціальної енергії в навколишній простір. Друга її половина іде на нагрівання речовини самої зорі. Першою і найефективнішою з реакцій термоядерного синтезу в умовах Сонця є утворення з чотирьох протонів ядра атома гелію за схемою 4^1H Потік енергії, що виникає в надрах Сонця, передається в зовнішні шари й розподіляється на дедалі більшу площу. Внаслідок цього температура сонячної плазми знижується з віддаленням від центра. Залежно від температури й характеру процесів, що нею визначаються, Сонце можна умовно поділити на 4 частини: внутрішня, центральна частина (ядро), де тиск і температура забезпечують перебіг ядерних реакцій; вона

простягається від центра на відстань приблизно $1/3$ радіуса промениста зона (відстань від $1/3$ до $2/3$ радіуса), в якій енергія передається назовні внаслідок послідовного поглинання і випромінювання квантів електромагнітної енергії конвективна зона — від верхньої частини «променистої» зони майже до видимої поверхні Сонця. сонячна атмосфера, що починається відразу за конвективною зоною і сягає далеко за межі видимого диска Сонця. Нижній шар атмосфери — фотосфера, тонкий шар газів, який ми сприймаємо як поверхню Сонця. Верхніх шарів атмосфери безпосередньо не видно через значну розрідженість, їх можна спостерігати або під час повних сонячних затемнень, або за допомогою спеціальних приладів [25-31].

Кількість сонячної енергії, що потрапляє на горизонтальну площину, яка лежить на земній поверхні, сильно залежить від широти місцевості. Відношення середньомісячних приходів сонячної радіації в червні і грудні із збільшенням широти зростає. Ще в більшій мірі розрізняється надходження сонячної енергії в найкращий і найгірший дні року, при цьому відношення може досягати 50. Ці дані свідчать про велику зміну протягом року кількості сонячної енергії, що надходить, а отже, і про подібну зміну кількості виробленого тепла геліосистемами.

Для розрахунку кількості сонячної енергії, що надходить на похилу променепоглинаючу поверхню, необхідно знати кути падіння сонячних променів на похилу і горизонтальну поверхні в даному місці.

Положення точки А на земній поверхні щодо сонячних променів в даний момент часу визначається трьома основними кутами (рис. 2.1) [25-31]:

широтою місцеположення точки φ ;

годинниковим кутом ω ;

схиленням Сонця δ .

Поряд з трьома основними кутами у розрахунках використовують також зенітний кут z , кут висоти α та азимут a Сонця (рис. 2.2).

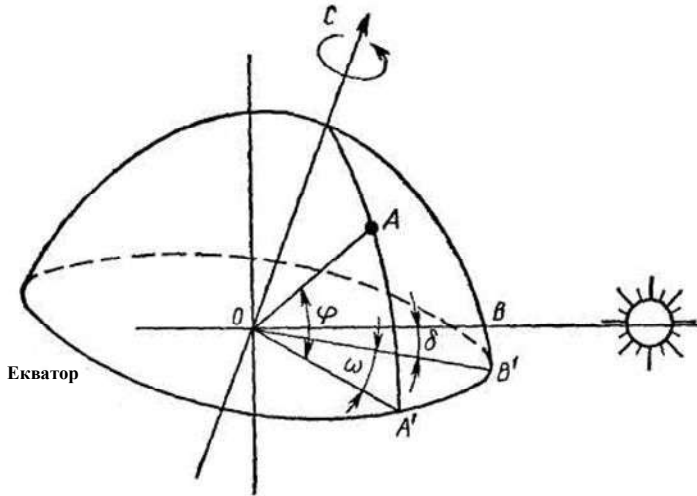


Рис. 2.1. Схема видимого руху Сонця небосхилом

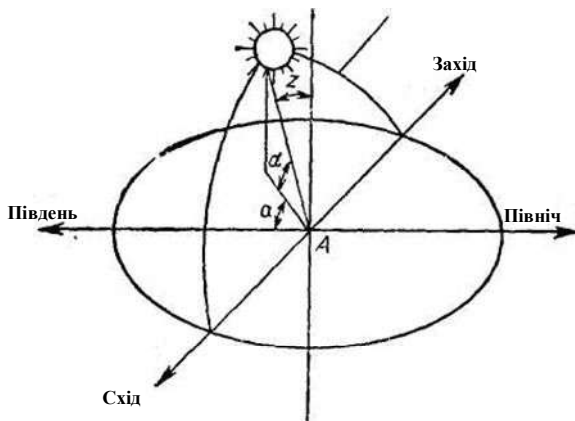


Рис. 2.2. Траскторія Сонця з точки зору спостерігача на земній поверхні

З метою одержання об'єктивної інформації про СВ й оцінки вірогідності різних методик його розрахунку необхідно користуватися даними метеостанцій даного досліджуваного регіону.

2.1.2. Методи вимірювання сонячного випромінювання

Існують методи вимірювання сонячної радіації, які полягають у використанні теплового, електричного, хімічного та фізіологічного діяння її на приймач приладу [16, 26-28].

Прилади, які побудовані на термічному принципі, мають ряд суттєвих переваг. Вони чутливі до широкого діапазону довжин хвилі та характеризуються пропорціональністю показань приймача до вимірюваної величини.

При використанні фільтрів за допомогою цих приладів можна вимірювати інтенсивність радіації в окремих ділянках спектру.

Завдяки перерахованим вище перевагам термічний метод отримав найбільш широке розповсюдження на світовій актинометричній мережі.

В наш час в залежності від характеру вимірювання потоку тепла існують багато різновидів термічного методу.

Серед існуючих актинометричних приладів можна виділити абсолютні та відносні вимірювачі радіації. До перших відносяться піргеліометри, до других – актинометри. Показання останніх необхідно переводити в теплові одиниці використовуючи переведення коефіцієнтів, які отримані шляхом порівняння цих приладів з абсолютними.

Крім того, актинометричні прилади можна поділити на [26]:

прилади, які вимірюють лише пряму радіацію: піргеліометри, актинометри та актинографи (які ресструють радіацію);

прилади, які вимірюють розсіяну та сумарну радіацію: піранометри та піранографи з горизонтальною поверхнею, піранометри з шаровою поверхнею.

Розсіяна радіація вимірюється піранометром при затінюванні приймача від прямих променів сонця. З цією метою

використовується екран при строкових спостереженнях на тіньове кільце для самописців, причому це кільце необхідно переставляти відповідно з річним рухом схилення сонця. Використовують також тіньовий геліостат (пересувний екран).

Піранометри з кульовою приймаючою поверхнею, на відміну від піранометрів з горизонтальною приймаючою поверхнею, вимірюють пряму радіацію, яка падає перпендикулярно, розсіяну та відбиту від ґрунту або будь-якої іншої поверхні, яка може відбивати, як, наприклад, від рослин, тварин та ін.

Теорія актинометричних приладів, які вимірюють короткохвильову сонячну радіацію, викладена в роботах О.Д. Хвольсона, Ф. Альбрехта, Ю.Д. Янишевського, К.Я. Кондратьєва.

П. Курвуазьє та Х. Вірзеєвський намагались класифікувати всі можливі способи вимірювання теплового потоку в актинометричних приладах, які засновано на термічному принципі. Нижче приводиться схема, яка запропонована вказаними авторами.

В табл. 2.1. є відомості про способи визначення тепла, покладених за основу методів вимірювання короткохвильової радіації, а також вказуються назви приладів, при цьому Курвуазьє та Вірзеєвський в своїй класифікації використовували термінологію, яку запропоновано В. Мерикофером.

Для порівняння дані, отримані за допомогою різних актинометричних інструментів, приводяться до показань еталонного приладу.

Звичайно в якості еталона використовується тільки один прилад. В актинометрії, однак, використовувались для цієї мети одночасно два прилади.

Для інструментів більшості європейських станцій еталоном є компенсаційний абсолютний піргеліометр Онгстрема №70, який зберігається в Упсалі. В США в якості еталону прийнято водострумний піргеліометр Аббота №5, який знаходиться в Смитсоніанському інституті у Вашингтоні [26-32].

В тих пунктах, де не проводяться безпосередні вимірювання сонячної радіації, непрямим показником радіаційного режиму може служити тривалість денного часу, протягом якого світило сонце.

Таблиця 2.1. Відомості про способи визначення тепла для методів вимірювання короткохвильової радіації

Група	Принцип дії	Назва приладу
1	Механічне діяння теплового потоку	Радіометр
2	Подача тепла через допоміжний потік а) струменя води б) електричний струм та ефект Пелат'є	Водострумний піргеліометр Смитсоніанського інституту (Аббот) Радіобалансомер Каллейдера
3	Відносні прилади, які вимірюють різницю температури а) механічним вимірюванням температури б) електричним вимірюванням температури 1. Термоэффект 2. Вимірювання опору («болومتر»)	Пірометричний актинометр Калитина (1927) та Бразьє (1928). Біметалевий актинометр Міхельсона з варіантами Мартена та Бютнера, а також Поллака. Біметалевий піранограф (біметалевий актинограф) Робича. Актинометр Савінова-Янишевського; піранометр Янишевського. Універсальний актинометр Лінке; панцирний актинометр Лінке та Фойснера; актинометр та актинограф, піранометра піранограф (соляриметр, соляриграф) Молль-Горчинського, актинограф (піргеліограф) Доріо та Тіленіуса; піранометр Елплі (піргеліометр). Піранометр Каллендера (1910)
4	Компенсаційні прилади, які вимірюють різницю температури; відрізняються від III групи тільки додатковим електронагрівальним пристроєм: а) механічним вимірюванням температури б) електричним вимірюванням температури 1. Термоэффект 2. Вимірювання опору	Вакуумний актинометр Калитина. Біметалевий актинометр Поллака. Прилад, який засновано на дії розширення газу, запропонований Абботом, Фойснером (1941) та Фалькенбергом. Компенсаційний піргеліометр Онгстрема; водострумний здвоєний піргеліометр Аббота (1932). Піргеліометр Аурена. Піранометр Каллендера (1906)
5	Прилади з опроміненням, які працюють нестационарно	Водострумний піргеліограф Аббота. Калориметр (тепломір) зі змішувачем Тингвальда та Фойснера.
6	Прилади з періодичним опроміненням, які працюють нестационарно	Актинометр із срібним диском (піргеліометр) Аббота та його більш вдосконалені типи. Радіаційний приймач Г'юлда; піргеліометр Марвіна.
7	Прилади, робота яких заснована на фазових перетвореннях	Кульовий піранометр Беллани. Льодяний піргеліометр Рентгена та Екснера, Міхельсона та Волошина.

Для безпервної реєстрації сонячного сьйва служать прилади, які називають геліографами.

В даний час отримало розповсюдження декілька типів геліографів. До одного з них належить геліограф Кемпбела-Стокса. Перша модель цього геліографа була сконструйована ще в 1853 р., і в подальші роки її дещо модифікували [26].

Основною частиною даного приладу є скляна куля, яка прикріплена вертикально розташованому стрижні. Проходячи через кулю, сонячні промені фокусуються в точці та потрапляють на картонну стрічку, закріплену за кулю в сферичній чашці. У разі прямого попадання сонячного проміння на прилад стрічка пропалюється.

Протягом дня внаслідок зміни положення сонця на небозводі міняється точка попадання променів на стрічку. Стрічка розграфлена поперечними лініями, відповідними певному годиннику дня від сходу до заходу сонця. Це дозволяє по пропалених ділянках стрічки встановити тривалість часу сонячного сьйва. Непропалені ділянки вказують на інтервали часу, протягом яких сонце було закрито хмарами.

Для спостережень за тривалістю сонячного сьйва на деяких широтах, зокрема в полярних областях, використовуються видозмінені моделі геліографа Кемпбела-Стокса. Справа в тому, що в період полярного дня, сьйво «нічного» сонця, яке знаходиться у північній частині неба, не може бути зареєстровано звичайним геліографом, так як в ньому скляна куля затулена з північної сторони стійкою приладу.

В моделі геліографа, яка використовується для високих широт (полярної моделі), або, як його називають, в універсальному геліографі, рамка приладу, в якій закріплена стрічка, зроблена рухомою.

Протягом доби ця рамка через кожні 8 годин ставиться в три різні положення відповідно визначеній стороні світла, і кожного разу змінюється стрічка. Дана модель дозволяє проводити реєстрацію сонячного сьйва на будь-яких широтах.

Використовується також тип геліографа, заснований на фотохімічній дії сонячного проміння на світлочутливий папір. До цього типу відносяться геліографи Величко і Джордано [26].

Основною частиною геліографа Величко є порожнистий циліндр, який орієнтується так, щоб його вісь співпадала з віссю світу. На поверхні циліндра є три щілини, розташовані на схід, південь і захід. Промені сонця, проникаючи через щілину, залишають слід на світлочутливому папері, якою огорнена внутрішня поверхня циліндра. Після обробки паперу отримується безперервний слід, якщо сонце світило увесь час, або переривистий слід, якщо, іноді сонце було закрите хмарами. На світлочутливому папері є ділення, які позначають години та хвилини.

Геліограф Джордана складається з двох порожнистих напівциліндрів, в кожному з яких є щілина. При попаданні сонячного світла на фотопапір він залишає на ній слід. Розташування та довжина сліду на папері дозволяють визначити час і тривалість сонячного саява.

Геліографи, засновані як на калориметричному, так і на фотохімічному принципі, мають деякі недоліки і не дають цілком точних результатів.

Так, унаслідок неоднакової якості скляних куль показання геліографів типу Кемпбела-Стокса можуть відрізнятися. Тривалість запису геліографів залежить в сильному ступені від чутливості і якості паперу. Звичайно геліограф Кемпбела-Стокса розпочинає реєстрацію лише тоді, коли інтенсивність сонячній радіації перевищує $0,33 \text{ кал/см}^2\text{хв}$ [26].

При мінливій хмарності геліограф може записати тривалість сонячного саява більшу, ніж було насправді, внаслідок неможливості сконцентрувати всі промені в одну точку. Однак прилади, побудовані на калориметричному принципі, мають перевагу перед фотохімічними приладами.

Слід також відзначити, що геліограф Кемпбела-Стокса в порівнянні з приладом Джордана більш чутливий при низькому сонці, отже, більш придатний для зимових місяців.

Найширше розповсюдження у всьому світі отримав геліограф Кемпбела-Стокса. Геліограф Величко застосовувався

в СРСР, особливо в прибалтійських республіках; тепер він знятий з нашої метеорологічної мережі.

Геліограф Джордана встановлено на метеорологічній мережі низки зарубіжних країн (Індія, Південна Америка, деякі райони Північної і Центральної Африки).

В США, на відміну від описаних вище приладів, які ресструють тривалість сонячного саява, для цієї мети використовують термометричний самописець Марвіна. Це, по суті, диференціальний термометр з світлими (спирт) і чорними (ртуть) кульками. Для встановлення шкали часу потрібна хронографія. Обидві кульки з'єднуються вузькою скляною трубкою. В середину трубки упаяно дві платинові тяганини. Весь прилад поміщений в скляну оболонку, що захищає його від вітру.

Самописець встановлюється так, щоб сонце могло однаково добре освітлювати обидві кульки. Загальний вид приладу представлений на рис. 13. Коли сонячна радіація потрапляє на прилад, чорна кулька поглинає більше тепла, ніж світла, повітря в ньому розширюється, тому ртуть підіймається по вузькій трубці до тих пір, поки не замкнеться електричний ланцюг. В ланцюг підключена хронографія, яка записує вітер, опади, а інколи й інші елементи.

Хоча самописець Марвіна, подібно геліографу Кемпбела-Стокса, діє під впливом тепла від сонячної радіації, він відрізняється від другого тим, що його кульки однаково чутливі як до прямої, так і до розсіяної та відбитої радіації.

У зв'язку з цим він може працювати і тоді, коли небо повністю закрито хмарами. Самописець Кемпбела-Стокса не чутливий до розсіяної радіації, і тому порівняння результатів, отриманих по цих приладах, не може привести до яких-небудь певних висновків.

У зв'язку з тим, що запис у приладі Марвіна відбувається тільки в той час, коли інтенсивність радіації перевершує величину $0,37 \text{ кал/см}^2\text{хв.}$, вводиться додаткова поправка до зареєстрованої величини «на низьке сонце» [26].

В літні місяці у зв'язку з великими значеннями розсіяної радіації самописець Марвіна в порівнянні з

геліографом Кемпбела-Стокса дає завищені величини тривалості сонячного саява.

Для характеристики радіаційного режиму місцевості суттєве значення має також визначення хмарності в денний час. На жаль, спостереження над цим важливим метеорологічним елементом досить не досконалі. В основному вони зводяться до візуальної оцінці кількості, тобто ступені покриття хмарами небозводу, і до визначення форм хмар.

Хмарність оцінюється частіше всього по десятибальній системі. Низку країн (Англія, Франція, Іран, деякі республіки Західної Африки, Судан та ін.) після 1949 р. перейшли на восьмибальну систему, що дещо спрощує спосіб оцінки кількості хмарності на небозводі. Для визначення форм хмарності використовується Атлас хмар, що містить описи і фотографічні знімки основних видів і різновидів.

Як правило, спостереження за хмарністю обмежуються стандартними термінами вимірювань метеорологічних елементів.

Природно, що відсутність безперервних спостережень за хмарністю створює певні труднощі в її використанні для характеристики радіаційних умов.

В різних роботах [4, 16-19, 23-34]:

метеорологічні дані осереднюються за кожний час місяця, таким чином складаються середні доби. Протягом місяця всі доби однакові, а протягом доби величини параметрів змінюються від години до години;

за середньомісячним значенням, тобто обчислюється одна середньомісячна величина параметра, і вона використовується для даної доби. Цей метод достатньо трудомісткий;

за «типовим роком», тобто розрахунок виконується за реальними даними кожної години, дня, місяця, що має статистичні характеристики, які співпадають з середнім та багаторічним.

В джерелах [8, 15, 16, 26-28] рекомендовано дані з сонячної радіації представляти декількома способами, які повинні містити наступну інформацію:

безпосередньо виміряні величини або сумарні значення за який-небудь період часу (зазвичай за годину або добу);

час або період часу протягом якого проводились вимірювання;

тип сонячної радіації (пряма, розсіяна та сумарна) та тип вимірювальної апаратури;

орієнтація приймача на поверхні;

для осереднених даних необхідно зазначити період часу, для якого виконувалось осереднення (наприклад, середньомісячне значення добової суми сонячної радіації).

Зоколей С. в роботі [30] стверджує, якщо дані по сонячній радіації відсутні, але є інформація про тривалість сонячного сьйва, то можна оцінити денну суму радіації, скориставшись для цього запропонованим Говером та Мак-Кулохом виразом [30]:

$$Q = Q_{sc} \cdot (0.29^* - \cos \varphi + 0.52^* \cdot \frac{n}{N}), \quad (2.1)$$

де Q – денна сума радіації в горизонтальній площині;

Q_{sc} – сонячна стала протягом дня;

φ – географічна широта;

N та n – можлива та дійсна кількість годин сонячного сьйва за день.

Зазвичай Q_{sc} приймають рівною 9830 (Вт·год)/(м²·день).

Згідно [34] на території колишнього СРСР виділено 6 типів розподілів добових сум сумарної радіації:

I – нормальний (гаусівський) розподіл;

II – додатньо-асиметричний, майже нормальної кривини;

III – додатньо-асиметричний, гостровершинний;

IV – від’ємно-асиметричний, майже нормальної кривини;

V – від’ємно-асиметричний, гостровершинний;

VI – бімодальне та симетричне, пласковершинний.

Процес вирівнювання статистичного розподілу завжди виконується в декілька етапів [26, 30, 34]:

За зовнішнім виглядом диференціальної статистичної кривої розподілу встановлюється вид функції. Тобто висувається гіпотеза про характер розподілу. Іноді вид функції можна обрати більш об’єктивно, обчислюючи спеціальні критерії

(наприклад, при виконанні логарифмічно-нормального закону або системи розподілу Пірсона);

Після того як обрано вид функції необхідно отримати її аналітичний вираз. Для цього визначаються параметри обраної функції. Вони обчислюються згідно статистичного розподілу за допомогою методу моментів або максимальної правдоподібності;

Обчислюються вирівнюючі частоти статистичного розподілу;

Виконується перевірка на відповідність обраного закону статистичним даним, тобто обчислюється критерій згоди. Можна використовувати критерій згоди Колмогорова.

Методи вимірювання сонячної радіації базуються на використанні теплового, електричного. Хімічного та фізіологічного впливу випромінювання на приймач приладу.

Термічний метод вимірювання сонячної радіації отримав найбільш широке розповсюдження.

В наш час в залежності від характеру вимірювання потоку тепла існують багато різновидів термічного методу.

Актинометричні прилади можна поділити на абсолютні та відносні вимірювачі радіації [26]. До перших належать піргеліометри, до других – актинометри. Показання останніх необхідно переводити в теплові одиниці, використовуючи переведення коефіцієнтів, які отримано шляхом порівняння цих приладів з абсолютними.

Крім того, актинометричні прилади можна поділити на [26, 34]:

- прилади, які вимірюють лише пряму радіацію: піргеліометри, актинометри та актинографи;

- прилади, які вимірюють розсіяну та сумарну радіацію: піранометри та піранографи з горизонтальною поверхнею; піранометри з кульовою поверхнею.

Розсіяна радіація вимірюється піранометром при затінюванні приймача від прямих променів Сонця. Піранометри з кульовою приймаючою поверхнею, на відміну від піранометрів з горизонтальною поверхнею, вимірюють пряму радіацію, яка надходить перпендикулярно, розсіяну та відбиту від землі або

будь-якої іншої поверхні, яка може відбивати сонячну радіацію (від рослин, тварин тощо).

Найвідомішими приладами з вимірювання сонячної радіації у ХХ столітті є: компенсаційний піргеліометр Онгстрема, актинометр (піргеліометр) зі срібним диском Аббота, піранометр Моль-Горчинського, піранографи Робича, зірчастий піранометр Лінке, піргеліометр Епплі, піранометр Янишевського, актинометр Савінова-Янишевського, актинометр Міхельсона-Мартена та інші [8, 15, 16, 25-30].

Для безперервної реєстрації сонячного сйива використовують прилади, які називають геліографами. Найвідоміший є геліограф Кемпбела-Стокса [26].

Основною частиною будь-якого геліографа є скляна куля, яка прикріплена на вертикально розташованому стрижні. Проходячи через кулю, сонячні промені фокусуються в точці та потрапляють на картонну стрічку, закріплену за кулею в сферичній чашці. У разі прямого потрапляння сонячного променя на прилад стрічка пропалюється. Протягом дня внаслідок зміни положення Сонця на небозводі змінюється точка потрапляння променів на стрічку. Стрічка розграфлена вертикальними лініями, що відповідають певному часу доби від сходу до заходу Сонця. Це дозволяє за пропаленими ділянками стрічки встановити тривалість часу сонячного сйива. Не пропалені ділянки вказують на інтервали часу, протягом яких Сонце було закрито хмарами.

В Україні близько 187 метеорологічних станцій, які розташовані майже по всій її території.

В наш час з'явилося багато різних електронних та цифрових приладів для вимірювання сонячної радіації.

Дослідження по узагальненню матеріалів спостережень та розробці методів розрахунку сонячного випромінювання, яке досягає поверхні землі наведені в [4, 8, 15-19, 26-30, 34].

2.2. Напрямки використання сонячної енергії

В Україні існує небагато установ (державних або приватних), які займаються дослідженнями в області альтернативної енергетики. Серед них слід виділити такі: інститут відновлюваної енергетики НАН України (м. Київ), міжгалузевий науково-технічний центр вітроенергетики НАН України (м. Київ), агентство з відновлюваної енергетики України (м. Київ), конструкторське бюро «Южное» (м. Дніпропетровськ), приватне підприємство «Світ Вітру» (м. Харків), товариство з обмеженою відповідальністю (ТОВ) «РТК Схід» (м. Харків), ТОВ «ЕСТА лтд» (м. Миколаїв), ТОВ «ПКТБ «Конкорд» (м. Дніпропетровськ).

Основними напрямками інституту відновлюваної енергетики НАН України є такі науково-прикладні розробки: фотоелектрична установка ФЕУ - 02, комбінований фотоелектричний модуль, атлас енергетичного потенціалу ВДЕ в Україні [6], сонячні системи гарячого водопостачання, гібридні вітросонячні системи автономного або резервного електроживлення тощо.

Агентство з відновлюваної енергетики створено для сприяння розвитку ВДЕ в Україні, зокрема створення освітньо-інформаційного центру по біогазовим технологіям в центральному Казахстані.

Конструкторське бюро «Южное» має дуже великий спектр робіт починаючи з ракетно-космічної техніки і закінчуючи створенням сільськогосподарської техніки. Наймасштабнішою розробкою є космічна сонячно-енергетична станція «Сонячний ключ».

ТОВ «РТК Схід» спеціалізується у сфері відновлюваної енергетики, зокрема на створенні автономних систем енергопостачання для освітлення майданів, вулиць, присадибних ділянок, парканів на базі використання сонячних панелей (СП).

В агропромисловому комплексі (АПК) сонячну енергію можна використати для: теплиць, сушарок, кухонних печей; опріснювальних, холодильних та водопідіймальних установок; біомаси та водню тощо [36].

Американська компанія Sunpower на сьогоднішній день є рекордсменом за показниками ефективності СП. Вона відома широким вибором самих передових технологій у виробництві фотоелементів, а також своїх сонячних панелей з контактом на тильній стороні.

Геліотеплиці.

Сучасні виробники пропонують готові до використання геліотеплиці, які мають відповідну теплоізоляцію та можуть акумулювати енергію. Зазвичай така теплиця є пасивною опалювальною системою.

У звичайних теплицях через велику площі світлопрозорих поверхонь виникають значні тепловтрати, для компенсації яких потрібен певний витрата палива в системі опалення. Теплиці можуть обігріватися гарячою водою, водяною парою, нагрітим повітрям, інфрачервоним випромінюванням або продуктами згоряння палива. При створенні геліотеплиці насамперед потрібно подбати про істотне зниження тепловтрат за рахунок застосування теплоізоляції. Також, треба забезпечити вловлювання максимально можливої кількості сонячної енергії і акумулювання надлишкової теплоти [36].

Сама геліотеплиця є пасивною геліосистемою. Для підвищення її ефективності необхідно використовувати акумулятор теплоти. На рис. 2.3 показана схема геліотеплиці з подвійним склінням, теплоізолюваною північною стінкою, що має відбивне покриття на внутрішній поверхні, і ґрунтовим акумулятором теплоти.

В [36] наведені принципи роботи плівкової теплиці з підґрунтовим акумулятором теплоти, геліотеплиці прибудовані до стіни будівлі та окремо розташовані, геліотеплиця з гальковим акумулятором теплоти та тунельна геліотеплиця.

Геліосушарки.

В АПК геліосушарки використовують при обробці фруктів, овочів, деяких рослин, зернових та ін.

Таку сушарку можна зробити власноруч, або придбати готову у виробника. Як правило, такі сушарки мають лотки, раму з комірками, кришку з світлопроникним матеріалом, а до днища лотків прикріплені контейнери, заповнені фазоперехідним теплоакumuлюючим матеріалом, знизу сушарка

відкрита вентиляційними отворами, а зверху сполучена з витяжною трубою, в якій встановлена заслінка.

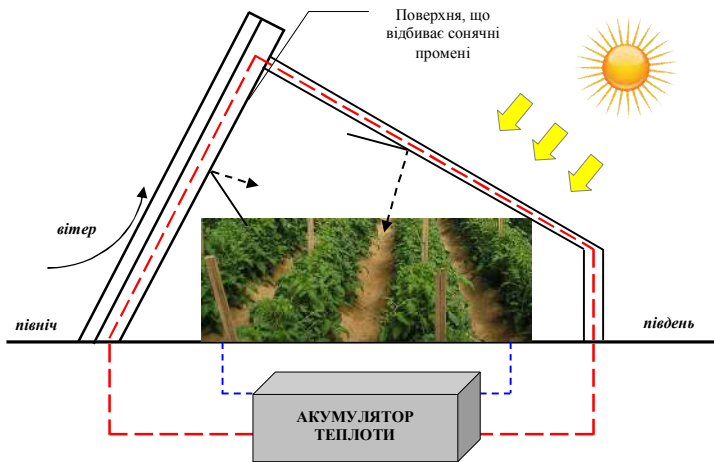


Рис. 2.3. Принцип роботи геліотеплиці

Вибір методу сушки визначається масштабом виробництва, кліматичними особливостями місцевості, видом матеріалу, що висушується і вартістю додаткової енергії. Підведення теплоти до матеріалу від сушильного агента може здійснюватися конвективним шляхом або шляхом випромінювання, відповідно розрізняють конвективні та радіаційні сушарки. У перших продукт контактує з повітрям, нагрітим сонячною енергією, подруге продукт безпосередньо опромінюється Сонцем, температура в сушарках цього типу досягає $60-75^{\circ}\text{C}$. Можуть також застосовуватися комбіновані сушарки, в яких беруть участь обидва види теплообміну, але переважає конвекція, а установка складається з повітрянагрівача і сушильної камери з прозорими стінками [36].

Природна сушка сільськогосподарських продуктів використовується повсюдно і з давніх пір. При цьому продукти розстеляють на землі, підвішують під навісом або розміщують на піддонах. При сушінні на повітрі незахищених сільгосппродуктів мають місце великі втрати внаслідок

неповного висушування, забруднення, заплісневіння, скльовування птахами, пошкодження комахами, дії опадів.

Застосування сонячних установок типу «гарячий ящик» підвищує ефективність сушки і зменшує втрати продукту. Істотно скорочується час сушіння і поліпшується якість продукту, в тому числі збереження вітамінів. Однак коефіцієнт використання геліосушарок для сільського господарства, як правило, низький. У деяких випадках за рік вони можуть використовуватися лише кілька тижнів. І це, природно, не сприяє досягненню високих економічних показників сушарок. В даний час економічно доцільно застосовувати геліосушарки для сушіння сіна. Ситуація досить сприятлива при сушінні деревини, риби, при застосуванні геліосушарок в пральнях [36].

Розрізняють геліосушарки з прямим і непрямим дією сонячної енергії. В установках першого типу сонячна енергія поглинається безпосередньо самим продуктом і пофарбованими в чорний колір внутрішніми стінками камери, в якій знаходиться висушуваний матеріал. Сушарка цього типу показана на рис. 2.4. [36].

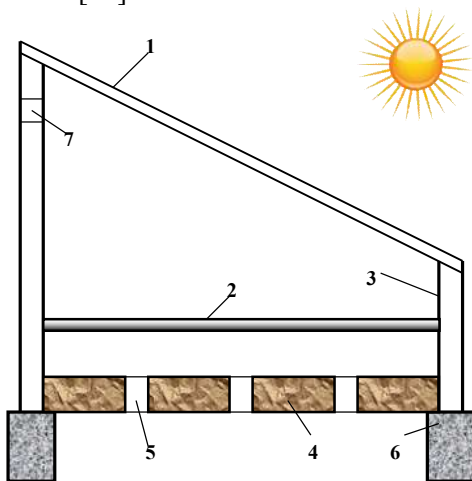


Рис. 2.4. Геліосушарка з безпосереднім опроміненням вологого матеріалу:

1-прозора ізоляція; 2-платформа для матеріалу; 3-стінка; 4-теплоізоляція; 5,7-отвори; 6-фундамент.

Опріснення води.

Існують такі автономні споживачі, які зазнають гострий дефіцит прісної води, і в той самий час там є значні запаси солоних вод, які не придатні для вживання. Для знесолювання мінералізованих вод або опріснення морської води, використовують сонячні опріснювачі. За рахунок конденсату, що виникає внаслідок випаровування води, споживач отримує придатну до вживання воду. Як правило, такі конструкції можуть мати фільтри, іонізатори, насос та відповідну автоматику (контролера подачі води).

В сонячних абсорбційних установках періодичної дії можна отримувати холод. Генератор та абсорбер суміщаються з колектором сонячної енергії, а випаровувач – з конденсатором. Вдень колектор виконує функції генератора, а вночі абсорбера.

В сонячних водопідіймальних установках для привода насоса використовують сонячні панелі або теплові двигуни, які працюють за термодинамічним циклом. Також використовують перетворення сонячної енергії у енергію стисненого повітря.

На рис. 2.5. наведений сонячний дистилятор басейнового типу [36].

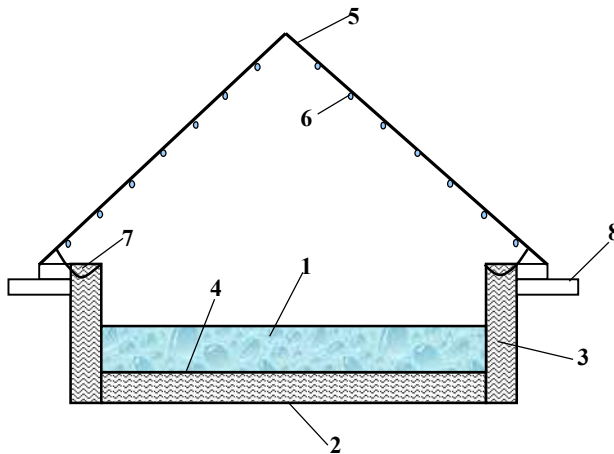


Рис. 2.5. Сонячний опріснювач (дистилятор) басейнового типу:
*1-мінералізована вода; 2-басейн; 3-теплоізоляція; 4-гідроізоляція; 5-скляний дах;
6-конденсат; 7-приймаючий жолоб; 8-трубка для дистилята.*

Морська або мінералізована вода, яка надходить до басейну з тепло- та гідроізоляцією, під дією сонячної енергії випаровується, а на скляному даху басейна створюється конденсат і краплі дистилляту стікають в приймаючий жолоб, звідки цей дистиллят по трубкам через гідро затвор відводиться в емкість для його збору. Також існують інші конструкції сонячних опріснювачів з якими можна ознайомитись в [36].

Сонячні кухонні печі.

Для автономних споживачів, особливо тих, що розташовані у південних районах, печі для приготування їжі, що працюють на дефіцитному пальному (вугілля, дрова, газоподібному або рідкому) можуть бути замінені печами, в яких використовується сонячна енергія або біогаз. Найбільш проста конструкція, це піч типу «чорна скриня» рис. 2.6 [36].

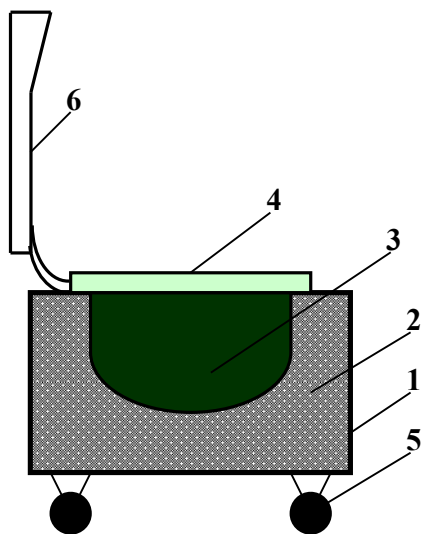


Рис. 2.6. Геліопіч типу «чорна скриня»:

1-металева скриня; 2-теплоізоляція; 3-променепоглинаюча порожнина для приготування їжі; 4-прозора кришка; 5-колесо; 6-теплоізоляційна кришка.

Виробники пропонують більш складні конструкції, завдяки яким можна отримати більш високі температури. Такі печі забезпечуються плоскими колекторами сонячної енергії та

акумулятором теплоти. Посуд для приготування повинен бути матовий чорного кольору. Також існують геліопечі з параболічним концентратором. Геліопіч може бути на колесах та без них, мати невеликі габаритні розміри, що дозволяє використовувати їх у польових умовах.

2.3. Види сонячних установок

Існують два основних способи перетворення сонячної енергії: фототермічний і фотоелектричний. При фототермічному способі теплоносій (найчастіше вода) нагрівається в колекторі (системі світлопоглинаючих труб) до високої температури і використовується для опалення приміщень. Частина теплової енергії акумулюється: короткостроково (на кілька днів) - тепловими акумуляторами, довгостроково (на зимовий період) - хімічними. Використання сонячних колекторів дозволяє забезпечувати гарячою водою багато будинків в південних районах. Фотоелектричний спосіб полягає у прямому перетворенні сонячного випромінювання в електричний струм за допомогою напівпровідникових фотоелементів - сонячних панелей.

Сонячні колектори.

Сонячні колектори (СК) поділяються на три основних типи: плоский колектор, вакуумний колектор, сонячний колектор-концентратор.

Схема роботи сонячного колектора наведена на рис. 2.7.

Плоский колектор

Основними складовими плоского колектору є: елемент, що поглинає сонячне випромінювання; прозоре покриття; термоізолюючий шар. Елемент, що поглинає сонячне випромінювання називається абсорбентом; він з'єднаний з теплопровідною системою. Прозорий елемент виготовляють з загартованого скла. При відсутності відбору тепла плоскі колектори здатні нагрівати воду до 190—200 °С. Чим більше енергії випромінювання передається теплоносію, що протікає в колекторі, тим вище його ефективність. Стандартним способом

підвищення ефективності колектора стало застосування абсорбенту з листової міді через її високу теплопровідність [15, 17, 32]. На рис. 2.8 наведено будову плоского сонячного колектора [37].

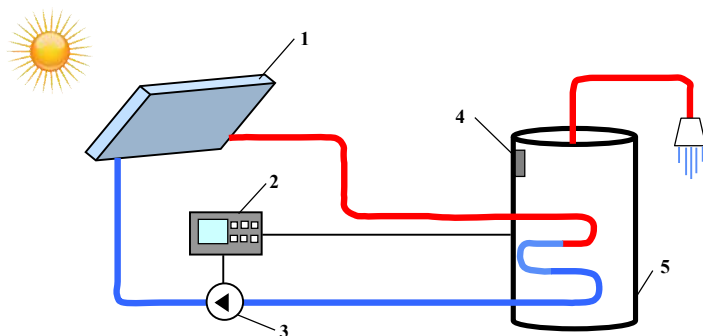


Рис. 2.7. Схема сонячного колектора:
 1 – сонячний колектор; 2 – програмований контролер; 3 – циркуляційний насос;
 4 – датчик температури; 5 – бойлер для гарячої води

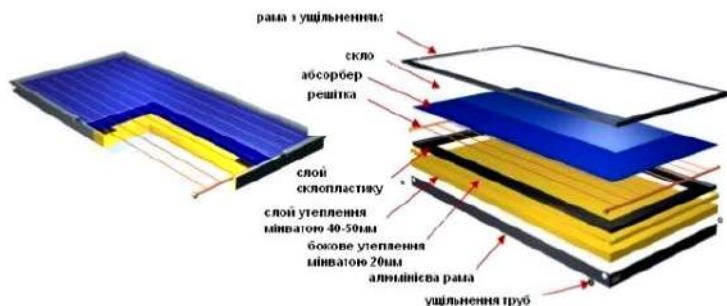


Рис. 2.8. Будова плоского сонячного колектора

Вакуумний сонячний колектор

В даному колекторі можна підвищити температуру теплоносія до 250-300 °С в режимі обмеження відбору тепла. Домогтися цього можна за рахунок зменшення теплових втрат, шляхом використання багатозарового скляного покриття,

герметизації або створення в колекторах вакууму. Фактично сонячна теплова труба схожа за будовою з побутовими термосами. Тільки зовнішня частина труби прозора, а на внутрішній трубці нанесено високоселективне покриття, на яке надходить сонячне випромінювання. Між зовнішньою та внутрішньою трубками знаходиться вакуум. Саме вакуумний прошарок дає можливість зберегти близько 95% теплової енергії. При опроміненні установки сонячним світлом, рідина, що знаходиться в нижній частині трубки, нагріваючись перетворюється на пару. Пари піднімаються у верхню частину трубки (конденсатор), де конденсуючись передають тепло колектору. Використання даної схеми дозволяє досягти більшого ККД (у порівнянні з плоскими колекторами) при роботі в умовах низьких температур і слабкої освітленості. Сучасні сонячні колектори здатні нагрівати воду до температури кипіння навіть при негативній навколишній температурі [15, 17, 32]. На рис. 2.9 наведено будову вакуумного сонячного колектора [38].



Рис. 2.9. Будова вакуумного сонячного колектора

Сонячний колектор-концентратор

З метою збільшення щільності потоків сонячного випромінювання, що падає на поглинаючу поверхню, в таких колекторах застосовуються різні системи дзеркал або лінз. На рис. 2.10 наведено схему сонячного колектора-концентратора [39]. В таких системах використовують параболічні, плоскі або циліндричні дзеркала.

Основною перевагою таких колекторів є їх невеликі габаритні розміри.

Вони повинні бути орієнтовані перпендикулярно до напрямку падіння сонячних променів та мати в своєму складі слідкуючі пристрої, за допомогою яких відбувається керування обертанням колектора разом з рухом сонця. Отримана сонячна енергія перетворюється у теплову, а потім використовується для підігріву води.



Рис. 2.10. Схема сонячного колектора-концентратора

Сонячні панелі.

Фотоелементи перекочували в цивільну сферу з військово-космічної. За своїми фізичними властивостями сонячна панель є фотоелектричним перетворювачем. Завдяки впливу сонячних хвиль відбувається перенаправлення електронів з катода на анод. Конструкція сонячної панелі представлена двома кремнієвими пластинами, які володіють різними властивостями. Саме завдяки надлишку електронів в одній з пластин і їх нестачі в іншій виникає р-n перехід, що сприяє виробленню електричного заряду. Кожна пластина провідниками з'єднана з перетворювачами [40].

Промисловий варіант панелі являє собою безліч окремих елементів, які зібрані у великі блоки. Зверху сонячні панелі покриті ламінуючою речовиною, яка запобігає їх пошкодженню різними впливами. Основна відмінність, яка існує між різними типами сонячних панелей полягає в їх продуктивності. Вона безпосередньо залежить від чистоти використовуваного кремнію та їх просторового розташування [39, 40].

Цікаво! Спочатку в якості перетворюючого елемента використовувався селен, але батареї з цього матеріалу обходилися занадто дорого, тому у 1954 році було внесено пропозицію про його заміну на кремній [40].

Незважаючи на те, що існують різні види сонячних панелей, можна виділити загальні переваги та недоліки.

Переваги [17, 25, 32, 35, 40]:

- невичерпне джерело;
- можливість повсюдного впровадження;
- екологічність;
- безшумність;
- тривалий термін експлуатації;
- дотації від держави;
- можливість масштабування системи;
- мала ймовірність виходу з ладу;
- автономність;
- відсутність матеріальних витрат на енергоносії.

Недоліки [17, 25, 32, 35, 40]:

- значна вартість;

- необхідність великих одномоментних вкладень;
- низький ККД;
- необхідність ділянки для розміщення;
- тривалий термін повернення вкладень;
- необхідність правильного обслуговування;
- складність утилізації;
- можливість пошкодження або крадіжки;
- зниження ефективності в похмуру погоду.

Термін служби сонячних панелей може досягати 25 і більше років. Завдяки модульності системи вона добре піддається масштабуванню. Це означає, що якщо з часом збільшується витрата електроенергії в силу установки нового обладнання, то продуктивність системи можна підвищити простою установкою додаткових елементів. Третьові частини в системі відсутні, тому вихід з ладу певних елементів можливий, але малоімовірний. Система з сонячними панелями є повністю самодостатньою і може функціонувати без втручання користувача.

Зверніть увагу! У певних випадках пікове навантаження може припадати на той період, коли енергії сонця недостатньо, а ємність акумуляторів вичерпана. У цьому випадку встановлюється спеціальний контролер, який дозволяє перемикатися на центральну мережу живлення [40].

Різновиди сонячних елементів та сонячних панелей.

За фізичними особливостями сонячні панелі поділяють на: гнучкі та жорсткі.

Гнучкі конструкції представлені тонкою плівкою, яка здатна приймати форму різних об'єктів без пошкодження. Це актуально при встановленні сонячних елементів, наприклад, на даху автомобілів. Такі сонячні елементи є більш універсальними і затребуваними [40].

Жорсткі сонячні панелі також мають широке поширення, але пошкодити їх в рази простіше, ніж гнучкі. За типом речовини, яка здійснює фотоелектричний ефект виділяють такі групи [17, 25, 32, 35, 40]:

- кремнієві;
- на основі селену, індію, галію;
- телурій-кадмієві;

органічні;
полімерні;
об'єднані;
багатошарові.

У певних сферах використовуються всі види, але найбільш популярними для приватного споживача є перший вид сонячних панелей. Кремнієві також мають свої підвиди:

монокристалічні;
полікристалічні;
аморфні.

Виробництво *монокристалічних фотоелементів* відбувається із застосуванням методу Чхоральського [41]. Для того щоб отримати кремнієвий монокристал, в розплав кремнію з бором занурюють початковий кристал і поступово піднімають на кілька метрів над поверхнею розчину, при цьому за затравочним кристалом витягується й кристалізується розчин. З отриманої монокристалічною заготовки зрізують кромки для того щоб отримати квадратні елементи і розрізають його на елементи товщиною приблизно 0,3 мм. Після цього елементи оброблюють фосфором для додавання n-провідності і створення np-переходу, полірують, наносять антивідбиваюче покриття та струмопровідні доріжки. Після чого отримують готовий до використання монокристалічний фотоелемент.

Характеристики:

- ККД від 15 до 18 відсотків;
- Форма квадратна або квадратна із закругленими або зрізаними кутами;
- Товщина 0,2 – 0,3мм;
- Колір від темно-синього до чорного з антивідбиваючим покриттям або сірий без покриття;
- Зовнішній вигляд – однорідний.

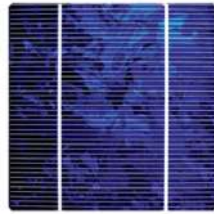


Полікристалічні фотоелементи виготовляють за допомогою рівномірного спрямованого охолодження ємності з розплавом кремнію і бору. При цьому в ємності формуються односпрямовані гомогенні кристали розміром від кількох міліметрів до декількох сантиметрів. Отриманий блок

полікристалів обробляється так само, як і монокристалічна заготовка [39-41].

Характеристики:

- ККД від 13 до 16 відсотків;
- Форма квадратна;
- Товщина 0,24 – 0,3мм;
- Колір синій з антивідбиваючим



покриттям, сріблясто-сірий без покриття;

- Зовнішній вигляд – блок кристалів

різного напрямку, деякі кристали чітко видно на зрізі.

Активним напівпровідниковим матеріалом в *CIS фотоелементах* є діселеніда індію і міді. CIS компаунд часто легується галієм і (або) сіркою. При виробництві елемента скло покривається шаром молібдену проводять електричний струм, для фотоелемента цей шар буде катодом. Шар CIS компаунда в фотоелементі володіє р-провідністю і наноситься на шар молібдену. Оксид цинку з домішкою алюмінію ZnO:Al використовується як прозорий провідник електрики анод. Цей шар має n-тип провідності і в ньому розпорошений допоміжний шар оксиду цинку i-ZnO. Проміжний шар сульфід кадмію CdS використовується для зменшення втрат, пов'язаних з невідповідністю кристалічних ґраток CIS і ZnO шарів [39-41].

Характеристики:

- ККД від 9 до 11 відсотків;
- Форма елемента відповідає

формі модуля;

- Товщина модуля в незагартованим склі 2...4мм;
- Колір від темно-сірого до чорного;
- Зовнішній вигляд – однорідний.



Фотоелементи з використання телуриду кадмію CdTe виготовляють на підкладці з прозорим TCO провідником, який виготовляється з оксиду індію та олова ITO і використовується як передній контакт. Ця підкладка покривається шаром селеніду кадмію CdS з n-типом провідності. Після цього наноситься абсорбувальний шар телуриду кадмію CdTe з р-типом провідності. Після цього модуль закривається металевою струмопровідною пластиною [39-41].

Характеристики:

ККД 16-18% ;

Форма елемента відповідає формі модуля;

Товщина модуля в незагартованому склі – 3мм;

Колір від дзеркального темно-зеленого до чорного;

Зовнішній вигляд – однорідний.



У [80] зазначено, що використання нового електронного матеріалу CdTe з'явилося ще в 1947 р.

Найбільш поширеним методом для отримання тонких плівок CdTe для СП є конгурентне випаровування, тобто випаровування стехіометричного CdTe в результаті отримуємо стехіометричний склад пари. CdTe унікальний серед сполук як ZnS, CdSe, і HgTe в якій найвище середнє атомне число, найменша негативна ентальпія утворення, найнижча температура плавлення, найбільший параметр ґратки і найвища ступінь йонності [80].

У СП на основі CdTe до теперішнього часу використовується структура яка запропонована ще Боннетом (Bonnet) і Робенхорстом (Rabenhorst) у 1972 р.

Основні переваги тонко плівкових фотоелектричних перетворювачів (ФЕП), у порівнянні з кремнієвими кристалічними ФЕП, полягають у наступному:

- більш низька питома вартість;
- більш низький розхід матеріалів;
- можливість виробництва пристроїв великих площ;
- менша кількість технологічних операцій;
- здатність приймати розсіяне і слабке сонячне світло (коли сонце, скажімо, приховано за хмарами).

Зауважимо що розробки фірми FirstSolar вказують на суттєве зниження витрат CdTe модуль від \$ 0,93 / Вт в першому кварталі 2009 р. між \$ 0,52 / Вт і \$ 0,63 / Вт в 2014 р. Ці ціни представляють собою собівартість проданих товарів, яка включає в себе вартість сировини і виробництва. FirstSolar взяла за мету підвищити ефективність модулів, збільшення пропускної здатності виробничої лінії, зниження витрат

(накладні витрати на кожний кіловат, якщо ефективність і збільшення пропускну здатності реалізуються), а також розробки великих виробничих потужностей в недорогих районах (наприклад, Малайзія і Китай). Між першим кварталом 2009 р. і першому кварталі 2011 р., витрати були знижені до \$ 0.75 / Вт [81].

Аморфний кремній у фотоелементах не утворює однорідну структуру, але утворює безладну мережу. Як результат, через відкриті кордони кристалів відбувається поглинання водню. Цей гідрогенізований аморфний кремній а-Si:H створюється в реакторі плазми з газової фази гідриду кремнію SiH₄. Легування кремнію проводиться змішуванням газів, що містять легуючий елемент – гідрид бору B₂H₆ для р-провідності і гідрид фосфору PH₃ для n-провідності. У зв'язку з невеликою відстанню проникнення легуючих добавок в аморфний кремній, термін життя носіїв заряду не дуже довгий, тому на шар кремнію наносяться додаткові шари з n- і р-провідимостями. В якості переднього контакту використовується прозорий TCO провідник з оксидом олова SnO₂, оксидом індію та олова ITO або оксидом цинку ZnO. В якості заднього контакту використовується металева струмопровідна пластина [39-41].

Характеристики:

ККД від 5 до 7 відсотків;

Форма відповідає формі модуля,

максимальний розмір 2×3 м;

Товщина елемента в незагартованим склі 1..3 мм;

Колір від коричневого до синього або фіолетового;

Зовнішній вигляд – однорідний.



Порядок знайомства з технологіями виробництва фотоелементів був обраний не випадково – ми почали елементами з найбільшим ККД і закінчили елементами з найменшим ККД. Коефіцієнт корисної дії для фотоелементів – це ефективність перетворення сонячної енергії в електричну, це означає, що чим менше ККД тим більше площі фотоелементів нам необхідно для забезпечення тієї ж потужності в порівнянні з елементами у яких ККД має більш високе значення [41].

Перетворення енергії прямого сонячного випромінювання монокристалічних елементів відбувається з найбільшою ефективністю, у полікристалічних модулів це перетворення відбувається з меншою ефективністю у зв'язку з різною орієнтацією кристалів в елементі. Розсіяне випромінювання кристалічні фотоелементи перетворюють з однаковою ефективністю. Тому частка виробітку від розсіяного випромінювання в полікристалічних панелях вище ніж в монокристалічних, а значить і вплив орієнтації на вироблення нижче. У тонкоплівкових елементів у зв'язку з більшим ступенем безладності орієнтації світлочутливих елементів вироблення з розсіяною частини випромінювання становить основну частку вироблення. Тому й прийнято говорити, що на вироблення тонкоплівкових модулів не впливає орієнтація. Але енергію сонячного випромінювання, не залежно від його форми, найефективніше перетворюють монокристалічні модулі тому що у них ККД вище [6, 7, 9, 25, 33, 41].

У світі існує багато виробників, але яким чином відрізнити відповідність товару його цінній політиці та технічним характеристикам? Рекомендують [39-43] розділити всіх виробників на три групи [43].

До 1-ої відносять такі, у яких діяльність виробничого процесу вертикально-інтегрована, тобто вони відповідають за всі стадії процесу: від дослідження, розробки, виробництва кремнієвих пластин, фотоелектричних елементів та до кінцевого виготовлення фотоелектричних модулів. Компанії 1-ої групи вкладають надзвичайно великі кошти на розробку та дослідження, а в процесі виробництва панелей використовують передові засоби автоматизації. Термін роботи на ринку - понад 5 років.

До 2-ої – діяльність виробничого процесу може бути вертикально-інтегрована, але окрім засобів автоматизації використовується ще й ручна праця, що може відзначитись на якості збірки панелей. Термін роботи на ринку - від 2 до 5 років.

До 3-ої – діяльність виробничого процесу зосереджена на одній зі стадій – збірка. Тобто, зовсім не вкладають кошти в розробку і не готові давати гарантію на довготривалий термін.

2.4 Види схем підключення сонячних енергоустановок

Часті відключення основного електроживлення, а також зростання тарифів на електроенергію, впливають на те, що все більш популярними в стають сонячні панелі для приватних та комерційних цілей.

У більшості випадків сонячна електростанція складається з наступних основних компонентів:

- Сонячна панель (фотоелектричний модуль) – напівпровідниковий пристрій, який перетворює енергію сонця у постійний електричний струм.

Контролер заряду – пристрій, що перетворює напругу від сонячних панелей до значення, придатного для заряду акумуляторних батарей.

- Акумуляторні батареї – застосовуються для накопичення електричної енергії від сонячних панелей, зовнішньої електромережі або автономного електрогенератора.

Інвертор – перетворює постійну напругу акумуляторних батарей в змінну напругу для живлення навантаження, а також здійснює управління переключенням живлення споживачів між джерелами електроенергії в залежності від їх наявності та пріоритету, для деяких моделей може включати в себе контролер заряду.

Також до складу входять елементи кріплення та різне комутаційне обладнання для підключення і захисту компонентів системи.

Для того, щоб правильно здійснити розрахунок сонячної електростанції, рекомендується на першому етапі визначити завдання, які вона буде виконувати.

Автономна станція для споживачів постійного струму.

Станція подібної конфігурації (див. рис. 2.11) [41] складається з фотомодулів (1), контролера заряду (2), акумулятора (3) і споживача (4). Подібні станції є основним джерелом енергії і, як правило, застосовуються для електропостачання систем освітлення або спеціальної побутової техніки працює на постійному струмі для пересувних будинків. Потужність таких систем не перевищує 1 кВт. Навантаження необхідно підключати до акумуляторних батарей (АКБ) через

контролер розряду. Фотомодулі (1) перетворюють сонячну енергію в електричну, акумулятор (3) накопичує енергію, контролер заряду (2) захищає АКБ від позаштатних режимів роботи.

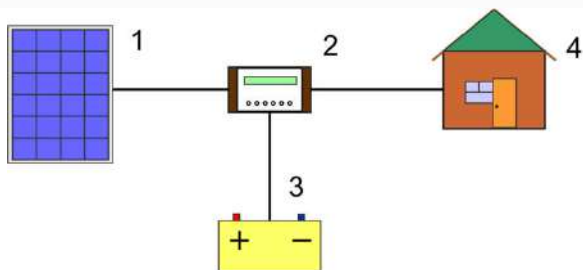


Рис. 2.11. Схема автономної станції для споживачів постійного струму

Автономна станція для споживачів змінного струму.

Сонячне випромінювання непостійно в часі, тому вироблення фотопанелей (1) не завжди відповідає споживанню енергії. Для накопичення надлишкової електроенергії та використанні її у випадках коли споживання перевищує вироблення використовують акумуляторні батареї (3) [41].

У разі необхідності підключення навантаження постійного струму – її можна безпосередньо підключити до вихідних клем контролера заряду (2), як показано на рис. 2.12.

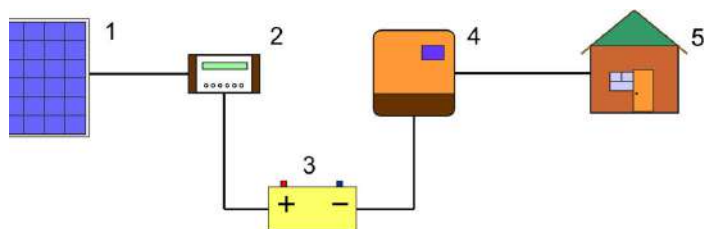


Рис. 2.12. Схема автономної станції для споживачів змінного струму

Підключення фотопанелей (1) безпосередньо до акумуляторних батарей (3) для їх заряду неприпустимо, оскільки це може призвести до їх пошкоджень, які потягнуть за собою вихід з ладу. Саме для захисту акумуляторних батарей

від перезарядження і для підтримки оптимальної роботи АКБ (3) використовують контролер заряду (2).

Оскільки більшість споживачів (5) електроенергії використовують змінний струм, а фотопанелі (1) та акумуляторні батареї (3) видають постійний, виникає необхідність у перетворенні струму з постійного у змінний. Цю функцію виконує інвертор (4).

Мережева станція.

Мережева сонячна електростанція (рис. 2.13) [41] призначена для часткового електропостачання споживачів або вироблення енергії за зеленим тарифом. Основними елементами сонячної системи є фотопанелі (1) і інвертор (2).

Фотопанелі (1) безпосередньо підключаються до інвертора (2), який перетворює постійний струм з фотопанелей в змінний струм для генерації електроенергії в мережу (4). Підключення інвертора до загальної мережі (4) виконується через розподільний щит споживача (3).

Обов'язковою умовою генерації електроенергії в мережу (4) є наявність напруги в мережі.

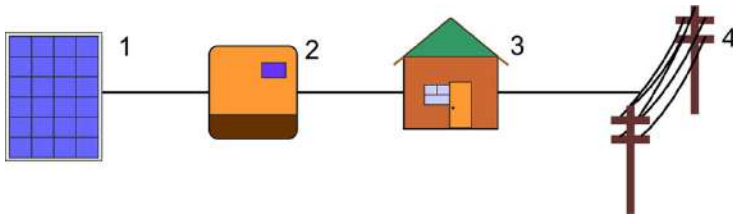


Рис. 2.13. Схема мережевої станції для споживачів

Встановлення мережевої станції – найпростіший і практичний спосіб використання сонячної електроенергії. Для роботи такої станції не потрібні ні дорогі акумулятори, ні складні пристрої керування. Необхідно встановити фотомодулі, підключити їх до мережевого інвертора, а інвертор – до мережі через пристрій обліку електричної енергії. Автоматика інвертора синхронізує його з мережею і забезпечить відключення станції в разі аварійного режиму роботи мережі.

Також цей спосіб використання дуже швидко окупається завдяки високій ставці зеленого тарифу в Україні [39-43].

Ви оплачуєте тільки різницю між спожитою електроенергією і експортованою в мережу. Ця різниця контролюється спеціальним двонаправленим лічильником. Якщо було передано більше електроенергії ніж спожили, то держава оплачує різницю за актуальним «зеленим» тарифом.

Однак потрібно пам'ятати, що дане рішення не забезпечить споживачам автономного енергопостачання на випадок відключення зовнішньої мережі, оскільки в такій схемі відсутні компоненти для резервного і безперебійного електроживлення.

Резервування електроживлення з економією на енергопостачанні.

Таке завдання виникає, якщо необхідно побудувати систему резервного енергопостачання об'єкта і при цьому отримати економію при оплаті за електроенергію. У даній схемі в обов'язковому порядку будуть сонячні панелі, контролер заряду, мережевий інвертор і комплект акумуляторних батарей.

До інвертору підключаються всі джерела електроенергії - зовнішня мережа, сонячна панель, в деяких схемах і резервний електрогенератор (дизельна електростанція або бензогенератор). Найчастіше основним джерелом електроенергії в такій схемі виступають фотоелектричні модулі. У ясні і сонячні дні вироблена ними електроенергія забезпечує живлення навантаження, а також накопичується в акумуляторних батареях. Накопичена в акумуляторних батареях електроенергія забезпечує живлення навантаження в похмурі дні, у вечірній час і вночі, коли сонячні електростанції не працюють. Якщо електроенергії, яку виробляють сонячні панелі не достатньо для живлення навантаження, а акумуляторні батареї розрядилися до встановленого рівня, то відсутній обсяг електроенергії автоматично починає надходити на навантаження від зовнішньої мережі через інвертор. Також від зовнішньої мережі відбуватиметься підзаряд акумуляторних батарей до необхідного рівня. У залежності від моделі інверторів крім зовнішньої мережі може бути підключений дизель генератор або електростанція бензинова. Це підвищує гарантію

безперебійного енергопостачання. Якщо вночі або в похмурий день зовнішня мережа відключиться, коли сонячна електростанція не виробляє електроенергію, а акумуляторні батареї будуть розряджені, то енергопостачання об'єкта буде здійснювати бензиновий або дизельний генератор [43].

Окрім безперебійного електроживлення така схема забезпечує і економію при оплаті за енергопостачання від зовнішньої мережі, оскільки значну частину споживаної електроенергії виробляють сонячні панелі. Якщо ж сонячна електростанція виробляє більше електроенергії, ніж необхідно для живлення навантаження на даний момент, а акумуляторні батареї повністю заряджені, то надлишок виробленої електроенергії може бути експортований у мережу і проданий за «зеленим» тарифом [43].

Сонячна панель може бути як з однофазною, так і з трифазною вихідною напругою. У другому випадку необхідно використовувати трифазний інвертор або встановлювати три однофазних інвертора по одному на кожен фазу.

Також може бути збільшена і кількість контролерів заряду в разі, якщо сонячні панелі мають сумарну встановлену потужність, яка перевищує потужність одного контролера заряду. Тоді кількість контролерів заряду повинна бути такою, щоб їх сумарна потужність була не меншою сумарної встановленої потужності, яку можуть згенерувати фотоелектричні модулі.

З нормами та правилами монтажу колекторів та сонячних панелей, правилами електробезпеки та зразками проектною документації на монтаж сонячних електросистем можна ознайомитись у виробника, з довідкових даних та джерела [39].

2.5. Розрахунок сонячних колекторів та сонячних панелей

Системи сонячного тепlopостачання бувають: *пасивні* та *активні*. Кожна з цих систем може мати природну або примусову циркуляцію нагріваючої речовини, бути з акумулятором або без акумулятора теплової енергії [44].

Термін «пасивні» означає, що сонячна енергія акумулюється безпосередньо в кімнаті, на стінах, біля вікон, навіть якщо є вентиляція.

Термін «активні» означає, що тепло нагромаджується в нагрівачах, які розташовані за межами опалювальних приміщень.

Пасивні сонячні нагрівні системи.

Суть побудови пасивної нагрівної сонячної системи полягає у виборі нагромаджу вального майданчика з масою m , площею F , поверхнею до потоку сонячного випромінювання (СВ) E і з високим опором R_T тепловим втратам, з метою отримати оптимальну кількість сонячного тепла для даної конструкції. Для здійснення цього потрібно виконати такі дії:

виконати якісно ізоляцію будинку (з високим R_T), з мінімізацією протягів і регенерацією тепла від вентиляцій; зменшити втрати тепла вночі (штори, віконця, захисні ролети тощо);

за рахунок конструкції будинку (розташування вікон) отримати максимальний сонячний потік, тобто максимальний добуток $E \cdot F$;

для вертикальних стін, на які падає частина СВ, варто забезпечити коефіцієнт $\alpha > 0.8$, як для чорної поверхні.

Такий будинок повинен мати масивні стіни, що обмежить коливання комфортної температури $T_{\text{кф}}$. Комфортна температура будинку залежить від вмісту вологості, потоку СВ, швидкості переміщення повітря та товщини одягу людини.

Приклад сонячної опалювальної системи будинку з раціональною акумуляцією СВ, наведений на рис. 2.14.

Конструктивно акумулятивна стіна – це бетонна плита товщиною до 30 см, із зовнішнім скляним покриттям і двома щілинами (зверху і знизу), яка ставиться з сонячної сторони. Нагріте повітря циркулює взимку, як показано на рис. 2.15.

У пасивних системах теплопостачання (ПСТП) СВ сприймають конструкції будівлі, найчастіше стіни (рис. 2.16).

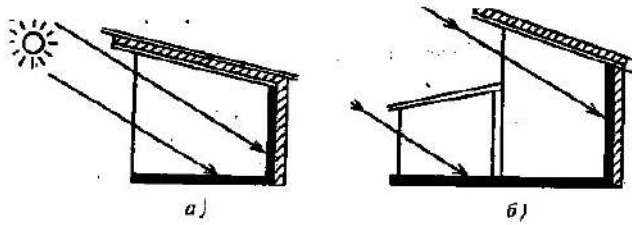


Рис. 2.14. Пасивна нагрівна система:
а) схема прямого нагрівання масивної чорної поверхні з посиленою теплоізоляцією;
б) нагрівання задньої стінки будинку через додаткове верхнє вікно.

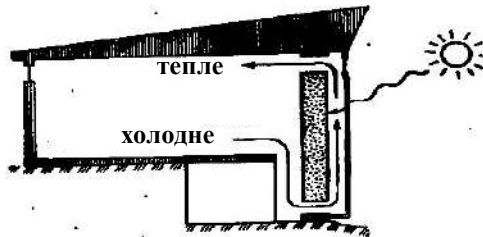


Рис. 2.15. Принцип дії акумулятивної стіни будинку з сонячним опалюванням

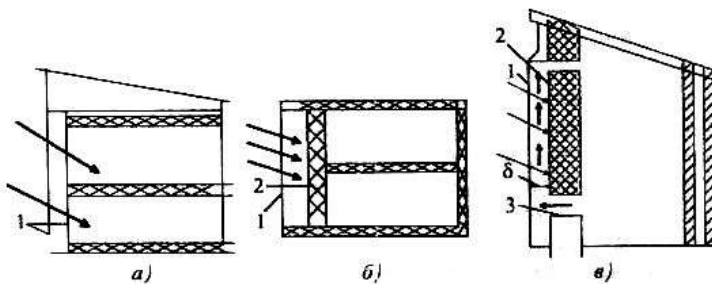


Рис. 2.16. Схема будинку з відкритою ізоляцією і закритими системами теплопостачання:
а) відкрита система;
б) закрыта система (1 – скло, 2 – поверхня для нагромадження тепла);
в) закрыта система (1 – скло, 2 – поверхня для нагромадження тепла; 3 – канал).

В процесі розроблення конструкції ПСТП необхідно правильно вибрати віддаль δ між сприймаючим екраном (стілкою) 2 і склом (плівкою) 1. Для цього використовують наступні емпіричні залежності:

- у випадку ламінарного (*контрольований потік повітря, який переміщує повний обсяг повітря в межах певного простору з однаковою швидкістю в одному напрямку вздовж паралельних ліній потоку*) руху повітря в каналі 3:

$$\delta = \frac{2H}{Nu}, \quad (2.2)$$

де H – висота стіни; критерій Нульсета $Nu = 0.378(Gr)^{0.25}$;

критерій Грасгофа $Gr = \frac{(\Delta t \cdot g \cdot H^3 \cdot \beta)}{v^2}$;

Δt – різниця температур стінки і повітря;

$g = 9,81 \text{ м / с}^2$; β – коефіцієнт розширення повітря, дорівнює $\frac{1}{t_{нов.} + 273}$;

v – кінематична в'язкість (з табл. 2.2).

у випадку турбулентного руху повітря:

$$\delta = H \left[0,96 \cdot Ra^{-\frac{1}{6}} \right] \cdot \left(\frac{Pr^{\frac{2}{3}}}{2,14 + Pr^{\frac{2}{3}}} \right)^{-\frac{1}{6}} \cdot Pr^{-\frac{1}{6}}, \quad (2.3)$$

де $Ra = Gr \cdot Pr$; Pr – критерій Прандтля (з табл. 2.2).

Висота поверхні, котра сприймає тепло, сильно впливає на питому масову витрату нагрітого повітря. Визначають її з умови:

$$\frac{\alpha_F \cdot Fx}{m \cdot Cp} \geq 4, \quad (2.4)$$

де $\alpha_F = 3,5-4$ Вт / (м²·К) – коефіцієнт тепловіддачі між поверхнею стінки і повітрям;

Fx – площа поверхні, яка сприймає тепло, м²;

Cp – теплоємність повітря, Дж / (кг·К);

m – масова витрата повітря з 1 метра ширини нагрітої поверхні, визначають її так:

$$m = W \cdot \rho \cdot 4\delta, \quad (2.5)$$

де ρ – густина повітря, кг / м³; W – швидкість руху повітря в шароарку, визначається зі співвідношення:

$$W = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,8 \cdot H (\rho_{вх} - \rho_{вих})}{\sum \xi \cdot \rho}}, \quad (2.6)$$

де $\sum \xi = 0,8 - 0,9$ - сума кінцевих опорів руху повітря; ρ , $\rho_{вх}$, $\rho_{вих}$ – густина повітря середня, на вході та виході, відповідно.

Таблиця 2.2. Фізичні параметри сухого повітря для тиску 760 мм. рт. ст.

T, К	t, °C	ρ , кг / м ³	C_p , кДж / (кг · К)	λ 10 ⁻² , Вт / (м · К)	α 10 ⁻⁵ , м ² / с	μ 10 ⁻⁶	ν 10 ⁻⁶ , м ² / с	P_r
253	-20	1,395	1,009	2,28	1,620	16,19	12,79	0,716
263	-10	1,342	1,009	2,36	1,745	16,68	12,43	0,712
273	0	1,293	1,005	2,44	1,881	17,17	13,28	0,707
283	10	1,247	1,005	2,51	2,006	17,66	14,16	0,705
293	20	1,205	1,005	2,59	2,142	18,15	15,06	0,703
303	30	1,165	1,005	2,67	2,286	18,64	16,00	0,701
313	40	1,128	1,005	2,76	2,431	19,13	16,96	0,699
323	50	1,093	1,005	2,83	2,572	19,62	17,95	0,698
333	60	1,060	1,005	2,90	2,720	20,11	18,97	0,696
343	70	1,029	1,009	2,97	2,856	20,60	20,02	0,694
353	80	1,000	1,009	3,05	2,920	21,09	21,09	0,692
363	90	0,972	1,009	3,13	2,989	21,48	22,10	0,690
373	100	0,946	1,009	3,21	3,364	21,88	23,13	0,688

Активні сонячні нагрівні системи.

До них відносяться зовнішні нагрівачі води або повітря. Основним елементом в активних системах сонячного теплопостачання (АССТП) є колектор. Колектори поділяються на дві категорії:

- з концентрацією СВ (фокубуючи);
- без концентрації СВ («гаряча скринька»).

Розрахунок системи починають з визначення площі (м²) поверхні сонячного колектора (СК) за співвідношенням:

$$F = \frac{0,287 \cdot G_{\Gamma} \cdot C_B (t_{\Gamma} - t_x)}{\eta \sum_{i=1}^n Ei}, \quad (2.7)$$

де G_{Γ} – добова витрата гарячої води, кг / добу;

t_{Γ} , t_x – температури гарячої та холодної води, відповідно, °С;

Ei – інтенсивність СВ, яке надходить на площину колектора, Вт / м²;

$C_B = 4190$ Дж / (кг·К) – теплоємність води;

η – ККД установки сонячного теплопостачання:

$$\eta = 0,8 \cdot \left\{ \theta - \frac{8 \cdot \xi [0,5(t_1 + t_2) - t_c]}{\sum Ei} \right\}, \quad (2.8)$$

де θ_{np} – приведена оптична характеристика колектора прямої радіації (для СК з одним шаром скла $\theta_{np} = 0,73$, для двох шарів $\theta_{np} = 0,63$);

t_1 , t_2 , t_c – температури на вході і виході з колектора та середня температура навколишнього повітря, відповідно, °С;

ξ – приведений коефіцієнт теплових втрат СК, Вт / (м²·К).

Для дво- і три контурних установок приймають значення $t_1 = t_x + 5$ °С, $t_2 = t_{\Gamma}$. Для СК з одним шаром скла $\xi = 8$ Вт / (м²·К), для двох шарів $\xi = 5$ Вт / (м²·К).

Об'єм акумулятора теплоти:

$$V = (0,06...0,08)F, \quad (2.9)$$

Річна частка сонячної енергії в покритті теплового навантаження:

$$f_{річ} = \frac{Ei}{Q_k}, \quad f_{річ} = 0 \dots 1, \quad (2.10)$$

Теплова потужність СК:

$$Q_k = F[Ei \cdot \eta - K_{ВТР} \cdot (t_1 - t_{H.C.})] = G_{Г} \cdot C_{В} \cdot (t_2 - t_1), \quad (2.11)$$

де $t_{H.C.}$ – температура навколишнього середовища; $K_{ВТР}$ – коефіцієнт теплових втрат, Вт / (м²·К) (визначають з довідникових даних).

Приклади.

Задача 1

Для пасивної системи опалення будинку визначити віддаль між екраном та поверхнею (стілкою), котра сприймає тепло. Висота поверхні H (м), середні значення температури стінки і повітря відповідно дорівнюють $t_{ст}$, $t_{нов}$ (°С).

Розв'язання.

Задачу розв'язуємо з такими значеннями: $H = 2$ м; $t_{ст} = 40$ °С; $t_{нов} = 20$ °С.

Віддаль між стінкою і екраном визначаємо за співвідношенням (2.2):

$$Nu = 0,378(Gr)^{0,25}$$

Критерій Грасгофа:

$$Gr = \frac{9,81 \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot H^3}{\nu^2}$$

Для $t_{нов} = 20$ °С виписуємо з табл. 2.2 значення $\nu = 15,06 \cdot 10^{-6}$ м² / с.

$$\beta = \frac{1}{t_{нов} + 273} = \frac{1}{20 + 273} = 0,00335 \text{ K}^{-1};$$

$$Gr = \frac{9,81 \cdot 0,00335 \cdot 20 \cdot 2^3}{(15,06 \cdot 10^{-6})^2} = 23,18 \cdot 10^9;$$

$$Nu = 0,378(23,18 \cdot 10^9)^{0,25} = 147,49;$$

$$\delta = \frac{2 \cdot 2 \cdot 10^3}{147,49} = 27,12 \text{ мм.}$$

Задача 2

Визначити площу поверхні СК для добового забезпечення гарячою водою G з температурою t_r , а також об'єм теплового акумулятора. Температура холодної води $10 \text{ }^\circ\text{C}$.

Розв'язання.

Приймаємо $G = 40 \text{ кг / год}$; $t_r = 40 \text{ }^\circ\text{C}$.

Загальну кількість теплової енергії, яка надходить щоденно на горизонтальну поверхню визначаємо з табл.2.3. Для північної широти $\varphi=48^\circ$, в квітні місяці маємо:

$$E = 15,21 \text{ МДж / м}^2; \quad E_p = 8,18 \text{ МДж / м}^2; \quad t_c = 9 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Перераховуємо в тепловий потік за співвідношенням $1 \text{ кВт} = 3,6 \text{ кДж}$. Маємо:

$$E = 15,21 / 3,6 = 4,225 \text{ кВт / м}^2;$$

$$E_p = 8,18 / 3,6 = 2,272 \text{ кВт / м}^2;$$

$$E_i = 0,96(K_{np} \cdot E_{np} \cdot \theta_{np} + K_p \cdot E_p \cdot \theta_p),$$

де K_{np} , K_p – коефіцієнт прямої та розсіяної радіації (табл. 2.4) в залежності від осі кута колектора; θ_p – приведена оптична характеристика колектора для розсіяної радіації: (для СК з одним шаром скла дорівнює 0,64 з двома шарами 0,42).

Таблиця 2.3. Щоденне надходження сумарної E , розсіяної E_p сонячної енергії (МДж / м²) та температури повітря (°С) у відповідному місяці року для місцевості північної широти

Показник	Місяці року											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Північна широта 47°												
E	4,05	6,26	10,8	15,84	20,25	23,07	23,62	20,11	14,73	9,18	4,03	2,7
E_p	2,56	3,87	5,8	8,48	9,18	10	9,04	7,83	5,98	4,32	2,36	1,8
t , °С	-4,5	-2,6	2,5	9,3	15,6	19,2	21,4	20,5	15,7	10	3,9	-1
Північна широта 48°												
E	3,75	5,92	10,49	15,21	19,73	22,54	22,83	19,21	14,06	8,43	3,68	2,5
E_p	2,48	3,75	5,7	8,18	9,18	10	9,22	7,8	5,94	4,28	2,27	1,75
t , °С	-4,5	-2,4	2,2	9,0	15,5	19	21	20	15,6	9,9	3,8	-1
Північна широта 49°												
E	3,45	5,87	10,12	14,52	19,21	22,22	21,41	18,24	13,29	7,81	3,31	2,33
E_p	2,38	3,61	5,61	7,82	9,18	10	9,35	7,74	5,9	4,15	2,18	1,7
t , °С	-5,5	-3,69	2,25	9,2	15,3	18,9	20,9	19,8	15,5	9,9	3,7	-0,8
Північна широта 50°												
E	3,1	5,36	9,72	13,9	18,76	21,82	2,52	17,28	12,65	7,29	2,92	2,16
E_p	2,29	3,43	5,53	7,51	9,18	10	9,45	7,69	5,84	3,91	2,08	1,62
t , °С	-6,1	-5,6	-0,7	7,2	14,3	17,6	18,8	17,7	13,7	7,2	1	-3,7

Вибираємо орієнтацію СК на північ з кутом нахилу 30 °, маємо:

$$E_i = 0,96(1,21 \cdot 4,225 \cdot 0,73 + 0,67 \cdot 2,272 \cdot 0,64) = 4,518 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$$

За формулою (2.8) визначаємо:

$$\eta = 0,8 \left\{ 0,73 - \frac{8 \cdot 8 \cdot [0,5(15 + 40) - 9]}{4,518 \cdot 10^3} \right\} = 0,374.$$

Площа поверхні СК:

$$F = 0,287 \cdot \frac{[40 \cdot 4,190 \cdot (40 - 10)]}{(0,374 \cdot 4518)} = 0,854 \text{ м}^2$$

Об'єм теплового акумулятора:

$$V = 0,07 \cdot F = 0,06 \text{ м}^3.$$

Сонячні електричні системи.

Метод прямого перетворення сонячного випромінювання в електрику є, по-перше, найбільш зручним для споживача, оскільки отримується найбільш вживаний вид енергії, і, по-друге, такий метод вважається екологічно чистим засобом одержання електроенергії на відміну від інших, які використовують органічне паливо, ядерну сировину чи гідроресурси.

Основою напівпровідникового сонячного елемента є пластина напівпровідника з *p-n* переходом. Його робота заснована на явищі фотоефекту, відкритому ще в позаминулому столітті Г.Герцем та дослідженому О.Г.Столетовим. Теорію фотоефекту створив А.Ейнштейн у 1905 році, за що був відзначений Нобелівською премією.

Суть ефекту полягає в тому, що кванти сонячного світла з енергією, більшою ніж ширина забороненої зони напівпровідника, поглинаються в напівпровіднику і створюють пари носіїв струму: *електрони* в зоні провідності та *дірки* у валентній зоні. Для просторового розведення зарядів, а значить і виникнення електричного струму, необхідна наявність внутрішнього електричного поля у напівпровіднику. Таке поле існує в електронно - дірковому *p-n* переході, в контакт метал - напівпровідник, в контакт двох різних напівпровідників (гетеропереході).

Таблиця 2.4. Середньомісячні значення K_{np} для сонячних колекторів південної орієнтації з різними кутами їх нахилу до горизонту

Кут нахилу колектора β , °	Місяці року											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Північна широта 47°												
30	2,14	1,71	1,42	1,19	1,07	1,02	1,04	1,13	1,3	1,56	1,86	2,31
45	2,86	1,99	1,49	1,17	1	0,92	0,95	1,08	1,33	1,74	2,27	3,27
60	3,13	2,07	1,45	1,09	0,89	0,80	0,84	0,99	1,26	1,76	2,66	3,64
Північна широта 48°												
30	2,21	1,72	1,49	1,21	1,08	1,05	1,06	1,15	1,32	1,59	1,86	2,34
45	2,95	2,05	1,53	1,19	1,07	0,95	0,99	1,11	1,38	1,78	2,27	3,29
60	3,19	2,11	1,49	1,12	0,93	0,86	0,88	1,05	1,31	1,8	2,71	3,67
Північна широта 49°												
30	2,25	1,76	1,52	1,26	1,09	1,07	1,08	1,17	1,35	1,61	1,88	2,35
45	3	2,09	1,57	1,22	1,11	0,99	1,03	1,14	1,4	1,72	2,28	3,32
60	3,2	2,13	1,51	1,15	0,95	0,88	0,91	1,07	1,34	1,83	2,73	3,69
Північна широта 50°												
35	2,29	1,81	1,55	1,29	1,11	1,09	1,1	1,2	1,38	1,65	1,9	2,38

На рис. 2.17 схематично показано сонячний елемент з p - n переходом та напрям руху фотогенерованих носіїв заряду.

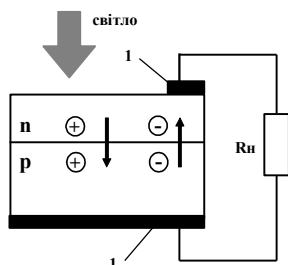


Рис. 2.17. Сонячний елемент з p - n переходом

Фотогенеровані в p -області електрони витягуються електричним полем в n -область, і, навпаки, фотогенеровані в n -області дірки витягуються електричним полем в p -область. На омичних контактах виникає різниця потенціалів, яка називається

напругою холостого ходу U_{xx} . Якщо закоротити контакти, то через сонячний елемент потече струм короткого замикання $I_{кз}$. Для того, щоб елемент віддавав енергію в зовнішнє коло, до його контактів під'єднують навантаження, яке має електричний опір R_n . Тобто, сонячний елемент виконує роль помпи, яка перекачує електрони в напрямку *n*-область - зовнішнє навантаження - *p*-область.

Оскільки вольт-амперна характеристика такого приладу проходить через четвертий квадрант (рис. 2.18), то це значить, що прилад є джерелом струму. Слід відзначити, що на відміну від хімічних джерел світла напівпровідникові сонячні елементи не псуються при електричному замиканні контактів. При відповідному виборі опору навантаження енергія, що виробляється сонячним елементом, може досягати 80% від добутку $U_{xx} \cdot I_{кз}$.

На рис. 2.18 показані також значення U_m та I_m – значення струму та напруги, для яких реалізується максимальна вихідна потужність $P_m = U_m \cdot I_m$. Коефіцієнт корисної дії ККД сонячного елемента визначається як відношення максимальної вихідної потужності P_m до потужності падаючого сонячного світла P_0 : $ККД = P_m / P_0$.

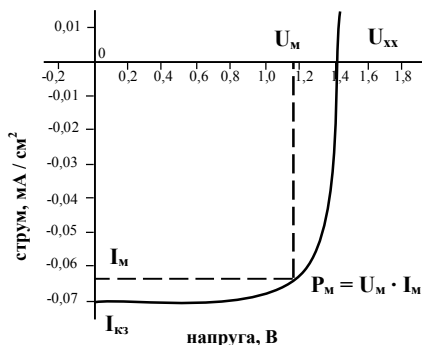


Рис. 2.18. Вольт-амперна характеристика сонячного елемента

Чим більше фотонів сонячного світла поглинається сонячним елементом, тим більшим буде у нього струм $I_{кз}$. Це може бути досягнуто за рахунок використання напівпровідників з меншою

шириною забороненої зони (тоді підвищується доля фотонів в сонячному випромінюванні, які мають енергію вищу ширини забороненої зони напівпровідника). З іншого боку, напруга U_{xx} визначаються висотою потенціального бар'єру в $p-n$ переході і буде тим більша, чим більша ширина забороненої зони напівпровідника.

Оскільки для отримання максимальної вихідної потужності сонячного елемента треба створити такий елемент, у якого будуть найбільшими не величини U_{xx} чи I_{kz} окремо, а добуток $P_m = U_m \cdot I_m$, та, враховуючи розподіл енергії в спектрі сонячного випромінювання, можна підібрати найкращий напівпровідниковий матеріал для створення ефективних сонячних елементів. Такий матеріал повинен мати ширину забороненої зони 1,3-1,5 еВ. Це, насамперед, арсенід галію, теоретична межа максимального коефіцієнту корисної дії сонячних елементів на ньому більше 31%. Проте найбільш широкого застосування набули сонячні елементи на основі більш дешевого ніж арсенід галію кремнію, хоча в нього ширина забороненої зони менша оптимальної (1,1 еВ), і тому теоретична межа максимального ККД менша (до 29%).

Домінуюча позиція кремнієвої технології у промисловій сонячній енергетиці (90% світового виробництва сонячних елементів) визначає сучасні тенденції науково-технічного розвитку цієї галузі. Перевагами кремнієвої технології є достатня наявність кремнію у природі, його хімічна стабільність і відсутність будь-якого токсичного впливу на людей і навколишнє середовище, сумісність технології кремнієвих сонячних елементів і базових процесів мікроелектроніки.

Чому ж ефективність сонячних елементів менша 100%? По-перше, не всі пари носіїв струму можуть бути розведені полем. Деякі з них можуть рекомбінувати (гинути) в результаті переходу збудженого електрона із зони провідності у валентну зону. По-друге, кванти світла з енергією меншою ширини забороненої зони, не поглинаються напівпровідником і не беруть участі у фотоелектричному процесі. По-третє, електрони і дірки, збуджені квантами світла з енергією, значно більшою ніж ширина забороненої зони, за дуже короткий час віддають надлишок енергії і опускаються до дна зони провідності

(електрони) чи піднімаються до вершини валентної зони (дірки). Надлишкова енергія при цьому йде не на створення струму в зовнішньому колі, а на підвищення температури напівпровідника.

Потужність сонячної панелі (СП) складається з вихідних потужностей окремих сонячних елементів (СЕ). Вихідний струм СЕ в панелі визначається кількістю елементів, які з'єднані паралельно, а вихідна напруга – кількістю елементів, з'єднаних послідовно. На рис. 2.19 наведені приклади послідовного та паралельного з'єднання СЕ.

Введемо наступні позначення:

V_e – вихідна напруга СЕ;

I_e – максимальний вихідний струм СЕ;

P_e – максимальна вихідна потужність СЕ;

V_{σ} – вихідна напруга СП;

I_{σ} – максимальний вихідний струм СП;

P_{σ} – максимальна вихідна потужність СП;

N_{np} – кількість паралельно з'єднаних елементів;

N_{nc} – кількість послідовно з'єднаних елементів;

N_{ce} – загальна кількість СЕ в панелі.

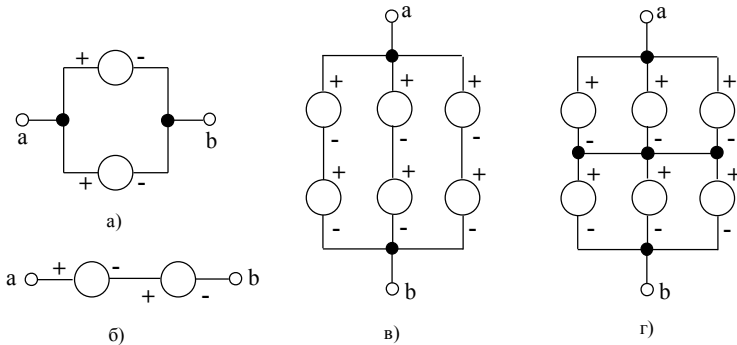


Рис. 2.19. Паралельне та послідовне з'єднання сонячних елементів:

а) паралельне з'єднання двох елементів;

б) послідовне з'єднання двох елементів;

в) паралельне з'єднання трьох ланцюгів (кожний ланцюг складається з двох послідовно з'єднаних елементів);

г) послідовне з'єднання двох груп елементів (кожна група складається з трьох паралельно з'єднаних елементів)

Запишемо наступні співвідношення:

$$V_{\bar{o}} = N_{nc} \cdot V_e; \quad I_{\bar{o}} = N_{np} \cdot I_e; \quad N_{ce} = N_{np} \cdot N_{nc};$$

$$P_{\bar{o}} = V_{\bar{o}} \cdot I_{\bar{o}}; \quad P_e = V_e \cdot I_e; \quad P_{\bar{o}} = N_{ce} \cdot P_e$$

Приклади.

Задача 3

Маємо СЕ, максимальний вихідний струм кожного з яких дорівнює 0,5 А при напрузі 0,4 В. Припустимо, що з цих елементів побудовано СП, причому 100 елементів з'єднані паралельно та 300 елементів – послідовно. Визначити потужність СП.

Розв'язання.

Батарея в цьому випадку буде мати наступні вихідні параметри:

$$I_{\bar{o}} = 0,5 \cdot 100 = 50 \text{ А},$$

при

$$V_{\bar{o}} = 0,4 \cdot 300 = 120 \text{ В}.$$

Потужність панелі:

$$P_{\bar{o}} = 50 \cdot 120 = 6000 \text{ Вт}.$$

Для перевірки обчислимо потужність іншим способом.

Потужність одного елемента $P_e = 0,5 \cdot 0,4 = 0,2$ Вт, а всієї панелі $P_{\bar{o}} = 0,2 \cdot 100 \cdot 300 = 6000$ Вт.

Запишемо даний приклад в алгебраїчній формі.

Дано: $V_e = 0,4 \text{ В}; I_e = 0,5 \text{ А}; N_{nc} = 300; N_{np} = 100.$

Знайти: $V_{\bar{o}}, I_{\bar{o}},$ та $P_{\bar{o}}.$

Згідно наведених вище співвідношень, маємо:

$$V_{\bar{o}} = N_{nc} \cdot V_e = 300 \cdot 0,4 = 120 \text{ В}; I_{\bar{o}} = N_{np} \cdot I_e = 100 \cdot 0,5 = 50 \text{ А};$$

$$P_{\bar{o}} = N_{ce} \cdot P_e = N_{nc} \cdot N_{np} \cdot I_e \cdot V_e = 300 \cdot 100 \cdot 0,4 \cdot 0,5 = 6000 \text{ Вт}$$

або

$$P_{\bar{o}} = V_{\bar{o}} \cdot I_{\bar{o}} = 120 \cdot 50 = 6000 \text{ Вт}.$$

Задача 4

Необхідно створити СП потужністю 100 Вт при вихідній напрузі, що дорівнює 120 В. Існують СЕ, розраховані на максимальну вихідну потужність 0,1 Вт при напрузі 0,4 В. Розрахувати параметри СП, припустивши, що втрати, пов'язані з об'єднанням елементів в панелі – відсутні.

Розв'язання.

Відомо, що кожний СЕ генерує потужність $P_e = 0,1$ Вт, тому $P_{\bar{o}} = P_e \cdot N_{ce} = 0,1 \cdot N_{ce}$, звідки $N_{ce} = 100/0,1 = 1000$ елементів.

Тепер визначимо кількість послідовно з'єднаних елементів: $0,4 \cdot N_{nc} = 120$, звідки $N_{nc} = 120/0,4 = 300$ елементів.

Знайдемо кількість паралельно з'єднаних елементів: $N_{ce} = N_{nc} \cdot N_{np}$, звідки $N_{np} = N_{ce} / N_{nc} = 1000 / 300 = 3,33$ елемента.

Необхідно прийняти один з двох розв'язків:

при $N_{np} = 3$

$$N_{ce} = N_{np} \cdot N_{nc} = 3 \cdot 300 = 900$$

потужність панелі: $P_{\bar{o}} = P_e \cdot N_{ce} = 0,1 \cdot 900 = 90$ Вт.

при $N_{np} = 4$

$$N_{ce} = N_{np} \cdot N_{nc} = 4 \cdot 300 = 1200$$

потужність панелі: $P_{\bar{o}} = P_e \cdot N_{ce} = 0,1 \cdot 1200 = 120$ Вт.

Як бачимо, при $N_{np} = 3$ потужність СП є меншою, ніж необхідно створити, а при $N_{np} = 4$ потужність СП є більшою, ніж потрібно. За таких умов доцільним є прийняти другий варіант, оскільки головною умовою є забезпечити потужність 100 Вт.

2.6. Питання для самоконтролю

1. Напрямки та можливості сонячного енерговикористання?
2. Сонячне випромінювання та його характеристики. Густина потоку. Складові випромінювання. Геометрія розташування приймачів. Вплив атмосфери?
3. Будова плоского сонячного рідинного колектора?
4. Сонячні водонагрівальні установки з природною циркуляцією?
5. Сонячні водонагрівальні установки з примусовою циркуляцією?
6. Будова плоского сонячного колектора для повітряного опалення?
7. Геліотеплиці. Принципи акумулювання енергії в геліотеплицях?
8. Сонячні опріснювачі. Конструкція та принцип дії?
9. Фокусуючі пристрої (концентратори сонячної енергії). Геліостати. Сонячні електростанції (СЕС)?
10. Які існують системи сонячного теплопостачання?
11. Що називають комфортною температурою?
12. Принцип дії пасивних сонячних систем?
13. Принцип дії активних сонячних систем?
14. Методи прямого перетворення сонячної енергії в електричну енергію?
15. Принцип дії сонячного елемента?
16. Схеми з'єднань сонячних елементів?
17. Що є сировиною для виготовлення сонячних елементів?

ТЕМА 3 ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕГІЇ ВІТРУ

3.1. Енергія вітру та його характеристики *3.1.1. Загальні характеристики енергії вітру та* *методи вимірювання швидкості вітру*

Вітер як джерело енергії є непрямою формою сонячної енергії, і тому належить до ВДЕ. Використання енергії вітру є одним із найдавніших відомих способів використання енергії із навколишнього середовища, і було відоме ще в давні часи [8, 45].

В середньовіччі були винайдені вітряні млини для переробки зерна. Вважається, що перші вітряки були збудовані в Сістані, десь між сучасним Іраном та Афганістаном, між дев'ятим та сьомим сторіччями до н.е. Вони мали вертикальну вісь, від шести до дванадцяти крил з полотна або очерету та використовувались як млини та помпи для води.

У будівництві феномен вітру у давнину також застосовували для природної вентиляції та охолодження повітря у сухих та жарких країнах Середньої Азії [8, 45-47].

Вітер – це складний геофізичний процес, який можна прогнозувати тільки з визначеною ступеню імовірності [45, 46].

Твайделом Дж. В роботі [8] представлена залежність швидкості вітру від висоти над поверхнею землі. В основному параметри вітру реєструються на одній стандартній висоті 10 м на метеостанціях поблизу аеропортів та міст, тобто місць найбільш захищених від вітру [8].

Метеослужбами швидкість вітру класифікується за шкалою Бофорда, в основі якої лежать візуальні спостереження [8, 24, 45, 46].

Основні метеостанції на Україні розташовані на крайньому північному заході та Карпатах.

Основними приладами, які використовують для вимірювання швидкості вітру є *анерумбометр* та *анемометр*.

Анерумбометр – електричний прилад, який передає по проводах дані про напрямок та швидкість вітру.

Анемометр – прилад для вимірювання швидкості, а часто і напрямку руху потоків (газів і рідин), наприклад, повітря; швидкість потоку вимірюється за швидкістю обертання ротора з лопатками або півкулястими чашками. За конструкцією розподіляються на крильчасті, чашкові та термоелектричні. Найпростішим типом є флюгер.

Різниця в швидкостях вітру, визначених за допомогою флюгера та анерумбометру, пов'язані з тим, що більші швидкості флюгером завищуються внаслідок нелінійності його шкали.

На показання флюгера впливає степінь його відкритості та місце розташування. В [48] наведена середня швидкість вітру в залежності від висоти флюгера за сезонами для фізико-географічних областей України.

Вирівнювання розподілу всіх швидкостей вітру виконується за допомогою функції розподілу Вейбула [6, 8, 24, 45, 46].

Вивчення варіацій швидкості вітру найбільш доцільно за допомогою композиційного аналізу закономірностей та стохастичної мінливості інтенсивності потоку в обраному інтервалі часу та на обмеженій площі [46].

Середня швидкість вітру V_{cp} за обраний інтервал часу $T = t_2 - t_1$ визначається відношенням суми вимірних значень миттєвої швидкості V_i до кількості вимірювань n [46]:

$$V_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n}, \quad (3.1)$$

Зазвичай прийнято використовувати такі інтервали строків спостереження за швидкістю вітру: 3, 4 або 6 годин з вимірюванням у відповідний час [8, 45, 46].

Багато факторів необхідно враховувати для отримання характерних оцінок енергії вітру та її географічного розподілу. Одним з них є надійність даних за швидкостями вітру: наскільки точно встановлено анемометр, яка точність вимірювань та який метод реєстрації даних [45].

До основних факторів, що впливають на точність оцінки енергії вітру можна віднести [45, 46]:

- зміна густини атмосфери в залежності від висоти та температури;
- висота зміни вітру над рівнем моря;
- характер підстилаючої поверхні височин;
- відповідність даних по вітру, що є в наявності;
- прийнятий закон зміни енергії вітру за висотою;
- кількість класів швидкості вітру;
- інші фактори, які залежать від майбутнього місцезонаштування вітроелектричної установки (ВЕУ).

Деякими факторами можна знехтувати, наприклад, якщо інтервали осереднення приладу точно не відомі, то їх неможна враховувати при оцінці енергії вітру, оскільки вони можуть бути джерелом помилок.

Найбільш важливі загальні фактори наведено нижче [45, 46].

Густина атмосфери. Енергія вітру прямо пропорційна густині атмосфери, яка зменшується в залежності від висоти та температури.

Висота розташування анемометру. Типова висота датчика вітру над поверхнею землі на різних станціях змінюється від 4 до 60 м [45]. Багато анемометрів розташовано поблизу аеропортів та споруд. Однак самі споруди представляють собою перешкоди для вітрового потоку у місці, де розташовано анемометр. Таким чином, показання анемометру неможна розглядати незалежно від потоку повітря.

Вплив мікрорельєфу місцевості. Навіть дуже незначні перепади висоти можуть викликати суттєві зміни в енергії вітру.

Вертикальна екстраполяція вітру. Для екстраполяції зміни швидкості вітру на різних висотах часто використовують дві залежності. Одна з них – логарифмічний профіль швидкості [45]:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{\ln\left(\frac{h_2}{l_0}\right)}{\ln\left(\frac{h_1}{l_0}\right)}, \quad (3.2)$$

де V_2 та V_1 – відповідно швидкості вітру на висотах h_1 та h_2 ;
 l_0 – висота елементів шорсткості

Логарифмічний профіль відповідає умовам нейтральної стійкості атмосфери та більшим швидкостям вітру.

Друга залежність – степеневий закон для профілю швидкості [6, 8, 24, 45, 48, 46]:

$$\frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^\alpha, \quad (3.3)$$

де α – безрозмірний коефіцієнт степені, величина якого залежить від швидкості вітру, стійкості атмосфери та шорсткості поверхні.

В джерелах [6, 8, 24, 45, 48, 46] наведена залежність показника α від висоти флюгера.

Розподіл вітрів на Україні характеризується певною закономірністю, яка зумовлена як циркуляцією атмосфери, так і рельєфом території [48].

Для України характеристика вітрів визначена досить точно, оскільки отримана в результаті систематичних 40-річних вимірювань швидкості вітру за допомогою розповсюдженої мережі метеостанцій та метеопунктів. На їх основі проведено районування території України [6].

Майже в усіх кліматичних зонах України вітровий потенціал зростає зі збільшенням висоти відносно показника на рівні 10-метрової відмітки [6]:

- на висоті 30 м – в 1,5 рази;
- на висоті 60 м – в 2 рази;
- на висоті 100 м – в 2,5 рази.

Досвід все ж таки показує, що дані про середньорічні швидкості вітру, які отримано метеостанціями України, непридатні для прогнозу виробництва електроенергії за допомогою ВЕУ внаслідок того, що їх похибка зазвичай складає 40-70 %.

3.1.2. Світовий досвід використання вітрових електростанцій. Використання енергії вітру в Україні

В наш час енергія вітру використовується більше ніж в 30 країнах. Масштабні проекти реалізуються в Китаї, Швеції,

Ірландії, Новій Зеландії, Швейцарії, Канаді, США та Данії. В Європі одну з лідируючих позицій займає Данія [6]. Також в [6] наведена таблиця стану вітроенергетики в країнах світу.

Існують проекти ВЕУ, які можуть бути побудовані поблизу берегів океану. Найбільший розвиток спостерігався у США – 8358 МВт, Китаї – 6300 МВт. Європа наприкінці 2008 року мала вітрові електростанції потужністю 65000 МВт [39].

В Україні дослідженнями у галузі вітроенергетики займаються наступні установи та підприємства:

МНТЦ вітроенергетики НАН України – основними науково-технічними роботами є визначення територій, перспективних для будівництва вітроелектричних станцій (ВЕС), вибір перспективних моделей ВЕУ, розроблення методів ефективного математичного моделювання характеристики потужності сучасних вітроагрегатів та ін.

ТОВ «ЕСТА лтд» - основною діяльністю підприємства є розробка та створення лопатей та гондол для промислових ВЕУ потужністю 110 кВт.

ПП «Світ Вітру» - спеціалізується на розробці та виробництві обладнання для використання ВДЕ. Основним напрямком є розробка ВЕУ. Найвідомішими є СВ-3.1/200 (ВЕУ-08) та її попередниця СВ-3.1/150 (ВЕУ-075).

ТОВ «ПКТБ «Конкорд» - основною сферою діяльності є вітроенергетика. Основна розробка ВЕУ ТГ-1000.

Найбільш перспективними для розвитку вітроенергетики в Україні є такі області та регіони: Автономна республіка Крим, Карпати, західні та південні регіони та узбережжя Чорного та Азовського морів; Придніпровська височина та низовина [6].

3.2. Види вітрових електричних установок та схеми їх підключення

Вітродвигун безпосередньо перетворює енергію вітрового потоку в механічну, яка в подальшому використовується для приводу різних механізмів і машин (наприклад, насосів) або трансформується в електричну енергію. Вітродвигуни,

використовувані в якості приводу електричного генератора ВЕУ, поділяють на два основних типи [45-47, 49]:

- *горизонтально-осьові (ГО)*, що характеризуються колінеарністю вектору кутової швидкості обертання вітродвигуна і аксіальної складової вектора швидкості вітрового потоку;

- *вертикально-осьові (ВО)*, що характеризуються ортогональністю векторів кутової швидкості обертання вітродвигуна і аксіальної складової вектора швидкості вітрового потоку.

ВЕУ класифікують за такими ознаками [45-47, 49]:

- виду вироблюваної енергії,
- рівню потужності,
- призначенню,
- областях застосування,
- ознакою роботи з постійною або змінною частотою обертання вітроколеса,
- способам управління,
- типом системи передачі вітрової потужності споживачу.

Залежно від виду енергії, що виробляється ВЕУ поділяють на вітроелектричні та вітромеханічні. Електричні ВЕУ, у свою чергу, поділяються на вітроустановки, що виробляють електроенергію постійного або змінного струму. Механічні ВЕУ служать для приводу робочих машин.

За рівнем потужності ВЕУ підрозділяють на чотири групи [45-47, 49]:

- дуже малої потужності, менше 5 кВт;
- малої потужності, від 5 до 100 кВт;
- середньої потужності, від 100 до 1000 кВт;
- великої потужності, понад 1 МВт.

Вітроустановки кожної групи відрізняються одна від одної перш за все конструктивним виконанням, типом фундаменту, способом установки вітроагрегату на вітер, системою регулювання, системою передачі вітрової потужності, способом монтажу і способом обслуговування [49].

У залежності від призначення електричні ВЕУ постійного струму поділяють на [45-47, 49]:

- вітрозарядні;
- гарантованого електропостачання споживача;
- негарантованого електропостачання.

Електричні ВЕУ змінного струму поділяють на [45-47, 49]:

- автономні;
- гібридні, що працюють паралельно з енергосистемою сумірної потужності (наприклад, з дизельною установкою);
- мережеві, які працюють паралельно з потужною енергосистемою.

Механічні ВЕУ за призначенням поділяють на [45-47, 49]:

- вітронасосні для приводу водяних насосів;
- вітросилові для роботи з промисловими і побутовими механізмами.

При розрахунку і проектуванні вітродвигуна та виборі його номінальних параметрів необхідно враховувати [45-47, 49]:

- тип навантаження (електрогенератор, водяний насос і т. п.);
- тип системи передачі вітрової потужності до споживача;
- тип системи генерування та акумулювання електроенергії.

Як правило, вітроелектричні установки складаються з наступних функціональних частин [45-47, 49]:

- первинного перетворювача;
- електричного генератора;
- опорно-поворотного пристрою;
- системи управління ВЕУ.

Горизонтально-осьові ВЕУ середньої та великої потужності можуть мати механізм регулювання кута установки лопатей ротора і механізм орієнтації вітроагрегата.

Первинний перетворювач включає в себе вітродвигун і призначений для перетворення кінетичної енергії вітру в обертальний рух ротора електричного генератора. Електричний генератор призначений для перетворення механічної енергії обертання в електричну енергію. Первинний перетворювач і електричний генератор утворюють вітроагрегат (ВА). Опорно-поворотний пристрій призначений для розміщення вітроагрегата на башті (опорі).

Одна або декілька груп вітроелектричних установок утворюють вітрову електричну станцію (ВЕС), до складу якої входять (крім ВЕУ) [49]:

- система управління ВЕС;
- одна або кілька метеовишок;
- трансформаторні підстанції (ТП);
- підстанція.

Система керування вітроелектричної станцією (ВЕС) здійснює керування, контроль і облік роботи ВЕС в цілому і кожної ВЕУ окремо. Метеовишка призначена для визначення швидкості і напрямку вітру та видачі цієї інформації в систему керування ВЕС. Трансформаторна підстанція обслуговує декілька ВЕУ (групу) і забезпечує підвищення напруги від генераторів ВЕУ до величини лінії електропередачі на підстанцію. Підстанція ВЕС призначена для розподілу і передачі енергії від ВЕС в електромережу енергосистеми [49].

За іншою основною ознакою, за принципом силової аеродинамічної взаємодії лопатевої системи вітродвигуна з потоком набігаючого на нього повітря, вітродвигуни можна підрозділити на два типи [45-47, 49]:

- вітродвигуни, які використовують під час руху лопатевої системи підйомну силу, що виникає на робочих елементах лопатевої системи (жорстких лопатях, циліндрах, що обертаються) і створює круглий момент;
- вітродвигуни, які використовують під час руху лопатевої системи розходження в аеродинамічних силах, що виникають на різних елементах лопатевої системи (крилових лопатях або яких-небудь інших поверхнях), в моменти руху цих поверхонь за напрямком вітру і проти напрямку вітру, тобто розходження в аеродинамічному опорі, що виникає на елементах лопатевої системи.

Незважаючи на різноманіття теоретично можливих і практично реалізованих схем ВЕУ, сучасні вітроагрегати незалежно від рівня потужності є або пропелерними горизонтально-осьовими, або ортогональними вертикально-осьовими вітродвигунами (використовують підйомну силу на

лопатах), оскільки саме ці два типи вітродвигуна мають найбільш високі техніко-економічні показники.

Горизонтально-осьові вітродвигуни в порівнянні з вертикально-осьовими мають наступні переваги [45-47, 49]:

- можливість самостійного пуску без допоміжного приводу за рахунок зміни кута установки лопатей;
- більшого значення коефіцієнта використання енергії вітру;
- більшого значення коефіцієнта швидкохідності X_i , як наслідок цього, велику частоту обертання вітродвигуна, що дозволяє зменшити масогабаритні показники електромеханічного обладнання;
- виключення необхідності в кутовій передачі обертального моменту.

До основного недопіку пропелерних горизонтально-осьових двигунів слід віднести необхідність в пристрої орієнтації на напрямок вітру.

Ортогональні вертикально-осьові двигуни в порівнянні з пропелерними горизонтально-осьовими володіють такими перевагами [45-47, 49]:

- незалежністю функціонування від напрямку вітрового потоку, що усуває необхідність орієнтування вітродвигуна на цей напрямок;
- вертикальним валом, що дозволяє розмішувати електромеханічне обладнання біля основи ВЕУ, що знижує вимоги до міцності і жорсткості опори, не обмежує масогабаритні показники обладнання, спрощує технічне обслуговування та ремонт;
- можливістю кріплення лопатей до ротора в декількох місцях, що знижує вимоги по міцності і жорсткості лопаті;
- меншим значенням окружної швидкості лопаті за менших значень коефіцієнта швидкохідності;
- відносною простотою виготовлення лопатей.

До числа недоліків вертикально-осьових вітродвигунів слід віднести: менший коефіцієнт використання енергії вітру; меншу швидкохідність [49].

Розрізняють три класи вітроелектричних установок в залежності від призначення і умов їх роботи по відношенню до

енергосистеми, до якої вони підключені, і способу управління [49].

До класу *A* відносяться автономні одногенераторні вітроустановки, не підключені до енергосистеми для паралельної роботи. Потужність таких вітроустановок використовується для освітлення, електроживлення маяків, засобів зв'язку та ін. і, як правило, не перевищує 5 кВт. Якщо енергія таких ВЕУ використовується для опалювання, то їх потужність може досягати 20 кВт і більше. У автономних ВЕУ використовуються електрогенератори різних типів, найчастіше багато- полюсні генератори з постійними магнітами, класичні синхронні генератори з нестабілізованими і стабілізованими електричними параметрами на виході, асинхронні генератори з самозбудженням або допоміжним збудженням і т.п. Вартість таких ВЕУ багато в чому залежить від вибору системи управління електричним генератором. При простих електричних схемах напруга і частота (у разі генератора змінного струму) на виході генератора будуть нестабільними і нестандартними, проте енергія з успіхом може бути утилізована за допомогою випрямлячів, електричних акумуляторів і нагрівальних пристроїв. Потреби в якісній електроенергії із стабілізованими параметрами можна забезпечити застосуванням транзисторних або тиристорів перетворювачів (інверторів), що живляться від акумуляторів. У ряді випадків можна отримати якісні параметри усієї електроенергії, що виробляється, використовуючи або механічне управління лопатями вітроколеса в цілях стабілізації частоти його обертання, або електричне управління. При електричному управлінні постійність частоти обертання вітроколеса забезпечується зміною електричного навантаження на виході генератора (застосуванням баластного навантаження). При такому способі стабілізації частоти обертання енергія вітру використовується ефективніше, оскільки лопаті вітроколеса працюють в оптимальному режимі, а застосування сучасного електронного устаткування робить цей спосіб надійнішим і дешевшим, чим механічне управління [49].

Для ВЕУ класу *B* характерною є зразкова співмірність потужностей ВЕУ і дизель-генератора (ДЕС). Такий варіант звичайний для локальних енергосистем у віддалених областях.

У таких системах застосування ВЕУ дозволяє заощадити дизельне паливо. Управління генераторами і досягнення якості електроенергії, ВЕУ, що виробляється, можна домогтися тими ж технічними засобами, що і в системах класу А, проте для отримання найбільшого ефекту можливе застосування інших рішень, що ґрунтуються на застосуванні систем акумуляції енергії (електричні акумулятори, водневі перетворювачі-акумулятори, гідроакумулюючі станції та ін.) при зв'язаному управлінні ВЕУ, ДЕС і системами акумуляції [49].

Клас С. ВЕУ підключена до системи набагато більшої потужності, ніж сама ВЕУ, працює паралельно з цією енергосистемою і називається мережевою. Це область системної вітроенергетики, тобто область великомасштабного використання енергії вітру, яка може при відповідному розвитку впливати на стан енергетичного балансу усїєї країни. В цьому випадку доцільно використати ВЕУ великих одиничних потужностей (від 1 до 10 МВт), зібраних у вітроенергетичні станції (ВЕС). Для ВЕУ цього класу загострюються всі проблеми, оскільки ВЕУ даного класу мають великі геометричні розміри і масу, а, отже, і напружені режими роботи механічного устаткування. У цьому випадку електроенергія ВЕУ використовується безпосередньо або повністю подається в енергосистему. При слабкому вітрі і в безвітря споживачі забезпечуються електроенергією від енергосистеми. Найбільш дешевим і, можливо, безпечним типом вітроелектрогенератора в цьому випадку є асинхронний генератор змінного струму, підключений безпосередньо в енергосистему і ведений нею. При цьому частота обертання вітроколеса може не більше ніж на 10% перевищувати частоту, відповідну номінальній частоті електромережі. За даними статистики, основу сучасної вітроенергетики складають ВЕУ класу С, що працюють паралельно з енергосистемою. Їх частка за потужністю становить понад 95% від сумарної встановленої потужності ВЕУ. Паралельна робота з мережею дає можливість збільшувати одиничну потужність ВЕУ, знижувати вартість електроенергії, забезпечує необхідну якість енергії і надійність електропостачання споживачів [49].

Структурні схеми ВЕУ та режими їх роботи в класах *A*, *B* і *C* різні. При розгляді конструктивних схем розрізняють тип вітроподвигуна, спосіб управління ним у робочому і пусковому режимах. По кожному із зазначених елементів необхідно зробити оптимальний вибір на основі порівняльного аналізу можливих варіантів. Так, для установок класу *A* і *B*, що функціонують в автономному режимі або паралельно з традиційними джерелами енергії, внаслідок нелінійності і нестационарності вольтамперних характеристик ВЕУ потрібне використання спеціалізованих напівпровідникових перетворювачів, що забезпечують стандартні параметри якості електричної енергії [49].

Залежно від орієнтації осі обертання по відношенню до напрямку вітрового потоку вітротурбіни ВЕУ можуть бути з горизонтальною віссю обертання, паралельної напрямку вітрового потоку, і з вертикальною віссю обертання, перпендикулярною напрямку вітрового потоку [49].

В даний час найбільшого поширення набули горизонтально-осьові пропелерні ВЕУ, що використовують підйомну силу лопаті. Вони вважаються більш ефективними зважаючи на високий коефіцієнт використання енергії вітру $\eta = 0,35 \dots 0,45$, мають достатній пусковий момент і легко розкручуються, включаючись в роботу при швидкостях вітру $3 \dots 5$ м/с [49].

ВЕУ вертикально-осьового типу прості і надійні; зручність монтажу, обслуговування та ремонту обладнання обумовлюють їх мінімальну вартість. Це стосується насамперед ВЕУ малої і середньої потужності, що працюють в районах з високим вітровим потенціалом [49].

Для автономних ВЕУ вимоги і прийняті технічні рішення по структурі ВЕУ, що пред'являються можуть істотно відрізнитися від тих, які повинні працювати паралельно з енергосистемою. Це пояснюється тим, що в даному випадку необхідні стандартами значення напруги і частоти джерела енергії та їх стабільність не задаються енергосистемою, а повинні бути забезпечені системами автоматичного керування самою ВЕУ. Аналіз показує, що автономні ВЕУ можна розділити на дві групи за принципом отримання заданої частоти джерела [49]:

- зі стабілізацією частоти, одержуваної в генераторі ВЕУ;

- з перетворенням змінної частоти, одержуваної в генераторі, в задану постійну частоту.

Пропелерні ВЕУ середньої та великої потужності, як правило, повинні мати спеціальний механізм зміни кута повороту лопатей вітроколеса в процесі регулювання і систему автоматичного управління цим механізмом, а також (горизонтально-осьові установки) механізм орієнтації гондоли в напрямку вітру і систему управління ним.

Іншим об'єктом використання високих технологій є система управління ВЕУ. Сучасна потужна вітроенергетична установка повністю автоматизована з використанням найсучаснішої елементної бази, комп'ютерної техніки та програм. Всі основні операції здійснюються без участі людини.

До базових функцій системи управління слід віднести [49]:

- пуск і зупинка в нормальному режимі ВЕУ від датчика швидкості вітру;
- зупинка ВЕУ при аварійних режимах;
- зміна швидкості обертання (для ВЕУ з постійною або ступінчатою зміною швидкості обертання);
- включення в мережу і набір потужності;
- реєстрація та накопичення даних про швидкість вітру, потужності у виробленні електричної енергії в різних часових інтервалах: доба, місяць, рік;
- реєстрація та сигналізація про всі несправності;
- передача даних в центр управління енергосистеми, а в багатьох випадках і виробнику;
- установка (поворот) вітроколеса в задане положення по відношенню до напрямку вітру і розкручення кабелю.

На рис. 3.1 наведено загальний вигляд ВЕУ з горизонтальною віссю обертання.

Активні концентратори підключають до джерела електроенергії; вони можуть відновлювати і ретранслювати сигнали. Пасивні концентратори лише передають сигнал з одного порту на всі інші.

В основному у горизонтально-осьових ВЕУ вітрове колесо має крилоподібну форму і обертається у вертикальній площині, перпендикулярно напрямку вітру, а вісь вітроколеса паралельна

поток. Основною обертальною силою у коліс цього типу є підйомна сила лопатей.

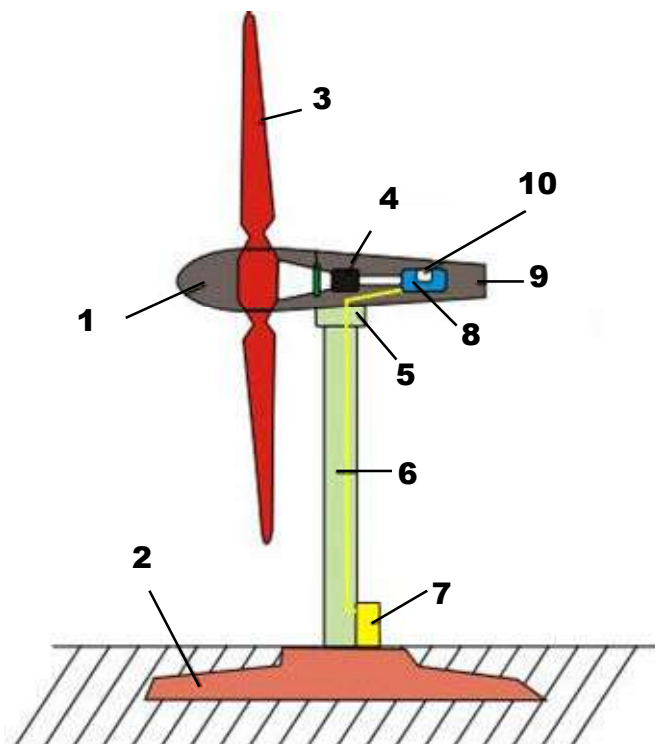


Рис. 3.1. Зовнішній вигляд ВЕУ з горизонтальною віссю обертання:
*1 – хаб (концентратор та ротор); 2 – фундамент; 3 – лопаті та вітроколесо;
4 – гальма; 5 – система орієнтації; 6 – башта; 7 – під’єднання ліній передачі
енергії до споживача; 8 – генератор; 9 – гондола; 10 – система керування*

ВЕУ з горизонтальною віссю обертання класифікують за кількістю лопатей у вітроколеса [45-47, 49]: однолопатево; дволопатево; трилопатево; багатолопатево; велосипедного типу.

На рис. 3.2 показаний зовнішній вигляд ВЕУ з вертикальною віссю обертання.

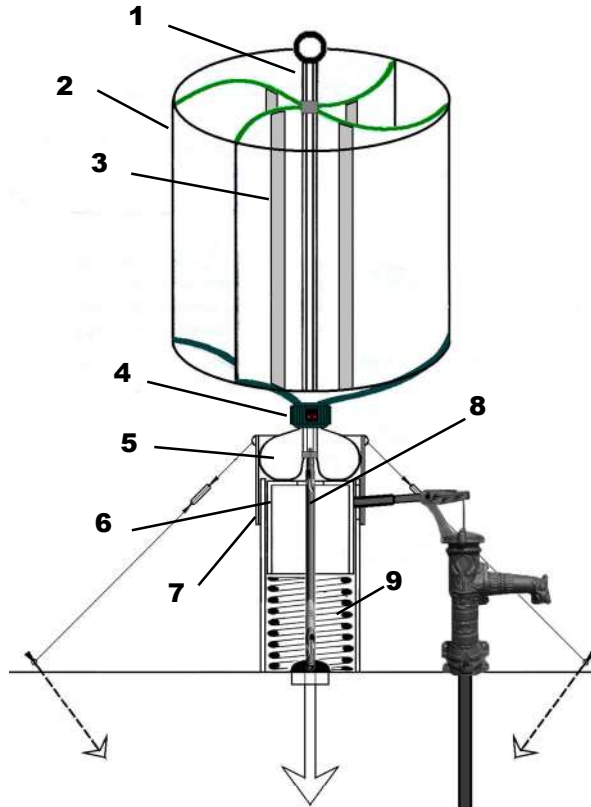


Рис. 3.2. Зовнішній вигляд ВЕУ з вертикальною віссю обертання:

1 – вісь; 2 – лопаті; 3 – клапани; 4 – генератор; 5 – блок; 6 – поршень;

7 – циліндр; 8 – карданний вал; 9 – пружина

Вертикально-осьовий ротор має ряд переваг в порівнянні з горизонтально-осьовим ротором [49]:

- незалежність функціонування від напрямку поширення вітрового потоку усуває необхідність установки додаткових механізмів орієнтації на вітер;

- наявність вертикального вала, що дозволяє розміщувати електромеханічне обладнання в основі ВЕУ, що знижує вимоги до міцності і жорсткості опори і не обмежує масогабаритні показники обладнання;

- зручність механічного обслуговування і ремонту;
- рівномірне геометричне збільшення масштабів вертикально-осьового ротора, який чинить незначний вплив на міцнісні характеристики;

- можливість кріплення лопатей в декількох точках;
- відносно просте виготовлення лопатей.

У загальному випадку для вітродвигуна в якості активної поверхні, що сприймає енергію вітрового потоку, в практиці використовують такі основні види роторів з вертикальною віссю [49]:

- – ротор Дар'є;
- – ротор Савоніуса;
- – ротор ортогонального типу (ротор Еванса);
- – ротор карусельного типу, у якого неробочі лопаті або прикриваються ширмою або йдуть ребром проти вітру (ротор Масгрува).

На роботу ВЕУ з вертикально-осьовим ротором, так само, як і у ВЕУ з горизонтально-осьовим ротором, впливають, хоча і меншою мірою, аеродинамічна тінь опори і взаємне затемнення лопатей [45-47, 49].

Ротор Дар'є. У конструкції ротора французького інженера (Darrieus) обертовий момент створюється підйомної силою. Ротор являє собою дві або три тонких вигнутих лопаті, що мають аеродинамічний профіль. Підйомна сила максимальна коли лопать перетинає набігаючий повітряний потік і мінімальна коли лопать рухається паралельно потоку [45-47, 49].

Таким чином за один оборот лопать двічі піддається максимальному і мініимальному моменту, що і є причиною більшості утомних руйнувань.

Ротор Дар'є почати обертатися самостійно не може, тому для його запуску використовується або генератор в режимі двигуна, або спеціальний двигун. Необхідність мати незалежне джерело живлення для запуску істотно знижує можливості поширення даного типу ВЕУ [45-47, 49].

Ротор Савоніуса. Це вітроколесо також обертається силою опору. Його лопаті відрізняються простотою і дешевизною. Перше вітроколесо автора (1922 рік) винаходу фінського

інженера Савоніуса (SI Savonius) взагалі представляло собою розрізану на дві частини бочку, посажену на вісь. Обертаючий момент створюється завдяки різниці моментів опору, що надаються повітряному потоку увігнутою і опуклою щодо нього лопатями вітру. Вітроколесо має велике геометричне заповнення, а значить і більший початковий момент, що необхідно для водопідйомних механізмів [45-47, 49].

Ротор Еванса або Н-ротор. Обертовий момент створюється також підйомною силою двох вертикально розташованих лопатей з аеродинамічним профілем. Для його запуску також потрібна розкрутка, а для зупинки використовується поворот лопатей на 90 градусів навколо вертикальної осі.

Ротор карусельного типу і ротор Масгрува. Обертовий момент створюється також підйомною силою. У першому випадку для створення обертового моменту половина ротора (неробочі лопаті) перекриваються ширмою (заслінкою). У другому випадку (ротор Масгрува), дві лопаті ротора, мають аеродинамічний профіль, в початковий стартовий момент розташовані вертикально. У міру збільшення швидкості вітру лопаті починають складатися, зменшуючи підйомну силу за рахунок зменшення захоплюваної площі. І при максимальній розрахунковій швидкості вітру вітроколесо зупиняється при повному складанні лопатей. Як і ротор Дар'є, цьому ротору необхідно дати початкове обертання [45-47, 49].

Схеми підключення ВЕУ.

Автономна вітроустановка

Автономна ВЕУ – оптимальне рішення для енергозабезпечення віддалених об'єктів від традиційної мережі, рис. 3.3. За умови повної відсутності електромережі є найбільш виправданим джерелом (порівняно з бензо- і дизель-генераторами), не вимагає постійного контролю та обслуговування. Знаходить широке застосування для енергозабезпечення приватних будинків, баз відпочинку, пансіонатів в гористій і степовій місцевості, індивідуальних споживачів (фермерів, садівників, дачників, мисливців, рибалок), а також навігаційних, метеорологічних та інших постів безперебійним харчуванням в польових умовах [50].

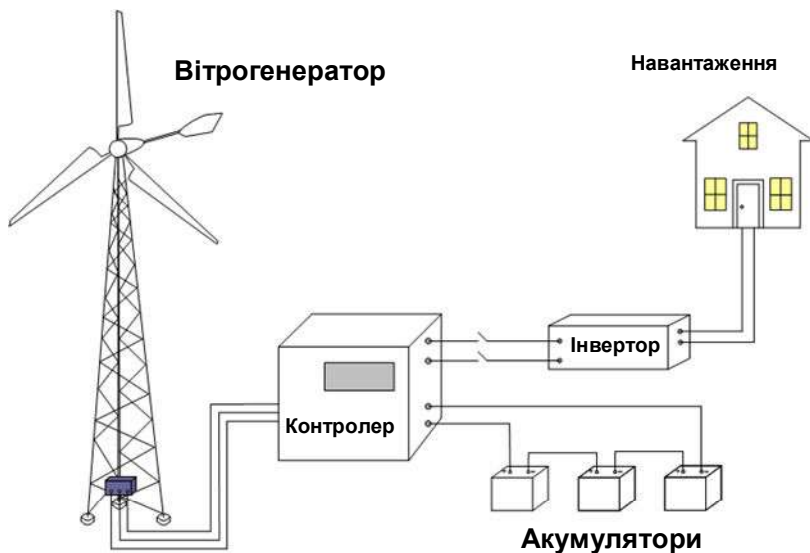


Рис. 3.3. Схема підключення автономної вітроустановки

Вітро-сонячна (гібридна) установка

Енергії вітру і сонця можуть відмінно доповнювати один одного (рис. 3.4). Так звані гібридні системи електропостачання особливо ефективні для цілорічного автономного електропостачання. Ці системи являють собою станції на базі вітрогенераторів і фотоелектричних модулів приєднаних до єдиної енергосистеми. Продуктивність фотоелектричних батарей досить висока влітку і відносно низька взимку. У свою чергу, забезпечення електроенергією, виробленою за рахунок енергії вітру, в літній час є проблематичним через часті безвітряних днів [50].

Вітроустановка з підключенням до мережі

Вітрогенератор з накопиченням електроенергії в акумуляторах може працювати і паралельно з мережею (рис. 3.5). Паралельна робота здійснюється за допомогою пристрою автоматичного введення резерву (АВР).

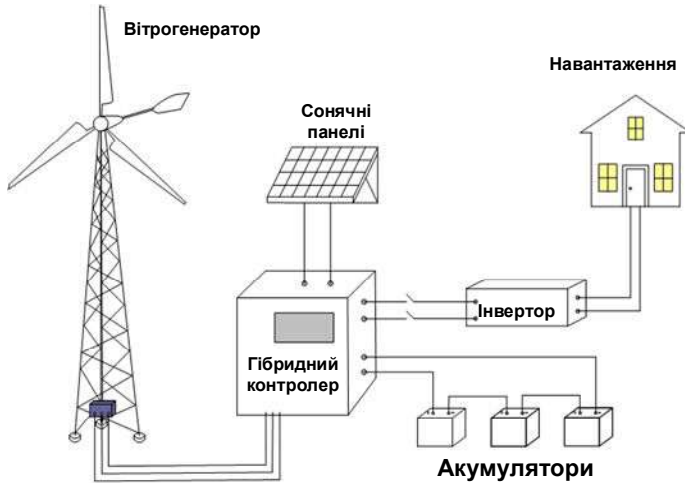


Рис. 3.4. Схема підключення гібридної установки

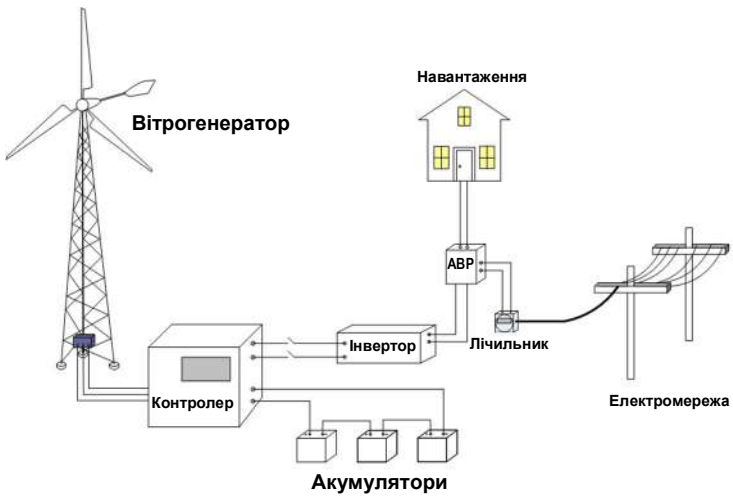


Рис. 3.5. Схема підключення ВЕУ з підключенням до мережі

АВР дозволяє перемкнути живлення об'єкту за відсутності вітру і повному розряді акумуляторів на електромережу або навпаки, перемикає навантаження на акумуляторні батареї при втраті живлення електромережі. Пріоритет може встановлюватися в ручну залежно від специфіки об'єкта [50].

Таке рішення знаходить широке застосування на об'єктах, які підвладні частим відключенням від електромережі, або коли якість електричної енергії не задовольняє споживачів. Система так само може бути встановлена для збільшення встановленої потужності і для економії електроенергії [50].

Мережева вітроустановка.

Мережева станція призначена для паралельної роботи з промисловою мережею 220 або 380В/50 Гц (рис. 3.6). У якості «безмежного» акумулятора в цій системі є традиційна електрична мережа.

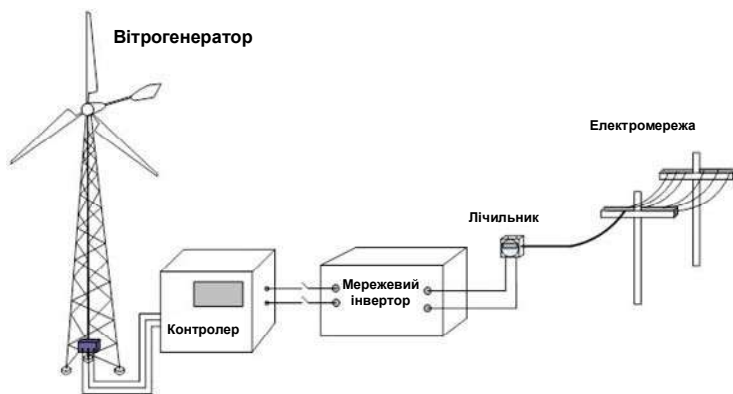


Рис. 3.6. Схема підключення мережевої ВЕУ

В умовах надлишку виробленої електроенергії мережевий інвертор дозволяє віддавати її в мережу, а в разі відсутності вітру використовувати енергію електромережі. Перемикання режимів здійснюється в автоматичному режимі. Контроль вироблення і споживання враховується спеціальними вузлами обліку [50].

За такою схемою працюють найбільш стрімко зростаючі станції, які дозволяють продавати електроенергію в мережу по так званому «зеленому тарифу» [50].

Останнім часом стало можливим об'єднати автономну і мережеву станцію за допомогою гібридного інвертора. Перевага таких систем в тому, що крім безпосереднього живлення навантаження ми маємо резерв в акумуляторних батареях який може використовуватися по заданих пріоритетах. Перед установкою ВЕУ обов'язково потрібно оцінити вітровий потенціал, за результатами якого приймати рішення про доцільність установки [50].

3.3. Розрахунок основних показників роботи вітроелектричної установки з горизонтальною віссю обертання

Вітроенергетика – галузь енергетики, яка пов'язана з розробкою методів та засобів перетворення енергії вітру в механічну, теплову та електричну енергію.

Вітроенергетична установка – комплекс взаємопов'язаного обладнання та споруд, призначений для перетворення енергії вітру в інші види енергії.

Вітроагрегат – система, яка складається з вітродвигуна, трансмісії та приводної машини (генератора, насоса та ін.).

Вітроелектрична установка – установка, яка призначена для перетворення енергії вітру в електричну енергію.

Автономна ВЕУ – комплекс обладнання, який складається з ВЕУ, системи керування та пристроїв навантаження різного призначення (для електронагріву, опріснення води, заряду акумуляторних батарей та ін.), який зберігає працездатність в робочому діапазоні швидкостей вітру без зв'язку з електричною мережею.

Вітроколесо (ВК) – пристрій, який сприймає вітровий потік та перетворює енергію вітру в механічну енергію обертання вітроколеса.

Вітродвигун – пристрій для перетворення енергії вітру в механічну енергію обертання ВК.

Діаметр ВК – діаметр кола, який описується найбільш віддаленими від осі обертання ВК частинами лопатей.

Площа, яку обмітає ВК – геометрична проекція площі ВК, яке обертається, на площину, перпендикулярну швидкості вітру.

Лопать ВК – складова частина ВК, яка створює крутний момент.

Енергетична характеристика ВЕУ – залежність вихідної потужності ВЕУ від швидкості вітру.

Номинальна потужність ВЕУ – максимальне значення вихідної потужності.

Коефіцієнт корисної дії ВЕУ – відношення корисної енергії, яка генерується ВЕУ, до повної енергії вітру, яка проходить через площу поверхні, яку обмітає ВК.

Мінімальна робоча швидкість вітру – мінімальна швидкість вітру, при якій забезпечується робота вітроагрегату з номінальною частотою обертання на холостому ходу.

Розрахункова швидкість вітру – мінімальна швидкість вітру, при якій Вітроагрегат починає розвивати номінальну потужність.

Швидкохідність ВК – відношення швидкості кінця лопатей до швидкості вітру.

В більшості країн широке розповсюдження отримали горизонтально-осьові крильчаті ВЕУ. На рис.3.7 наведено зовнішній вигляд горизонтально-осьової ВЕУ. На рис. 3.8 наведено вигляд головки ВЕУ.

Принцип дії ВЕУ полягає в перетворенні кінетичної енергії вітру в механічну енергію з подальшим її перетворенням в електричну (за допомогою генератора). Вітровий потік впливає на лопаті ротора, створюючи крутний момент, який передається на ротор електричного генератора.

Основні агрегати з'єднані між собою центральною рамою, яка складається з пластин 21. Безпосередньо на рамі встановлюють вісь поворотного пристрою 28, вісь генератора 15, хвостову балку 23, гальмівний важіль 18 та випрямляч 19.

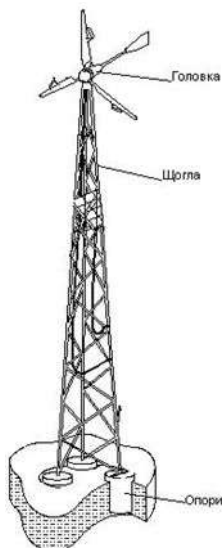


Рис. 3.7. Зовнішній вигляд горизонтально-осьової ВЕУ

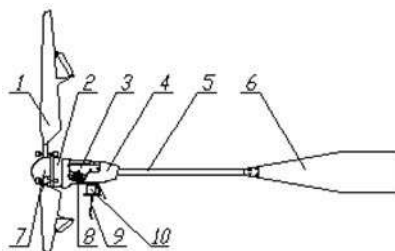


Рис. 3.8. Головка трьохлопатевої горизонтально-осьової ВЕУ:
 1 – турбіна; 2 – генератор;
 3 – центральна рама; 4 – кожух;
 5 – хвостова балка; 6 – кіль; 7 – кок турбіни;
 8 – випрямляч; 9 – трос флюгерування турбіни; 10 – опорно-поворотний пристрій

Генератор представляє собою торцеву трьохфазну багатополосну електричну машину на постійних магнітах. Статор, який складається з магнітопровода з обмотками 12 та корпусу 13 нерухомо закріплений на вісі 15. Ротор складається з магнітопровода 10, магнітів 11 та корпусу 9 і 14.

Турбіна складається з лопатей 8, маточини, яку з'єднано з ротором генератора 9, та синхронізатора. Керування турбіною здійснюється шляхом зміни кроку. Для цього лопаті повертають навколо вісі 6, які зафіксовано за допомогою фіксаторів 3. Синхронізація повороту лопатей здійснюється за допомогою секторів 5 та шестерні 4.

Опорно-поворотний пристрій – необхідний для закріплення ВЕУ на щоглі, забезпечення її орієнтації за вітром та передачі електроенергії з головки ВЕУ до нерухомої щогли. Цей пристрій складається з корпусу 27, вісі 28, струмознімача 26.

Випрямляч 19 призначено для випрямлення струму, який генерується генератором.

Кіль призначено для повороту ВЕУ навколо вертикальної вісі, згідно напрямлення вітру.

Кожух – захищає вузли ВЕУ від опадів, пилу та сонячних променів.

Технічні характеристики ВЕУ, які наводяться виробниками, не завжди дають змогу визначити кількість електроенергії, яку буде генерувати ВЕУ, особливо в умовах стохастичного характеру зміни вітрового потоку. Тому виникає необхідність розрахувати показники енергетичної ефективності роботи ВЕУ з урахуванням метеорологічних умов певної місцевості.

Основними показниками роботи горизонтально-осьової ВЕУ є [44-47, 49, 51]:

- швидкість вітру на висоті щогли ВЕУ;
- площа поверхні, яку обмітає вітроколесо з радіусом R ;
- потужність вітрового потоку, який проходить за 1 с

через поперечний переріз площі поверхні, яку обмітає ВК;

- коефіцієнт використання енергії вітру в номінальному режимі роботи;

- швидкохідність;
- вихідна потужність генератора при різних швидкостях

вітру;

- крутний момент;
- максимальне навантаження, яке діє на ВК;
- потужність ВК при різних швидкостях вітру;
- потужність ВЕУ при різних швидкостях вітру.

Вертикальний профіль вітру – залежність швидкості вітру за висотою в приземному шарі, яка визначається для конкретної місцевості на основі зміни швидкості вітру на різній висоті відносно земної поверхні.

Для прикладу розрахунку основних показників горизонтально-осьової ВЕУ було використано ВЕУ-08.

В табл. 3.1 наведено її технічні характеристики.

Таблиця 3.1. Технічні характеристики ВЕУ-08

<i>Основні характеристики</i>	
Номінальна потужність, Вт	800
Діаметр вітроколеса, м	3,1
Номінальна частота обертів вітроколеса, об/хв	310
Кількість лопатей, шт.	3
Номінальна напруга генератора, В	24
Рекомендована висота щогли, м	11-17
Коефіцієнт потужності вітроколеса	0,45
ККД генератора	0,85
<i>Робочий діапазон швидкостей вітру, м/с</i>	
Стартова (початок роботи)	2,5
Номінальна (генератор розвиває потужність 800 Вт)	8
Максимальна експлуатаційна	50

Порядок розрахунку наступний [44, 51-54].

1. *Збір даних про швидкість вітру в конкретній місцевості.*

Ці дані можна знайти в довідниках. Візьмемо для розрахунку дані по Кіровоградському регіону, зібрані протягом року.

2. *Визначення швидкості вітру на висоті головки ВЕУ.*

Зазвичай головки ВЕУ, розташовані на висоті від 5 до 50 м. Збільшення енергетичного потенціалу з висотою пояснюється зростанням швидкості вітру, яка в приземному шарі змінюється за степеневим законом:

$$V = V_{\Phi} \cdot \left(\frac{h}{h_{\Phi}} \right)^{\alpha}, \quad (3.4)$$

де V та V_{Φ} – швидкість вітру на розсіяній висоті h та на стандартній висоті флюгера h_{Φ} ;

α – показник степені, який залежить від швидкості вітру.

Для Кіровоградського регіону $\alpha = 0,2$. Згідно даних виробника ВЕУ-08 (див. табл. 3.1) висота щогли даної установки знаходиться в межах від 11 м до 17 м. При розрахунку будемо вважати, що головка ВЕУ-08 розташована на висоті щогли $h = 17$ м.

За допомогою виразу (3.4) було розраховано швидкості вітру на висоті щогли ВЕУ-08, наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2. Порівняльна характеристика швидкості вітру на різних висотах

h=10	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
h=17	0	1,1	2,2	3,3	4,5	5,6	6,7	7,8	8,9	10	11,1	12,2	13,3	14,5

3. Визначення енергетичного потенціалу вітрового потоку.

Енергетичний потенціал визначається рівнем питомої потужності вітрового потоку, тобто потужністю, віднесеною до 1 м^2 площі та перпендикулярній напрямку вітру:

$$N(V) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^3, \quad (3.5)$$

де ρ – густина повітря, кг/м^3 ; V – швидкість вітру, м/с .

В середньому густина повітря становить $\rho = 1,3 \text{ кг/м}^3$, але вона відчутно залежить від температури та тиску.

За допомогою виразу (3.5) було отримано залежність енергетичного потенціалу вітрового потоку $N(V)$ від швидкості вітру V , представлена на рис. 3.9.

4. Визначення потужності потоку P_{Π} , який проходить за 1 с через поперечний переріз, площею F .

Вона визначається за допомогою формули:

$$P_{\Pi} = \frac{\rho \cdot F \cdot V^3}{2}, \quad (3.6)$$

де $F = \pi \cdot R^2$ – площа поверхні, яку обмітає ВК з радіусом R , m^2 .
 Для обраної установки $F = 7,54 m^2$.

Залежність потужності вітрового потоку P_{Π} від швидкості вітру V , наведено на рис. 3.10.

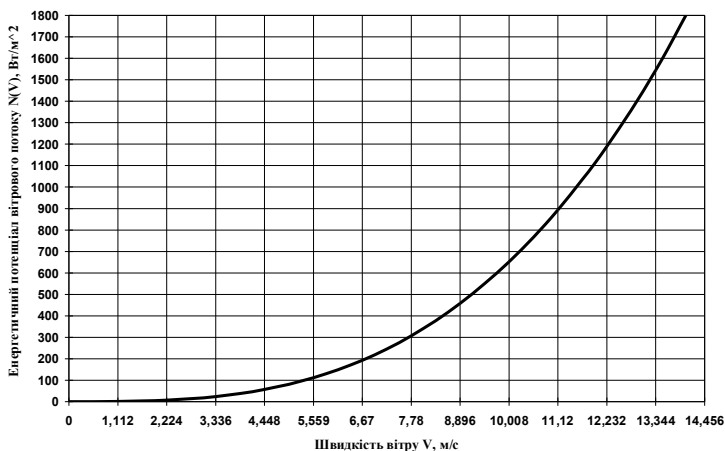


Рис. 3.9. Залежність енергетичного потенціалу вітрового потоку від швидкості вітру в Кіровоградському регіоні

5. *Визначення коефіцієнту використання енергії вітру (або коефіцієнта потужності ВЕУ) ξ .*

Цей параметр характеризує ефективність використання ВК енергії вітру. Він залежить від типу вітродвигуна та режиму його роботи. Його знаходять за допомогою формули:

$$\xi = \frac{P_{BK}}{P_{\Pi}}, \quad (3.7)$$

де P_{BK} – потужність вітроколеса, Вт.

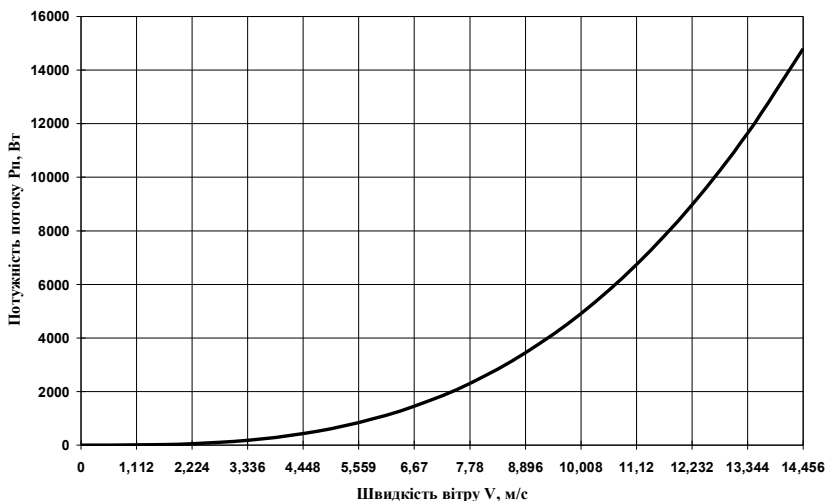


Рис. 3.10. Залежність потужності вітрового потоку від швидкості вітру в Кіровоградському регіоні

Максимальна енергія, яку можна отримати від ідеального ВК складає 59% від кінетичної енергії повітряного потоку (згідно закону Бетца-Жуковського), тобто $\zeta_{max} = 0,59$. Для сучасних горизонтально-осьових ВЕУ коефіцієнт потужності зазвичай знаходиться в діапазоні 0,41-0,49.

Згідно даних виробника ВЕУ-08 (див. табл. 3.1), $\zeta = 0,45$.

6. *Визначення швидкохідності вітроколеса Z.*

Швидкохідність ВК визначається за допомогою виразу:

$$Z = \frac{\omega \cdot R}{V}, \quad (3.8)$$

де ω – швидкість обертання вітроколеса, рад/с. Також Z можна визначити за допомогою таблиці, наведеної в джерелі [8]. Згідно цієї таблиці приймаємо $Z = 2$.

7. *Визначення вихідної потужності генератора ВЕУ.*

Вихідна потужність генератора ВЕУ визначається за допомогою формули:

$$P_{ген}(V) = P_{ном} \cdot \bar{P}_{ген}(V), \quad (3.9)$$

де $P_{ном}$ – номінальна потужність генератора (зазвичай дорівнює встановленій потужності), Вт;

$\bar{P}_{ген}(V)$ – коефіцієнт вихідної потужності генератора.

Крім того, для виразу (3.9) існують такі умови:

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{P}_{ген}(V) = 0, \quad \text{при } V < V_{min} \text{ та } V > V_{max}; \\ \bar{P}_{ген}(V) = \bar{P}_{ген}(V), \quad \text{при } V_{min} \leq V \leq V_{max}; \\ \bar{P}_{ген}(V) = 1, \quad \text{при } V_{ном} \leq V \leq V_{max} \end{array} \right. \quad (3.10)$$

Згідно даних табл. 3.1, умови (3.10) можна записати в наступному вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{P}_{ген}(V) = 0, \quad \text{при } V < 2.5 \text{ та } V > 50; \\ \bar{P}_{ген}(V) = \bar{P}_{ген}(V), \quad \text{при } 2.5 \leq V \leq 50; \\ \bar{P}_{ген}(V) = 1, \quad \text{при } 8 \leq V \leq 50 \end{array} \right. \quad (3.11)$$

Коефіцієнт вихідної потужності генератора $\bar{P}_{ген}(V)$ розраховують за допомогою виразу:

$$\bar{P}_{ген}(V) = \frac{N(V)}{P_{ген.пит}} \cdot \xi \cdot \eta, \quad (3.12)$$

де $N(V)$ – питома потужність вітрового потоку, Вт/м²;

$P_{ген.пит}$ – питома потужність генератора, Вт/м²;

η – ККД перетворення механічної енергії вітроколесом в електричну, або ККД генератора (зазвичай $\eta = 0,80-0,90$).

Питома потужність генератора знаходять за допомогою співвідношення:

$$P_{ген.пит} = \frac{P_{ном}}{F}, \quad (3.13)$$

Підставивши відповідні значення у вирази (3.9), (3.12), (3.13) та врахувавши умови (3.11), одержимо залежність вихідної потужності генератора ВЕУ-08 від швидкості вітру, яка наведена на рис. 3.11.

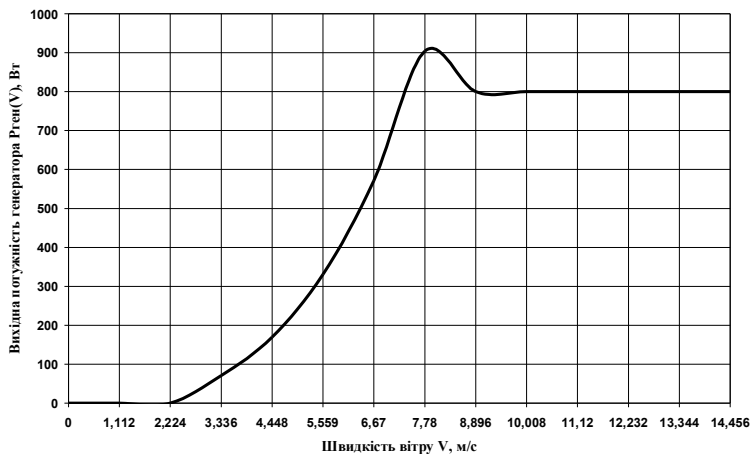


Рис. 3.11. Залежність вихідної потужності генератора ВЕУ-08 від швидкості вітру в Кіровоградському регіоні

8. Визначення крутного моменту M на вихідному валу ВК.

Вираз для знаходження для знаходження крутного моменту, має наступний вигляд:

$$M = \frac{\xi \cdot \rho \cdot F \cdot R \cdot V^2}{2 \cdot Z}, \quad (3.14)$$

9. Визначення максимального крутного моменту M_{max} .

Максимальний крутний момент розраховують за допомогою наступного виразу:

$$M_{max} = W_{max} \cdot R, \quad (3.15)$$

де $W_{max} = \frac{\rho \cdot F \cdot V^2}{2}$ – максимальне навантаження, яке діє на ВК.

На рис. (3.12) наведено залежність максимального крутного моменту M_{max} ВК від швидкості вітру.

10. *Визначення потужності вітроколеса P_{BK} .*

Вона визначається за допомогою наступного виразу:

$$P_{BK} = \xi \cdot P_{П}, \quad (3.16)$$

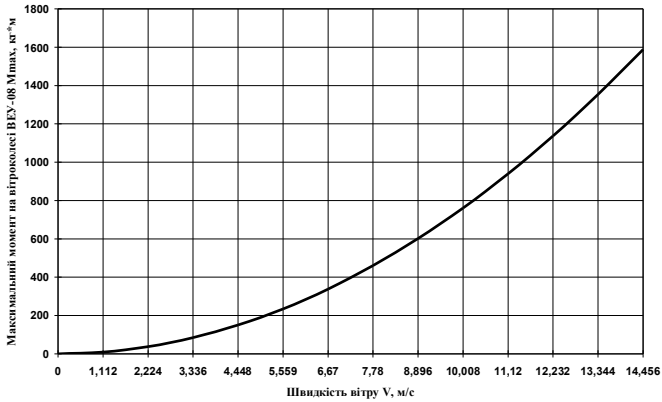


Рис. 3.12. Залежність максимального крутного моменту вітроколеса BEY-08 від швидкості вітру в Кіровоградському регіоні

11. *Визначення потужності горизонтально-осьової BEY.*

Потужність горизонтально-осьової BEY розраховують за наступною формулою:

$$P_{BEY} = \eta \cdot P_{BK}, \quad (3.17)$$

Врахувавши вираз (3.6), остання формула може бути записана у вигляді:

$$P_{BEY} = \frac{1}{2} \cdot \eta \cdot \rho \cdot \xi \cdot F \cdot V^3, \quad (3.18)$$

На рис. 3.13 наведено залежність потужності P_{BEY} BEY-08 від швидкості вітру V .

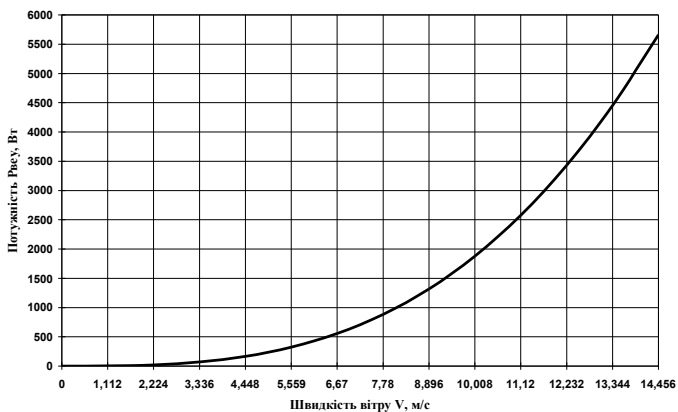


Рис. 3.13. Залежність потужності ВЕУ-08 від швидкості вітру в Кіровоградському регіоні

3.4. Питання для самоконтролю

1. Дайте визначення наступним поняттям: вітроагрегат, вітроенергетична установка, вітроелектрична установка? В чому головна відмінність між ними?
2. Переваги та недоліки горизонтально-осьової ВЕУ та ВЕУ з вертикальною віссю обертання?
3. Конструкція горизонтально-осьової ВЕУ?
4. Принцип дії горизонтально-осьової ВЕУ?
5. Різновиди схем підключення вітроустановок?
6. Що називають номінальною, мінімальною та розрахунковою швидкістю вітру?
7. Що називають вертикальним профілем вітру?
8. За яким законом змінюється швидкість вітру в приземному шарі?
9. Назвіть основні показники енергоефективності горизонтально-осьової ВЕУ?

ТЕМА 4

КОМПЛЕКСНЕ ВИКОРИСТАННЯ ТРАДИЦІЙНИХ ТА ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

4.1. Вибір джерел енергії, які доцільно використовувати для енергозабезпечення споживачів

Жодне з ВДЕ не є універсальним, придатним, для використання в будь-якій ситуації, в будь-якому регіоні, в будь-яку пору. Все це визначається конкретними географічними та кліматичними умовами, потребами споживача, типом навантаження, екологічними обмеженнями тощо.

Оскільки на даному етапі приймати рішення доводиться в умовах невизначеності, то доцільно використати методи, які дозволяють приймати рішення саме в таких умовах.

Пошук оптимальних комбінацій енергетичних потоків слід виконувати окремо для кожного регіону. При цьому використовують методи теорії прийняття рішень, теорії імовірності, динамічного програмування, дослідження операцій [55-57].

Для пошуку оптимальних комбінацій енергетичних потоків від різних автономних джерел енергії, скористаймося методами теорії прийняття рішень в умовах невизначеності [55-58], в яких дані для прийняття рішення звичайно задаються у вигляді матриці, рядки якої відповідають можливим діям (альтернативним рішенням), а стовбці – можливим станам системи.

Тобто, в якості альтернативних рішень:

$A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n$ – можливі комбінації енергетичних потоків.

Факторами, що впливають на прийняття рішення при виборі альтернатив є множина $A\{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_j, \dots, \lambda_m\}$.

Кожній дії A_i і кожному стану λ_j відповідає очікуваний результат $U_{ij}(A_i, \lambda_j)$, $i = \overline{1, n}$; $j = \overline{1, m}$, що визначає перевагу даної дії.

Таблиця 4.1. Види автономних джерел енергії, їх комбінації та відповідні до них альтернативи

№ п.п.	Альтернативи	Енергетичні потоки
1	A ₁	енергія сонця
2	A ₂	енергія вітру
3	A ₃	гідроенергія
4	A ₄	біоенергія
5	A ₅	геотермальна енергія
6	A ₆	установка з ДВЗ
7	A ₇	енергія сонця + енергія вітру
8	A ₈	енергія сонця + гідроенергія
9	A ₉	енергія сонця + біоенергія
10	A ₁₀	енергія сонця + геотермальна енергія
11	A ₁₁	енергія сонця + установка з ДВЗ
12	A ₁₂	енергія вітру + гідроенергія
13	A ₁₃	енергія вітру + біоенергія
14	A ₁₄	енергія вітру + геотермальна енергія
15	A ₁₅	енергія вітру + установка з ДВЗ
16	A ₁₆	гідроенергія + біоенергія
17	A ₁₇	гідроенергія + геотермальна енергія
18	A ₁₈	гідроенергія + установка з ДВЗ
19	A ₁₉	біоенергія + геотермальна енергія
20	A ₂₀	біоенергія + установка з ДВЗ
21	A ₂₁	геотермальна енергія + установка з ДВЗ
22	A ₂₂	енергія сонця + енергія вітру + гідроенергія
23	A ₂₃	енергія сонця + енергія вітру + біоенергія
24	A ₂₄	енергія сонця + енергія вітру + геотермальна енергія
25	A ₂₅	енергія сонця + енергія вітру + установка з ДВЗ
26	A ₂₆	енергія сонця + гідроенергія + біоенергія
27	A ₂₇	енергія сонця + гідроенергія + геотермальна енергія
28	A ₂₈	енергія сонця + гідроенергія + установка з ДВЗ
29	A ₂₉	енергія сонця + біоенергія + геотермальна енергія
30	A ₃₀	енергія сонця + біоенергія + установка з ДВЗ
31	A ₃₁	енергія сонця + геотермальна енергія + установка з ДВЗ
32	A ₃₂	енергія вітру + гідроенергія + біоенергія
33	A ₃₃	енергія вітру + гідроенергія + геотермальна енергія
34	A ₃₄	енергія вітру + гідроенергія + установка з ДВЗ
35	A ₃₅	енергія вітру + біоенергія + геотермальна енергія
36	A ₃₆	енергія вітру + біоенергія + установка з ДВЗ
37	A ₃₇	енергія вітру + геотермальна енергія + установка з ДВЗ
38	A ₃₈	гідроенергія + біоенергія + геотермальна енергія
39	A ₃₉	гідроенергія + біоенергія + установка з ДВЗ
40	A ₄₀	гідроенергія + геотермальна енергія + установка з ДВЗ
41	A ₄₁	біоенергія + геотермальна енергія + установка з ДВЗ

Очікувані результати матриці $\{U_{ij}\}$ формуються за 10-бальною приведеною шкалою [58]:

1 – найгірший результат

10 – найкращий результат

В [59-61] наведено методичку пошуку оптимальних рішень щодо комбінацій енергетичних потоків для електропостачання фермерського господарства. В якості альтернативних рішень було обрано види автономних джерел енергії та їх комбінації, які наведені в табл. 4.1.

Загалом було прийнято 41 альтернативу, які являють собою всі можливі комбінації енергетичних потоків для максимальної кількості енергоустановок, яка дорівнює 3. Це пов'язано із значними матеріальними витратами на придбання енергетичних установок та з обмеженням території, на якій будуть розташовані дані енергетичні установки.

В якості факторів, які впливають на прийняття рішення, було обрано:

λ_1 – екологічна чистота;

λ_2 – безкоштовність енергії;

λ_3 – територіальна розповсюдженість;

λ_4 – залежність від погодних умов;

λ_5 – тривалість існування на перспективу.

На основі експертних даних [3-11, 23-34] було побудовано матрицю рішень, яка наведена в табл. 4.2.

Оптимальне рішення знаходимо за допомогою відомих критеріїв прийняття рішень в умовах невизначеності: Вальда, Лапласа, Гурвіца, Севіджа [55-58].

За найбільш обережним, максимінним критерієм Вальда, що дає гарантований результат і повністю виключає ризик прийняття рішення – обирається найкращий з найгірших результатів рішення. У застосуванні до наведеної матриці рішень (див. табл. 4.2) має вигляд:

$$A_3^* = A_4^* = A_5^* = A_9^* = A_{11}^* = A_{25}^* = A_{26}^* = \max_i \min_j \{U_{ij}(A_i, \lambda_j)\} =, \quad (4.1)$$

$$= \max_i \left\{ \begin{array}{l} 4,5,6,6,6,5,5,4,6,4,6,4,4,4,5,4,3,5,5,4,4, \\ 5,5,5,6,6,4,4,5,4,5,5,4,5,5,4,5,4,3,2 \end{array} \right\} = 6$$

де $A_i, i = \overline{1,41}$ - можливі комбінації енергетичних потоків;

$\lambda_j, j = \overline{1,5}$ - фактори, що впливають на вибір альтернативних рішень.

Згідно цього критерію, оптимальними енергетичними потоками є альтернативи $A_3, A_4, A_5, A_9, A_{11}, A_{25}, A_{26}$.

Застосування методу Лапласа, що є критерієм недостатнього обґрунтування, тобто стани $A\{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_j, \dots, \lambda_m\}$ мають рівні імовірності, доцільне у випадках, коли рішення приймається багато разів.

Розглядається прийняття рішення в умовах ризику та обирається дія A_i , яка дає найбільший очікуваний вигравш, тобто:

$$A_2^* = A_7^* = \max \left\{ \frac{1}{n} \sum U_{ij}(A_i, \lambda_j) \right\} =, \quad (4.2)$$

$$= \max_i \left\{ \begin{array}{l} 8,8;9;8;7,6;7,4;7,9;8;7,6;7,2;7,2;7,8;7;6,8;6,8;7;7;6,6;6,2;5,8;6,2; \\ 8;7,2;7,6;7,4;7,2;7;6,4;6;5,6;6,8;6,6;7;6,2;6,6;6;6,2;6;5,6;5,4;4,8 \end{array} \right\} = 9$$

де $n = 5$ – кількість факторів, що впливають на прийняття рішення при виборі альтернатив.

Отриманий результат відповідає альтернативам A_2 та A_7 , результат альтернативи A_1 , який становить 8,8 – близьке значення до 9, отже його також можна прийняти.

Таблиця 4.2. Матриця рішень для пошуку оптимальних комбінацій енергетичних потоків від різних джерел енергії

Альтернативи	ФАКТОРИ					КРИТЕРІЇ			
	Екологічна чистота	Безкоштовність енергії	Територіальна розповсюдженість	Залежність від погодних умов	Тривалість існування на перспективу	Вальда	Лапласа	Гурвіца	Севіджа
	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5				
<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>A₁</i>	10	10	10	4	10	4	8,8	6	6
<i>A₂</i>	10	10	10	5	10	5	9	7,5	5
<i>A₃</i>	8	10	8	6	8	6	8	6,5	4
<i>A₄</i>	6	8	9	8	7	6	7,6	7,5	3
<i>A₅</i>	7	10	7	7	6	6	7,4	7	4
<i>A₆</i>	5	6	10	9	5	5	7	7,5	5
<i>A₇</i>	10	10	10	5	10	5	9	7,5	5
<i>A₈</i>	9	10	8	4	9	4	8	7	6
<i>A₉</i>	7	8	9	6	8	6	7,6	7,5	3
<i>A₁₀</i>	8	10	7	4	7	4	7,2	7	6
<i>A₁₁</i>	6	7	10	7	6	6	7,2	8	4
<i>A₁₂</i>	9	10	8	4	8	4	7,8	7	6
<i>A₁₃</i>	6	8	9	5	7	4	7	7	4
<i>A₁₄</i>	7	10	7	4	6	4	6,8	7	6
<i>A₁₅</i>	5	7	10	7	5	5	6,8	7,5	5

<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>A</i> ₁₆	7	8	8	4	8	4	7	6	4
<i>A</i> ₁₇	8	10	7	3	7	3	7	6,5	7
<i>A</i> ₁₈	6	7	9	6	5	5	6,6	7	4
<i>A</i> ₁₉	7	7	7	5	5	5	6,2	6	2
<i>A</i> ₂₀	4	5	8	8	4	4	5,8	6	4
<i>A</i> ₂₁	5	8	8	6	4	4	6,2	6	4
<i>A</i> ₂₂	9	10	8	5	8	5	8	7,5	5
<i>A</i> ₂₃	6	8	8	5	9	5	7,2	7	3
<i>A</i> ₂₄	7	10	8	5	8	5	7,6	7,5	5
<i>A</i> ₂₅	6	7	10	7	7	6	7,4	8	4
<i>A</i> ₂₆	6	8	9	6	7	6	7,2	7,5	3
<i>A</i> ₂₇	7	10	8	4	6	4	7	7	6
<i>A</i> ₂₈	6	7	9	6	4	4	6,4	6,5	5
<i>A</i> ₂₉	6	7	6	6	5	5	6	6	2
<i>A</i> ₃₀	5	5	7	7	4	4	5,6	5,5	3
<i>A</i> ₃₁	6	8	8	7	5	5	6,8	6,5	3
<i>A</i> ₃₂	6	7	8	5	7	5	6,6	6,5	3
<i>A</i> ₃₃	8	10	7	4	6	4	7	7	6
<i>A</i> ₃₄	6	6	8	6	5	5	6,2	6,5	3
<i>A</i> ₃₅	7	7	8	5	6	5	6,6	6,5	3
<i>A</i> ₃₆	5	5	9	6	5	5	6	7	4
<i>A</i> ₃₇	5	8	8	6	4	4	6,2	6	4
<i>A</i> ₃₈	5	8	7	5	5	5	6	6,5	3
<i>A</i> ₃₉	4	5	8	7	4	4	5,6	6	4
<i>A</i> ₄₀	3	7	8	5	4	3	5,4	5,5	5
<i>A</i> ₄₁	2	4	7	8	3	2	4,8	5	6

За допомогою критерію Гурвіца охоплюється ряд підходів: від обережного до песимістичного застосуванням коефіцієнту α :

$$\begin{aligned}
 A_{11}^* = A_{25}^* &= \max \left\{ \alpha \cdot \max U_{ij}(A_i, \lambda_j) + (1-\alpha) \min U_{ij}(A_i, \lambda_j) \right\} =, \\
 &= \max \left\{ \begin{array}{l} 6,7,5;6,5;7,5;7,5;7,5;7,5;7,5;7,8;7,7;7,7;7,5;6,6,5;7,6;6,6; \\ 7,5;7,7,5;8;7,5;7,6,5;6,5,5;6,5;6,5;7,6,5;6,5;7,6;6,5;6,5,5;5 \end{array} \right\} = 8
 \end{aligned}
 \tag{4.3}$$

де $\alpha=0,5$ - коефіцієнт оптимізму-песимізму.

Результати, отримані за допомогою критерію Гурвіца, за альтернативами A_{11} та A_{25} співпадають з результатами, отриманими за критерієм Вальда.

Коефіцієнт оптимізму-песимізму знаходиться з межах від 0 до 1. Де $\alpha=0$ – випадок «крайнього песимізму», $\alpha=1$ – випадок «крайнього оптимізму». При $\alpha=0$ критерій Гурвіца трансформується у критерій Вальда [58]. В даному прикладі використано $\alpha=0,5$, однак на практиці не доцільно використовувати таку величину цього коефіцієнту.

За менш песимістичним критерієм Севіджа мінімізуються втрати об'єкта, що приймає рішення за рахунок вибору відповідного варіанту A_i , що мінімізує втрати (жаль) об'єкта з приводу не обрання кращого рішення:

$$\begin{aligned}
 A_{19}^* = A_{29}^* &= \min \max r_{ij} =, \\
 &= \min \left\{ \begin{array}{l} 6,5,4,3,4,5,5,6,3,6,4,6,4,6,5,4,7,4,2,4, \\ 4,5,3,5,4,3,6,5,2,3,3,3,6,3,3,4,4,3,4,5,6 \end{array} \right\} = 2
 \end{aligned}
 \tag{4.4}$$

де $r_{ij} = \max U_{ij}(A_i, \lambda_j) - U_{ij}(A_i, \lambda_j)$ – матриця втрат [55-58].

Необхідно визначити в кожному рядку максимальний елемент $\max \lambda_i$, та відняти від нього всі інші елементи, тоді отримаємо матрицю втрат.

Оптимальним комбінаціям енергетичних потоків за критерієм Севіджа відповідають рішення альтернатив A_{19} та A_{29} .

Таким чином, в ході проведеного дослідження, за допомогою критеріїв Вальда, Лапласа, Гурвіца та Севіджа було визначено, що оптимальними комбінаціями енергетичних потоків є альтернативи A_{11} та A_{25} , оскільки за всіма критеріями вони найчастіше зустрічалися в результатах розрахованих критеріїв.

Альтернативі A_{11} відповідає комбінація енергетичних потоків енергії сонця та установки з ДВЗ, а альтернативі A_{25} комбінація енергетичних потоків енергії сонця, вітру та установки з ДВЗ. Оскільки енергія сонця має періодичний характер надходження, то доцільним є використання альтернативи A_{25} .

Якщо спробувати використовувати енергії сонця та вітру в комплексі, то ефективність електропостачання має бути вищою, оскільки недоліки кожної з енергій будуть частково або повністю компенсуватись перевагами іншої. Наприклад, наявність вітрових потоків взимку може переkritи зменшення потоків сонячної енергії.

З метою вдосконалення визначення оптимальних комбінацій енергетичних потоків зазначення кількісної оцінки на основі якісного оцінювання можливих варіантів вибору здійснюється за допомогою апарату нечітких множин.

Прогнозування очікуваного потенційного збитку для автономних споживачів можна визначити моделюванням ситуації за допомогою дерева рішень.

Застосування функцій належності в умовах нечіткої інформації дозволяє формалізувати якісні характеристики потенційного збитку, що можливий у результаті вибору комбінацій енергетичних потоків; й імовірності виникнення небажаних наслідків, яким відповідає певний збиток, для конкретної ситуації прийняття рішень.

Виходячи з вище наведеного, складовими об'єкта керування (в якості джерел енергії) є сонячна, вітрова установка та установка з ДВЗ, а факторами впливу на об'єкт керування є

інтенсивність сонячного випромінювання та швидкість вітру. Аналіз складових об'єкта керування повинен включати в себе дослідження вказаних вище факторів.

4.2. Основи проектування систем автоматизації процесу електропостачання з відновлюваними джерелами енергії

4.2.1. Загальні вимоги до процесу електропостачання з відновлюваними джерелами енергії

При енергозабезпеченні автономних споживачів виникають проблеми, пов'язані з:

- відсутністю центральної енергетичної системи на місцевості;
- відсутністю можливості під'єднання до центральної енергетичної системи, внаслідок високої вартості необхідних технічних засобів.

Навіть, якщо в даній місцевості існує центральна енергетична система, то вона була побудована ще за часів СРСР.

Автономне енергопостачання є досить складним і своєрідним об'єктом з погляду енергозабезпечення. Але при створенні в радянські часи ліній централізованого електропостачання сільського господарства ці особливості майже не були враховані. Була створена громіздка система, що становить десятки тисяч кілометрів ліній електропередач, безліч котелень, металомісткий машинний парк і багато іншого. За останні десятиліття до цих недоліків додалася гранична їхня зношеність і систематичні крадіжки [62].

Наведені вище проблеми, свідчать про неможливість використання традиційних систем енергозабезпечення автономних споживачів. Тому приходимо до висновку про доцільність використання ВДЕ.

Ефективне функціонування будь-якого автономного споживача зазвичай здійснюється за допомогою наступних систем:

- тепlopостачання;
- водопостачання;
- електропостачання.

Серед перерахованих вище систем, які забезпечують ефективне функціонування, найбільш універсальною є система електропостачання, оскільки за допомогою електричної енергії можна здійснювати тепло- та водопостачання (шляхом підключення до електричних ліній відповідного обладнання, необхідного для тепло- та водопостачання).

Електропостачанням називають забезпечення споживачів електричною енергією [63]. До ВДЕ належать енергія сонячна, вітрова, геотермальна, енергія хвиль та припливів, гідроенергія, біомаси, газу з органічних відходів, газу каналізаційно-очисних станцій, біогазів, та вторинні енергетичні ресурси, до яких належать доменний та коксівний газ, газ метан дегазації вугільних родовищ, перетворення скидного енергопотенціалу технологічних процесів.

Так само, як і центральна енергетична система, ВДЕ повинні забезпечувати певну якість енергії. Під якістю електричної енергії розуміють сукупність показників, які визначають відхилення та коливання напруги, синусоїдальність струму та напруги, симетричність струму та напруги, відхилення та коливання частоти трифазного змінного струму та ін. [63].

Світова практика показала, що найдоцільнішим способом енергозабезпечення автономних споживачів є створення власних джерел та систем автоматизованого електропостачання (САЕП).

САЕП з відновлюваними джерелами енергії повинні відповідати таким основним вимогам [62, 63]:

1. У відповідності до енергетичних потреб забезпечувати необхідну кількість енергії.
2. Забезпечувати необхідну якість електричної енергії (напругу 220 В та частоту 50 Гц).
3. Бути простими та надійними в експлуатації.
4. Бути ремонтпридатними та забезпечувати швидку ліквідацію можливих аварій.

5. Повинні мати системи гарантованого живлення, які призначені для накопичення енергії та надання енергії належної якості.

6. В періоди надходження енергії САЕП повинна, окрім електропостачання, забезпечувати накопичення енергії в обсягах, достатніх для випадку відсутності надходження енергії.

7. У випадку відсутності надходження енергії електропостачання здійснювати лише для об'єктів, які мають максимальний пріоритет.

8. Керування САЕП повинно бути автоматизоване і здійснюватись таким чином, щоб максимально ефективно використовувати енергію ВДЕ.

Коротко прокоментуємо деякі вимоги та одночасно відзначимо шляхи їх задоволення.

Забезпечення необхідної кількості енергії, у відповідності до енергетичних потреб, можливе лише при визначенні графіків енергетичних навантажень протягом певного періоду та дослідженні кліматичних і метеорологічних умов місцевості.

Задана якість електроенергії необхідна для нормальної роботи всіх пристроїв та обладнання, для яких здійснюється електропостачання. Підтримання в САЕП показників якості електроенергії в допустимих межах сприяє зменшенню її втрат.

Висока якість електроенергії забезпечується правильним вибором потужностей та кількості енергоустановок, якістю електрообладнання та встановленням необхідних регулюючих та захисних пристроїв.

Наявність в САЕП систем гарантованого живлення дозволяє виконувати надійне та безперервне електропостачання, шляхом включення до її складу систем акумуляування енергії і систем стабілізації та контролю показників якості електричної енергії.

Оскільки САЕП не повинна відволікати споживача від його основної справи така система повинна бути автоматизована. Автоматизована САЕП повинна виконувати функції перерозподілу енергії від енергоустановок, враховуючи енергетичні потреби в конкретний момент часу. Все це забезпечить максимально ефективне використання ВДЕ для електропостачання.

4.2.2. Системи електропостачання з відновлюваними джерелами енергії (сонячна та вітрова енергії)

Дослідженню САЕП з відновлюваними джерелами енергії, розробці науково-технічних передумов використання ВДЕ для електропостачання присвячені роботи: Будзка І. О., Васька П. Ф., Головка В. М., Джуми А., Жесана Р. В., Каплуна В. В., Кирпатенка І. М., Козирського В. В., Кудрі С. О., Ліщинської Т. Б., Плешкова С. П., Праховника А. В., Резцова В. Ф., Розанова Ю. К., Сенька В. І., Шидловського А. К., Яндульського О. С. та інших. Більшість цих робіт присвячена ефективності та раціональному використанню ВДЕ; методам та способам перетворення ВДЕ в різні види (електрична, теплова); ефективності використання автономних джерел енергії.

В роботі [64] Кирпатенком І. М. запропоновано комплексний підхід у використанні автономних джерел енергії. Ним було розроблено прилад «ПАУЗА-У», який призначено для автоматизації контролю та керування процесом заряду акумулятора від автономних джерел енергії, а також мережі змінного струму, структурна схема наведена на рис. 4.1.

Прилад побудований за модульним принципом і складається з дев'яти функціонально закінчених модулів. Принцип роботи пристрою полягає у під'єднанні СП та ВЕУ до АКБ, в залежності від її стану (заряджена/розряджена). Тобто, якщо АКБ розряджена, то визначається від якого джерела енергії необхідно використати енергію, щоб в подальшому від АКБ здійснювати електропостачання. Якщо потужності СП та ВЕУ не вистачає для заряду АКБ, то використовується мережа змінного струму.

Роботи [65, 66] були виконані на кафедрі автоматизації виробничих процесів Кіровоградського національного технічного університету.

Жесаном Р. В. було розглянуто шляхи автоматизації управління автономним енергопостачанням сільськогосподарських споживачів, за рахунок використання автономних джерел енергії. Забезпечення потреб споживача

виконувалось шляхом енерго- та водопостачання На рис. 4.2 наведено структурну схему САК системи енергопостачання.

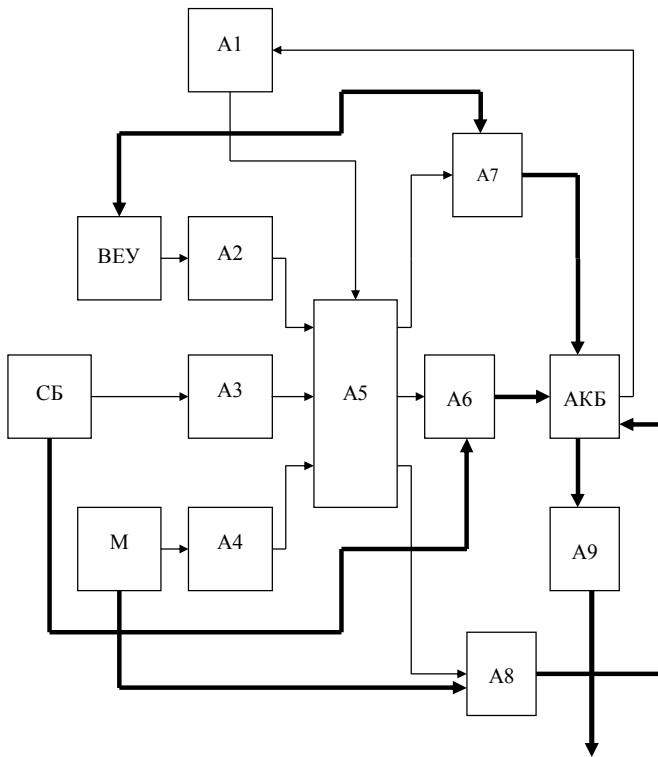


Рис. 4.1. Структурна схема приладу «ПАУЗА – У»:

BEU – вітроелектроустановка; СБ – сонячна батарея;

АКБ – акумуляторна батарея; М – електромережа; А1 – А9 – модулі

Інформаційними параметрами в даній САК є: потужності вироблені джерелами енергії; режим роботи АКБ («заряд-розряд»); рівень води в акумуляторі води. Таким чином САК має забезпечувати надходження та обробку даних інформаційних параметрів. Для збору цих параметрів використано блок датчиків напруги, струму та рівня води.

Керування енергопостачанням здійснюється за рахунок комутації джерел енергії.

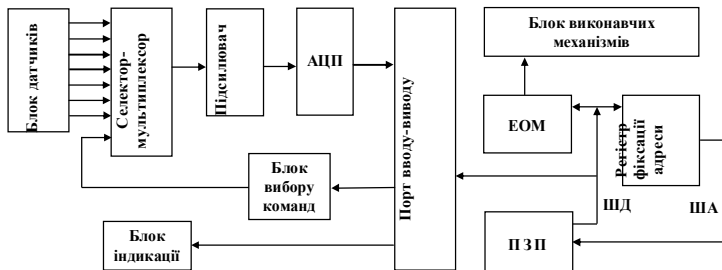


Рис. 4.2. Структурна схема САК системи енергопостачання:

АЦП – аналого-цифровий перетворювач; ШД – шина даних;

ЕОМ – електронна обчислювальна машина; ША – шина адреси

ПЗП – постійний запам'ятовувачий пристрій;

Крім того, в даній роботі було створено математичні моделі системи енергопостачання, на основі яких було побудовано алгоритм функціонування САК, а також сформовано дискретні карти сонячних та вітрових енергетичних потенціалів України за сезонами, які є джерелом інформації при проектуванні систем з ВДЕ.

Робота [66] Плєшкова С. П. присвячена автоматизації управління енергоспоживанням в с/г виробництві в умовах невизначеності. На рис. 4.3 наведено структурну схему комплексної енергетичної системи.

Система використовує централізоване електропостачання від енергосистеми, різних ВДЕ, накопичувачів електричної та теплової енергії. Керування відбувається шляхом фільтрації енергетичних потоків, згідно графіків енергетичних потреб споживачів. В роботі було розроблено модель управління енергоспоживанням та алгоритми управління енергетичними потоками, в залежності від графіку енергоспоживання с/г виробництва.

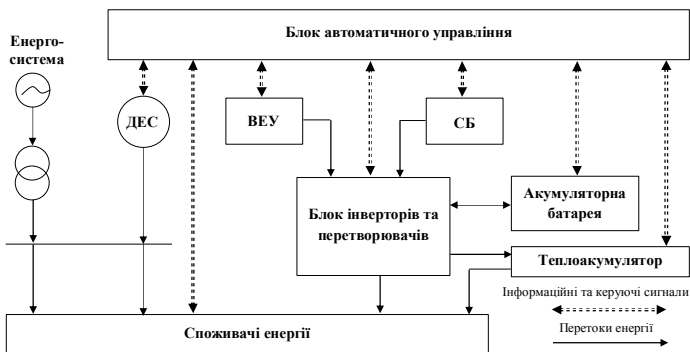


Рис. 4.3. Схема комплексної електроенергетичної системи з накопичувачами електричної і теплової енергії:

ДЕС – дизельна електростанція

4.3. Автоматизоване керування процесом електропостачання з вітро-сонячними установками

В якості прикладу було розглянуто фермерське господарство, електропостачання якого здійснюється за рахунок сонячної та вітрової енергій і електроагрегату з двигуном внутрішнього згорання (ЕА з ДВЗ).

В загальному вигляді структуру САЕП фермерського господарства від автономних джерел енергії, можна представити у наступному вигляді, наведена на рис. 4.5 [59].

Метою створення будь-якої САК є керування поведінкою об'єкта керування, у якості якого може виступати пристрій (сукупність пристроїв) або динамічний процес, в нашому випадку САК повинна виконувати перерозподіл генерованої енергії від енергоустановок до споживача (фермерського господарства), у відповідності з його енергетичними потребами. Тобто, можемо сказати, що об'єктом керування в даній САЕП є – процеси виробництва та споживання електричної енергії в

умовах електропостачання фермерського господарства від автономних джерел енергії.

Таким чином, вхідними параметрами об'єкта керування є:

- кількість енергії, яка потрібна фермерському господарству (енергетичні потреби);
- кількість енергії, що генерується енергоустановками (енергетичні потоки).

Вихідним параметром є вибір енергетичного потоку (або потоків), який може в даний момент часу забезпечити енергетичні потреби фермерського господарства.

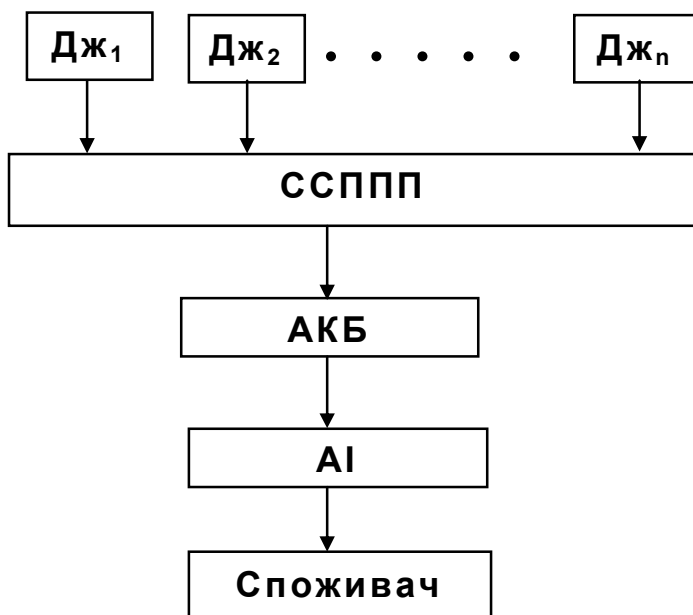


Рис 4.5. Загальний вигляд САЕН фермерського господарства:

Дж₁, Дж₂, ..., Дж_n – джерела енергії;

ССППП – система стабілізації перетворення та перерозподілу параметрів;

АКБ – акумуляторна батарея; AI – автономний інвертор

Як було зазначено вище, в якості джерел енергії виступають сонячні панелі, вітроелектрична установка та електроагрегат з двигуном внутрішнього згорання. Тоді структура САЕП фермерського господарства може мати вигляд, показаний на рис. 4.6 [67].

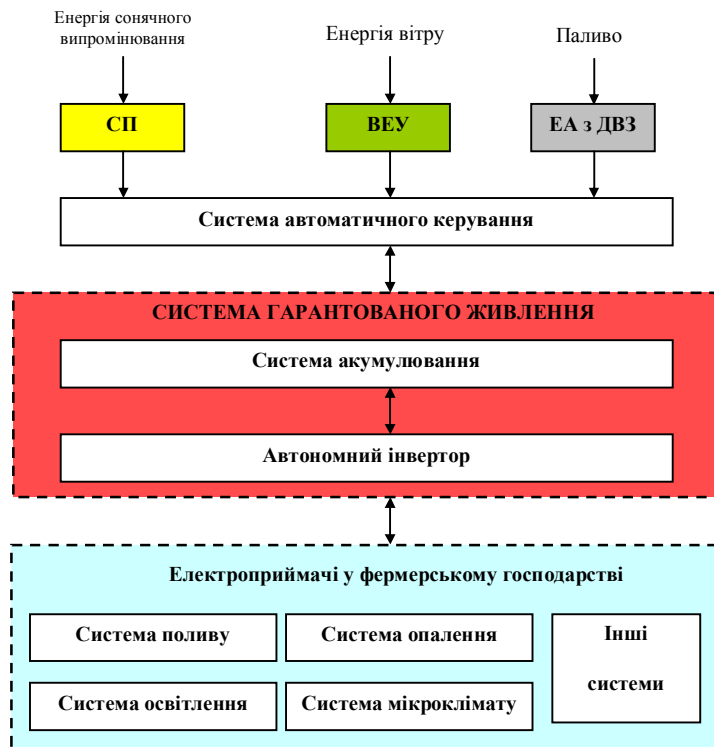


Рис. 4.6. Структура САЕП фермерського господарства:

СП – сонячні панелі; ВБУ – вітроелектрична установка;

ЕА з ДВЗ – електроагрегат з двигуном внутрішнього згорання

Система акумулювання має в своєму складі АКБ, контролер заряду батарей, зарядний пристрій та ін. Автономний інвертор, який входить до складу системи гарантованого живлення, також

має у своєму складі стабілізатор напруги, перетворювач струму та інші пристрої, необхідні для надання електроенергії належної якості.

З метою ефективного використання СП рекомендується розташовувати на південному незавітненому схилі даху. Застосовувати ВЕУ з метою отримання електроенергії рекомендується в місцевостях, що мають середньорічну швидкість вітру $V \geq 4$ м / с [6, 8, 9].

Вибір конкретного типу обладнання в основному залежить від метеорологічних та кліматичних умов місцевості, де розташовано фермерське господарство, енергетичних потреб фермерського господарства та матеріальних ресурсів, якими володіє споживач (фермер).

Для визначення пріоритетів послідовності вмикання енергоустановок необхідно провести аналіз експлуатаційних характеристик енергетичних установок в певній місцевості, з метою визначення їх основних показників роботи.

Установки з двигунами внутрішнього згорання. Найголовнішими параметрами установок з ДВЗ є [68, 69]: потужність, кількість фаз струму, та тип палива, яке використовується.

Діапазон потужностей установок з ДВЗ досить широкий і лежить в межах від 2 кВт для постачання замських будинків до 100 кВт для застосування в промисловості [9, 69].

За типом струму, що виробляється, установки з ДВЗ бувають однофазні та трифазні. Однофазні електростанції використовуються в основному в побутових мережах. Трифазні призначені для живлення промислових об'єктів і спеціального устаткування.

За типом палива в основному поділяються на бензинові та дизельні.

Основними перевагами бензинових установок з ДВЗ є [68, 69]:

- мобільність та компактність (можуть бути встановлені в будь-якому відповідному місці, невеликі розміри та незначна вага);

- безшумність та простота у використанні (не вимагають наявності спеціальних знань для експлуатації);
- економічність (вартість у декілька разів нижче дизельних та інших аналогів);
- широкий робочий діапазон температур (можна експлуатувати навіть при дуже низьких температурах, на відміну від дизельних, які при мінусових показниках запускаються вкрай важко).

Основним недоліком бензинових установок з ДВЗ є нетривалий час роботи, тому при необхідності довготривалого функціонування перевагу віддають дизельним установкам з ДВЗ [68].

Дизельні установки з ДВЗ мають набагато складнішу конструкцію, ніж бензинові, і, як наслідок, їх вартість значно вища. Кажучи про дешеву експлуатацію дизельних двигунів, не можна не відзначити, що ця дешевизна має місце лише у тому випадку, коли йому не потрібний дуже частий ремонт. Як показала практика, витрати на придбання запчастин і проведення ремонтних робіт двигуна здатні «з'їсти» практично всі заощаджені засоби.

При виборі типу установки з ДВЗ, перш за все, звертають увагу на такий показник, як – витрата пального на 1 кВт · год. Зазвичай, цей показник наводиться виробниками в паспорті технічних характеристик.

Алгоритм роботи. Алгоритм роботи САЕП наведений на рис. 4.7. Спочатку мікроконтролер (МК) знаходиться в стані очікування. Маємо на увазі, що МК має 4 пріоритети роботи:

1. Перетворення сонячної енергії;
2. Перетворення вітрової енергії;
3. Виробництво енергії ЕА з ДВЗ;
4. Витрати енергії з АКБ.

Як тільки до МК надходить сигнал про необхідність електроприймачів в електричній енергії, то він починає опитувати СП.

Визначається стан СП (працює чи не працює, чи надходить енергія від неї?). Якщо не працює або не надходить енергія, то МК опитує ВЕУ.

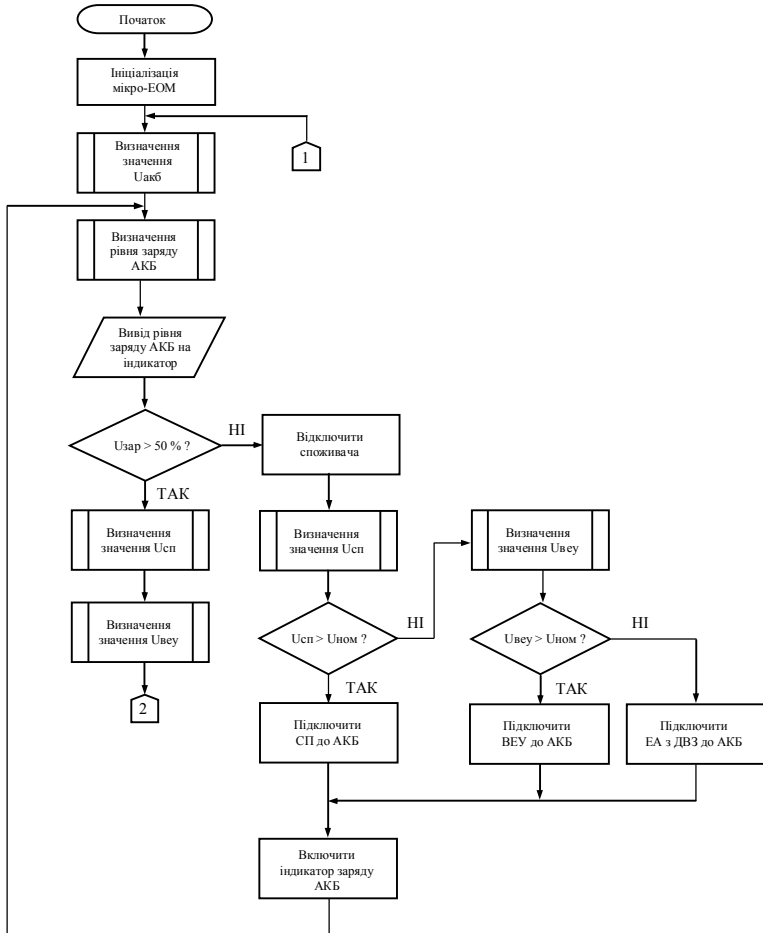


Рис. 4.7. Алгоритм роботи САЕП фермерського господарства

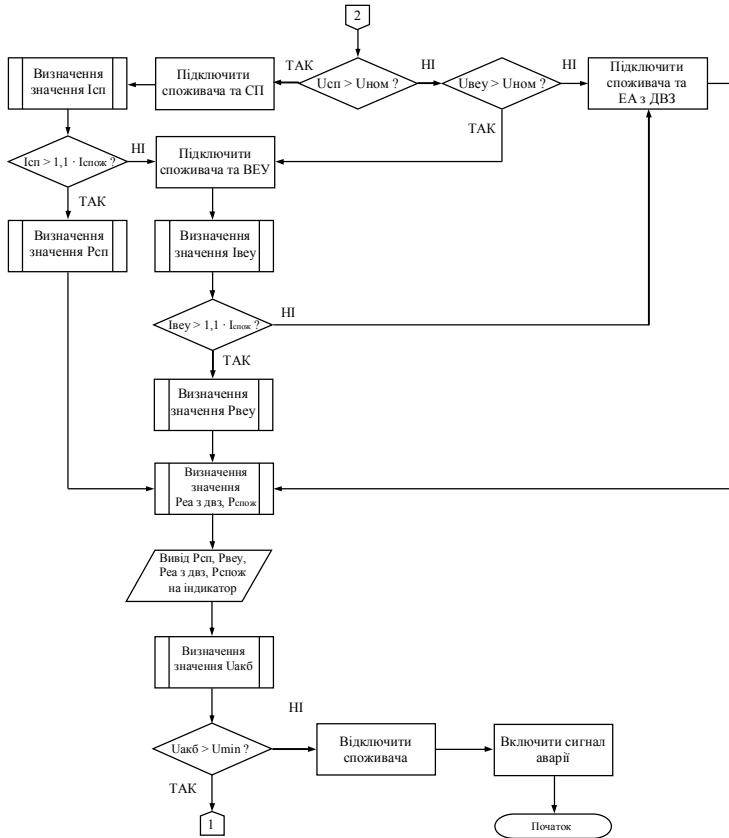


Рис. 4.7. Алгоритм роботи САЕП фермерського господарства (продовження)

Якщо працює та надходить енергія від СП, то необхідно порівняти кількість отриманої енергії та кількість енергії, потрібної електроприймачам. Якщо енергії не вистає, то звернутися до БЕУ. Якщо дорівнює або більше, то направити до елетроприймачів, а залишок до АКБ.

Визначається стан БЕУ (працює чи не працює, надходить енергія чи ні?). У разі якщо не надходить енергія або не працює, то звернутися до ЕА з ДВЗ. Якщо працює та надходить енергія,

то додати до енергії, отриманої від СП (якщо її спочатку не вистачало) та порівняти кількість. Якщо енергії не вистачає, то звернутися до ЕА з ДВЗ. Якщо дорівнює або більше, то направити до електроприймачів, а залишок до АКБ.

Визначається стан ЕА з ДВЗ (ввімкнено чи ні, є пальне чи ні?). Якщо не має пального або не працює, то звернутися до АКБ. Якщо ввімкнено та є пальне, то додати енергію від ЕА з ДВЗ до загальної кількості (у разі якщо від СП та ВЕУ не вистачає) та порівняти кількість енергії. Якщо не вистачає, то звернутися до АКБ. Якщо вистачає, то направити до електроприймачів.

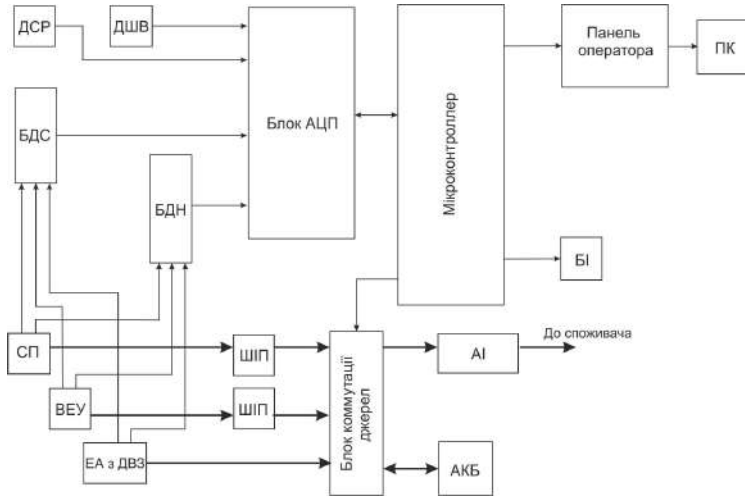
АКБ виступає в ролі буферного елемента та резервного джерела живлення. У разі, якщо жодне з джерел енергії не може забезпечити енергетичні потреби фермерського господарства, то МК повинен подати сигнал про вимкнення системи. Така ситуація є небажаною для фермерського господарства, оскільки в даному випадку не будуть задоволені його енергетичні потреби.

Структурна схема. Згідно структури САЕП (див. рис. 4.6) було розроблено схему електричну структурну САЕП фермерського господарства, наведену на рис. 4.8 [67, 70].

До складу САЕП входять:

- датчик сонячної радіації (ДСР);
- датчик швидкості вітру (ДШВ);
- вітроелектрична установка (ВЕУ);
- сонячна панель (СП);
- електроагрегат з двигуном внутрішнього згорання (ЕА з ДВЗ);
- акумуляторна батарея (АКБ);
- широтно-імпульсного перетворювача (ШІП);
- блок датчиків струму (БДС);
- блок датчиків напруги (БДН);
- блок аналого-цифрового перетворення (АЦП);
- автономний інвертор (АІ);
- панель оператора;
- персональний комп'ютер (ПК);

- блок індикації (БІ);
- блок комутації джерел;
- мікроконтролер (МК).



**Рис. 4.8. САЕП фермерського господарства.
Схема електрична структурна**

ДСР призначений для визначення рівня сонячної радіації в даний час. ДШВ призначений для визначення швидкості вітру в даний час для прийняття рішення про можливість застосування вітрової енергії. Вітрова та сонячна енергії надходять до відповідних перетворювачів (ВЕУ та СП). Після чого БДС вимірює струм від кожного джерела енергії та загальні витрати енергії, що передається споживачу. БДН призначений для вимірювання напруги на виході кожного джерела енергії та на АКБ, яка є буферним елементом і забезпечує безперерйне енергопостачання при відключенні всіх джерел енергії.

Для відбирання максимальної потужності від СП та ВЕУ застосовано ШІП. Інформація з датчиків подається на блок АЦП після чого цифрові дані надходять на МК.

Згідно з розробленим алгоритмом функціонування МК приймає рішення щодо підключення певних джерел до АІ, який перетворює постійний струм у струм промислової напруги та частоти (220 В, 50 Гц) і передає енергію електроприймачам.

Крім того, МК формує сигнали керування, які подаються на блок комутації джерел, підключаючи відповідне джерело енергії до входів АКБ та АІ. Для контролю стану системи в схемі передбачено БІ, який сигналізує про підключення того чи іншого джерела енергії, аварійні ситуації тощо. Візуальне спостереження за параметрами системи відбувається за допомогою панелі оператора та ПК, на які виводиться поточна інформація про режими навантаження, споживана енергія та ін.

Функціональна схема. Схема електрична функціональна САЕП наведена на рис. 4.9. [67, 70].

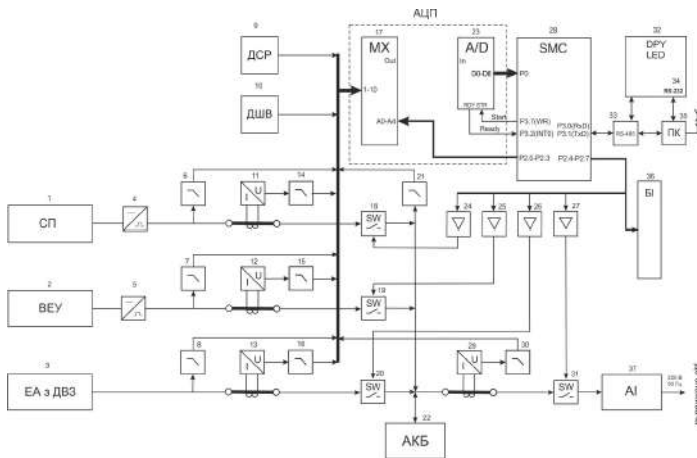


Рис. 4.9. САЕП фермерського господарства.
Схема електрична функціональна

Датчик сонячної радіації (ДЦР) (9) визначає рівень сонячної радіації в даний час для прийняття рішення про можливість застосування СП. Датчик швидкості вітру (ДШВ) (10) визначає швидкість вітру в даний час для прийняття рішення про

можливість застосування вітрової енергії, а також для захисту ВЕУ від роботи на високих швидкостях.

Широтно-імпульсні перетворювачі (4, 5) виконують роль пристрої відбирання максимальної потужності від СП та ВЕУ.

Датчик струму (11) визначає рівень навантаження СП. Датчик являє собою струмів трансформатор з первинним перетворювачем «струм-напруга» виконаний в одному корпусі. З датчика напруга подається на активний фільтр (14), де фільтрується та підсилюється до необхідного рівня.

Датчик струму (12) визначає рівень навантаження ВЕУ. З датчика напруга подається на активний фільтр (15), де фільтрується та підсилюється до необхідного рівня.

Датчик струму (13) визначає рівень навантаження ЕА з ДВЗ. З датчика напруга подається на активний фільтр (16), де фільтрується та підсилюється до необхідного рівня.

Напруга на виході енергетичних установок (1-3) подається на активні фільтри (6-8) відповідно, де фільтрується та обмежується до необхідного для перетворення рівня.

Датчик струму (29) визначає рівень споживання. З датчика напруга подається на активний фільтр (30) де фільтрується та підсилюється до необхідного рівня.

Напруга з АКБ подається на активний фільтр (21), де фільтрується та обмежується до необхідного для перетворення рівня.

Інформація з датчиків (6-8), (14-16), (21), (30) подається на входи (1-10) 10-канального аналогового мультиплексора (17). Вибір каналу вимірювання здійснюється через лінії P2.0-P2.3 МК (28), які підключені до адресних входів A0-A4 мультиплексора (17).

Управління перетворювачем здійснюється сигналами Start – запуск перетворювача та Ready – закінчення перетворення. Сигнал Start – формується МК (28) після встановлення номеру каналу вимірювання на лініях P2.0-P2.3. Після закінчення перетворення АЦП (23) формує сигнал Ready, який подається на вхід зовнішнього переривання INT0 МК і викликає переривання. Процедура обслуговування переривань зчитує отримані з АЦП дані через порт P0.

В залежності від режиму роботи поточні дані передаються на цифровий рідинно-кристалічний дисплей (32) по лініях порту P1.

Для підключення енергетичних установок до АКБ (22) застосовані силові електронні ключі (18-20), які через підсилювачі (24-26) підключені до ліній P2.4-P2.6 МК (28).

Підключення АІ (37) до АКБ (22) здійснюється за допомогою силового електронного ключа (31), який через підсилювач (27) підключений до лінії P2.7 МК (28). Підсилювачі (24-27) крім функції підсилення сигналу виконують гальванічну розв'язку між ланцюгами управління та силовими ланцюгами.

Лінії P2.4-P2.7 також підключені до БІ (36), щоб сигналізувати про підключення того чи іншого джерела енергії та АІ. Перед АІ (37) встановлено АКБ (22), яка виконує функцію буферного елемента та забезпечує безперерйне енергопостачання при відключеннях всіх енергетичних установок. Для архівації даних та управління системою в схемі передбачений адаптери інтерфейсів RS-485 (33) і RS-232 (34) та ПК (35).

Для апаратної реалізації нейрончїткої САК САЕП фермерського господарства рекомендується використати мікроконтролер із стандартом підтримки програмного забезпечення ІЕС 1131-7.

Згідно розроблених електричних схем САЕП фермерського господарства спрощений алгоритм роботи САЕП полягає у підключенні перетворюючих установок за допомогою відповідних силових електронних ключів (на схемі електричній функціональній позначені (18-20). Стан в якому повинні знаходитись ці силові електронні ключі визначає керуючі впливи на об'єкт керування.

Таким чином, можемо сказати що задачею даної САК є визначати – в який момент часу і в якому стані повинен бути той чи інший силовий електронний ключ, у відповідності з енергетичними потребами фермерського господарства.

4.4. Нечіткі множини та нейронні мережі в системах автоматичного керування процесом електропостачання з вітро-сонячними установками

Метою роботи САК є оптимізація процесу електропостачання фермерського господарства від автономних джерел енергії. Цей процес залежить головним чином від [71]:

- метеорологічних та кліматичних умов місцевості (енергетичні потенціали джерел енергії);
- енергетичних потреб фермерського господарства.

Метеорологічні та кліматичні умови різних місцевостей України наводяться в довідникових джерелах. Однак передбачити їх наявність та доступність можна лише з деякою імовірністю (внаслідок стохастичного характеру їх надходження). Тобто, можемо сказати, що присутній деякий елемент невизначеності.

Енергетичні потреби також мають елемент невизначеності. Оскільки повністю передбачити енергетичні потреби досить складно. Це можна зробити з деякою імовірністю, а врахувати наперед додаткових електроприймачів електричної енергії майже неможливо, внаслідок чого може змінитися графік електричного навантаження.

Виходячи з вище сказаного можемо сказати, що дана САЕП працює в умовах невизначеності.

Одним з традиційних шляхів розв'язання задач керування об'єктами в умовах невизначеності є використання адаптивних методів керування. Їхнє застосування дозволяє успішно розв'язувати поставлені задачі. Проте, подібні методи мають деякі особливості, серед яких можна виділити наступні.

На етапі параметричної ідентифікації визначаються параметри моделі об'єкта керування. Таким чином, виникає необхідність у формуванні адекватних моделей об'єктів керування. Однак, із збільшенням розмірів і складності системи істотно ускладнюється її моделювання за допомогою відомих математичних виразів, зростає кількість змінних і параметрів.

В свою чергу, вимірювання окремих змінних і визначення параметрів, особливо у режимі реального часу, можливе лише у

лабораторних умовах, і створення цілком адекватної моделі стає досить важкою задачею.

Крім того, класична логіка по своїй суті ігнорує проблему невизначеності, оскільки всі висловлювання в формальних логічних системах можуть мати лише значення “істина” $\{I, 1\}$ та “фальш” $\{F, 0\}$. На відміну від цього в нечіткій логіці істинність міркувань оцінюється з певним ступенем, який може приймати й інші відмінні значення, ніж $\{I, F\}$.

З врахуванням зазначеного вище, приходимо до висновку щодо доцільності використання апарату нечіткої логіки (НЛ) з нейромережною (НМ) адаптацією [71]. Оскільки внаслідок зміни зазначених вище умов НМ можна буде перенавчати за рахунок накопичення бази знань в ході роботи системи. Тим більше, що саме така можливість програмно реалізована у середовищі ANFIS Editor пакету прикладних математичних програм MatLab[®] [72, 73].

Структурно нечіткі нейронні мережі поєднують у собі два математичні апарати: нечіткої логіки та нечітких множин.

Нечітка логіка, що є базою для реалізації методів нечіткого керування, більш природно описує характер людського міркування та хід думок, ніж традиційні формально-логічні системи.

Нечітке керування являє собою деяку процедуру чи алгоритм отримання нечітких висновків на основі нечітких умов з використанням понять нечіткої логіки [74-77].

Загалом же нечітка логіка призначена для формалізації людських можливостей до наближених міркувань.

При формуванні системи керування на базі нечіткої логіки виходять насамперед з того, що стан складної динамічної системи та керуючий вплив САК розглядається як лінгвістичні змінні, які оцінюються якісними термами (засобами природної мови). Кожен терм розглядається як нечітка множина і формалізується за допомогою функції належності.

Формування керуючого впливу здійснюється на основі певного набору правил, які встановлюють зв'язок між станом динамічної системи та керуючим впливом у САК. Визначення керуючого впливу здійснюється шляхом реалізації процедури

переходу від функції належності до конкретного числового значення, яке і передається на виконавчий механізм.

Загалом етапи роботи системи керування на базі нечіткої логіки наведено в Додатку 3. Однак основні етапи можуть бути реалізовані різними способами. Існує ряд апробованих алгоритмів нечіткого виведення: Мамдані, Цукамото, Сугено, Ларсена [74-77].

У свою чергу, нейронні мережі – це обчислювальні структури, що моделюють прості біологічні процеси, звичайно асоціативні із процесами людського мозку [74-77].

Штучний нейрон має групу синапсів – однонаправлених вхідних зв'язків, з'єднаних з виходами інших нейронів, а також аксон – вихідний канал, через який сигнал (збудження або гальмування) надходить на синапси наступних нейронів. Кожний вхід множиться на відповідний ваговий коефіцієнт (вагу), аналогічний синаптичній силі, і всі добутки підсумовуються, визначаючи рівень активації [74-77].

Найпоширенішою активаційною функцією є нелінійна функція активації S-подібного виду з насиченням (сігмоїд, або логічна функція з насиченням):

$$f(s) = \frac{1}{1 + e^{-as}}, \quad (4.5)$$

В цілому нейрон реалізує скалярну функцію векторного аргументу. Його математична модель [73, 74, 78]:

$$s = \sum_{i=1}^n w_i x_i + b, \quad (4.6)$$

де w_i – вага синапса, $i = 1 \dots n$;

b – значення зміщення;

s – результат підсумовування;

x_i – компонент вхідного вектора (вхідний сигнал), $i = 1 \dots n$

y – вихідний сигнал нейрона;

n – кількість входів нейрона;

f – нелінійне перетворення (функція активації).

Очевидно, що процес функціонування НМ залежить від величини синаптичних ваг. Тому, вибравши певну структуру мережі (залежно від поставленої задачі), потрібно знайти оптимальне значення всіх змінних вагових коефіцієнтів. Цей етап називається навчанням НМ: від того на скільки якісно він буде проведений, залежить здатність НМ вирішувати у процесі функціонування поставлені перед нею задачі.

Працюючи, НМ формує вихідний сигнал (Y) відповідно з вхідним сигналом (X), реалізуючи деяку функцію: $Y = g(X)$. Якщо архітектура мережі задана, то вигляд функціональної залежності визначається величинами синаптичних ваг та зміщень мережі.

Позначимо через G множину всіх можливих функцій g , що відповідають заданій архітектурі мережі.

Прийнявши, що розв'язанням деякої задачі є функція v : $Y = v(X)$, задана парами вхідних-вихідних даних $(X^l, Y^l), \dots, (X^k, Y^k)$, для яких $Y^k = v(X^k)$, $k = 1 \dots N$ (кількість елементів навчальної вибірки). E – функція помилки, що показує для кожної функцій g ступінь близькості до v .

Вирішення даної задачі за допомогою певної НМ – це побудова функції g з множини G , підбравши значення синаптичних ваг та зміщень таким чином, щоб функціонал якості перетворювався на оптимум для всіх пар (X^k, Y^k) .

Таким чином, задача навчання НМ визначається сукупністю п'яти компонентів: $\langle X, Y, v, G, E \rangle$. Навчання полягає в ітераційному створенні функції g , оптимальній по E .

На сьогодні існує цілий ряд автоматичних систем керування та експертних систем із нечіткими та нейромережними структурами, переважаючи традиційні аналоги при роботі із нелінійними та нестационарними об'єктами (процесами) [74-76].

Перевагами розробок із використанням НЛ та НМ є:

- робота в умовах невизначеності щодо характеру вхідних сигналів;
- надійне функціонування при великій кількості порівняно з традиційними системами вхідних змінних.

Однак до недоліків НМ можна віднести:

- тривалий час навчання;

- складність аналізу структури «навченої» мережі, відповідно неможливість її оптимізації;
- неможливість введення апріорної (експертної) інформації для прискорення навчання мережі.

А до недоліків систем із використанням НЛ можна віднести:

- неможливість автоматичного здобуття знань у процесі функціонування;
- необхідність розбиття універсальних множин на окремі області створює граничну кількість вхідних параметрів.

Усунення даних недоліків сприяло б підвищенню продуктивності роботи систем керування та керованих об'єктів (процесів). Дані міркування були покладені в основу створення гібридних нейронних мереж, де висновки робляться на основі апарату нечіткої логіки, а відповідні функції належності підстроюються із використанням алгоритму навчання нейронних мереж. Ці системи можуть не лише використовувати апріорну інформацію, а і отримувати в процесі функціонування нові знання [74-78].

Тобто, нечітка нейронна мережа – нейронна мережа з чіткими сигналами, вагами і активаційною функцією, але для об'єднання їх використовуються t-норми, t-конорми або інші неперервні операції (рис. 4.10) [79].

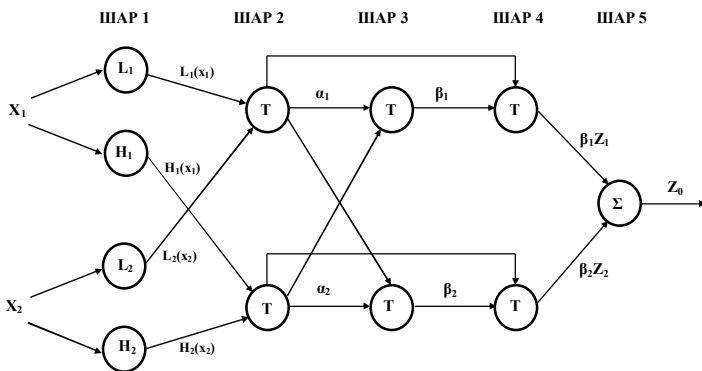


Рис. 4.10. Структура нечіткої нейронної мережі

Розроблену мережу можна описати наступним чином.

ШАР 1. Виходи нейронів цього шару являють собою значення функції належності при конкретних (заданих) значеннях входів.

ШАР 2. Виходами нейронів цього шару є ступені істинності передумов кожного правила бази знань системи, вираховуються за формулами:

$$\alpha_1 = L_1(x_1) \cdot \wedge \cdot L_2(x_2), \quad (4.7)$$

$$\alpha_2 = H_1(x_1) \cdot \wedge \cdot H_2(x_2), \quad (4.8)$$

Усі нейрони шару позначені літерою T , що означає їх функціональну можливість реалізувати довільну t -норму для моделювання операції “ T ”.

ШАР 3. Нейрони цього шару вираховують величини:

$$\beta_1 = \frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2}, \quad \beta_2 = \frac{\alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}, \quad (4.9)$$

ШАР 4. Нейрони даного шару виконують операції:

$$\beta_1 Z_1 = \beta_1 D^{-1}(\alpha_1), \quad \beta_2 Z_2 = \beta_2 M^{-1}(\alpha_2), \quad (4.10)$$

При чому коефіцієнти D та M встановлюють із співвідношень:

$$D^{-1}(\alpha_1) = c_4 + c_5 + \frac{1}{b_4} \ln \frac{1 - \alpha_1}{\alpha_1}, \quad (4.11)$$

$$M^{-1}(\alpha_2) = c_4 + \frac{1}{b_4} \ln \frac{1 - \alpha_2}{\alpha_2}, \quad (4.12)$$

ШАР 5. Нейрон цього шару розраховує вихід мережі:

$$Z_0 = \beta_1 Z_1 + \beta_2 Z_2, \quad (4.13)$$

Коригування параметрів мережі для функцій належності D та M відбуваються відповідно до вибраного алгоритму (у даному випадку використано зворотне розповсюдження помилки) за формулами:

$$b_4 = b_4' - \frac{\eta}{b_4^2} \cdot \delta_k \cdot \frac{\alpha_1 + \alpha_2 - \alpha_3}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3}, \quad (4.14)$$

$$c_4 = c_4' + \eta \delta_k, \quad (4.15)$$

$$c_5 = c_5' + \eta \delta_k \frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3}, \quad (4.16)$$

$$\delta_k = y^k - o^k, \quad k = 1 \dots N, \quad (4.17)$$

де η – задана швидкість навчання нейронної мережі;

y^k – еталонний вихід нейронної мережі;

o^k – фактичний вихід нейронної мережі;

b_4', c_4', c_5' – значення цих самих коефіцієнтів на попередньому етапі ітераційного навчання нейронної мережі;

N – кількість комплектів зразкових наборів вхідних (навчальних) даних.

Архітектура комплексу прийняття рішень САК САЕП, представлена на рис. 4.11, буде мати в своєму складі:

- блок нечіткого керування;
- пристрій комутації (вибору режиму);
- базу знань технологічного процесу;
- блок нейромережної адаптації.

На вхід надходитимуть дані щодо потужності, яку здатні забезпечити СП та ВЕУ. Третій вхідний параметр – потужність, яка потрібна споживачу. В залежності від їхніх значень комутаційний пристрій повинен забезпечувати один із режимів:

- Режим 1 – підключення лише сонячної батареї.
- Режим 2 – підключення СП та ВЕУ.
- Режим 3 – підключення СП, ВЕУ та ЕА з ДВЗ.

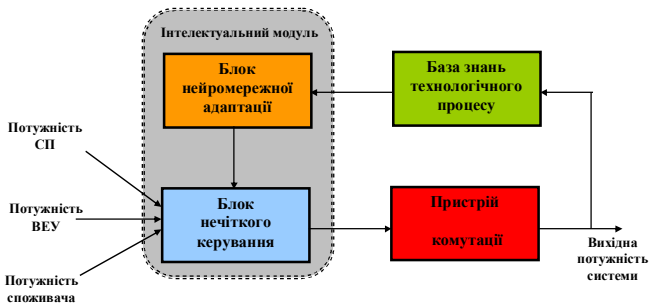


Рис. 4.11. Архітектура САК САЕП

На початковому етапі за допомогою НМ із використанням експертних даних відбувається адекватне налаштування системи керування на основі нечіткої логіки. Далі відбувається запуск САЕП.

У процесі функціонування постійно поповнюється база знань технологічного процесу. При невідповідності якості керування або через певний інтервал часу (встановлюється фахівцем-експертом) інформація із бази даних передається на інтелектуальний модуль, де за допомогою НМ здійснюється перенавчання нечіткої системи. Все це виконується на основі алгоритму зворотного розповсюдження помилки, який можна реалізувати за допомогою модуля Fuzzy Logic Toolbox програмного пакету MatLab[®], а саме графічного інтерфейсу гібридних (нечітких) нейронних мереж ANFIS (Adaptive Network Based Fuzzy Inference System), цей редактор дозволяє автоматично синтезувати з експериментальних даних нейронечіткі мережі [72, 75, 79].

Fuzzy Logic Toolbox – це пакет прикладних програм, що входять до складу середовища MatLab. Він дозволяє створювати системи нечіткого логічного висновку та нечіткої класифікації з можливістю їх інтегрування в Simulink. Базовим опніттям Fuzzy Logic Toolbox є FIS-структура – система нечіткого висновку (Fuzzy Inference System). FIS-структура вміщує всі необхідні дані для реалізації функціонального відображення «входи-виходи» на основі нечіткого логічного висновку [72-74].

ANFIS - Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System запропонована Янгом (Jang) на початку 90-х років [72-74]. ANFIS є одним з перших варіантів гібридно нейро-нечітких мереж – нейронної мережі прямого розповсюдження сигналу особливого типу.

Для ефективного моделювання слід використовувати три блоки наборів експертних даних навчальні (Training data), контрольні (Testing data) та перевіряльні дані (Checking data). Наявність трьох блоків покращує якість подальшої роботи системи керування, оскільки дає можливість впевнитись, що не відбулося «перенавчання» мережі.

Інформаційні блоки слід заповнювати із врахуванням особливостей нейромережного синтезу – дані повинні змінюватись плавно та максимально насичено заповнювати всю область їхніх значень.

Програмний код такої нечіткої системи за допомогою функціональних блоків MatLab® легко перегенерувати на код мови програмування FCL (Fuzzy Control Language). Це дасть можливість інкапсулювати програмне забезпечення, розроблене на мові нечіткого керування FCL, у функціональний блок (на основі стандарту ІЕС 1131-3) програмованих логічних контролерів (PLC – Programmable Logic Controllers) у вигляді структурованого тексту. FCL описана у стандарті ІЕС 1131-7, де визначені цілі розробки мови, її базова структура.

Стандарт ІЕС 1131-7 не надає вимог до обчислювальних середовищ та апаратного забезпечення, що може реалізувати трансляцію, компіляцію і виконання програм на мові FCL.

Завдання стандарту ІЕС 1131-7 полягає у тому, щоб надати розробникам та користувачам однозначні і доступні у розумінні базові засоби, необхідні для інтеграції розробок нечіткого

управління; створити можливості перенесення мобільних програм мов нечіткого виведення між різними середовищами програмування.

Приклад

Завданням нашої САК САЕП є оптимізувати процес енергопостачання для автономного споживача. Він залежить головним чином від:

- метеорологічних та кліматичних умов місцевості (енергетичні потенціали джерел енергії);
- енергетичних потреб автономного споживача;
- обладнання та пристроїв, які входять до складу САЕП.

Передбачити наявність та доступність джерел енергії можна лише з деякою імовірністю (внаслідок стохастичного характеру їх надходження). Тобто, можемо сказати, що присутня певна невизначеність.

Енергетичні потреби автономного споживача також мають елемент невизначеності, оскільки повністю передбачити енергетичні потреби споживача досить складно. Це можна зробити з деякою імовірністю, а врахувати наперед додаткових споживачів енергії майже неможливо, внаслідок чого може змінитися графік енергетичного навантаження автономного споживача та збільшитися пікове навантаження системи, а це, в свою чергу, може призвести до неефективної роботи САЕП та неможливості повністю задовольнити потреби споживача в енергії.

Обладнання та пристрої, які входять до складу САЕП, досить суттєво впливають на задоволення енергетичних потреб автономного споживача. Наперед, неможливо передбачити, в який момент часу може вийти з ладу те чи інше обладнання. Наприклад, якщо з будь-якої причини свою роботу зупинять СБ чи ВЕУ (або разом), то споживач не зможе повністю задовольнити свої енергетичні потреби. А якщо вийде з ладу хоча б один з елементів системи гарантованого живлення, то САЕП взагалі припинить свою роботу.

Виходячи з вищевикладеного, можемо сказати, що САЕП працює в умовах невизначеності.

Постає задача – розробити САК САЕП, яка повинна оптимізувати процес енергопостачання для автономного споживача, враховуючи умови, в яких планується впроваджувати САЕП (енергетичні потенціали ДЕ, енергетичні потреби споживача тощо).

Для визначеності подальші дослідження було виконано з урахуванням умов Кіровоградського регіону, які наведені в джерелах [82-85].

Вхідні параметри:

- Потужність, яку може забезпечити СБ: 0...2,5 кВт;
- Потужність, яку може забезпечити ВЕУ: 0...6 кВт;
- Потужність, яка потрібна споживачу: 0...7 кВт.

Вихідний параметр системи:

- Вибір одного із 3 режимів (записуватимемо в умовних одиницях від 1 до 3).

Для ефективного моделювання було використано три блоки: по 150 наборів експертних даних навчальні (Training data) і контрольні (Testing data); та 35 наборів перевіряльних даних (Checking data). Наявність трьох блоків покращує якість подальшої роботи системи керування, оскільки дає можливість впевнитись, що не відбулося «перенавчання» мережі.

Інформаційні блоки заповнювались із врахування особливостей нейромережного синтезу – дані повинні змінюватись плавно та максимально насичено заповнювати всю область їхніх значень.

Нормування параметрів та зменшення розмірності матриці входів не проводили, оскільки вони технологічно взаємопов'язані та змінюються у однакових порядкових областях. На рис. 4.12 наведено частину даних, які було використано для навчання нейронної мережі.

Активувавши ANFIS Editor, завантажили навчальну вибірку (рис. 4.13).

Нейромережне навчання нечіткої системи розпочали із використанням стандартних налаштувань ANFIS Editor. Функції належності – trimf.

Train - Блокнот			
Файл	Правка	Формат	
X1	X2	X3	Y
0	0	0.001	3
0	0	7	3
0	0	1	3
.....			
0	6	1	2
1.5	0	0.01	1
2	0	4	3
1	1	1	1
2.5	1	2.5	1
1.5	2	3.5	2
.....			
0	5	5	2
0	6	6	2
0.1	2	0.1	1
2	5	6	2
0	6	7	3

Рис. 4.12. Загальний вигляд навчальних даних:

$X1$ – «потужність СБ»; $X2$ – «потужність ВЕУ»;
 $X3$ – «потужність споживача»; Y – вибір одного з режимів

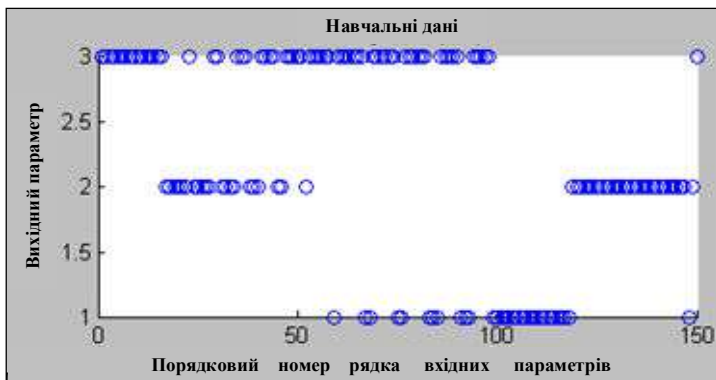


Рис. 4.13. Навчальна вибірка

Запустивши навчання із 500 епохами та гібридним алгоритмом підлаштування функцій належності нечіткої системи отримали середньоквадратичну похибку – 0,24744 у.о. (рис. 4.14).

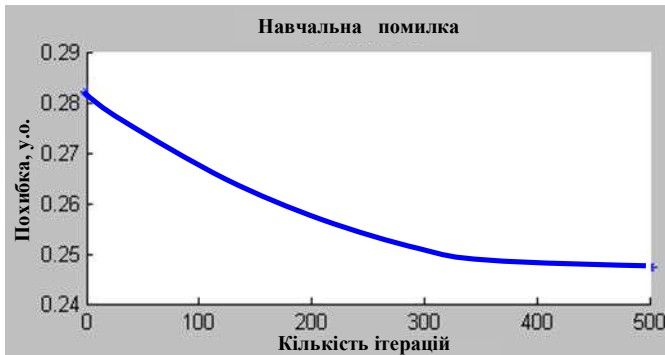


Рис. 4.14. Якість навчання із використанням функції - trimf

У відсотковому відношенні вона становить – 12,37%. Така якість функціонування системи нас не влаштовує. Тому після ряду апробацій вибрали функцію належності gbellmf, що 1000 тренувальних епох забезпечують середньоквадратичну похибку – 0,095218 у.о. (4,76%), наведена на рис. 4.15.

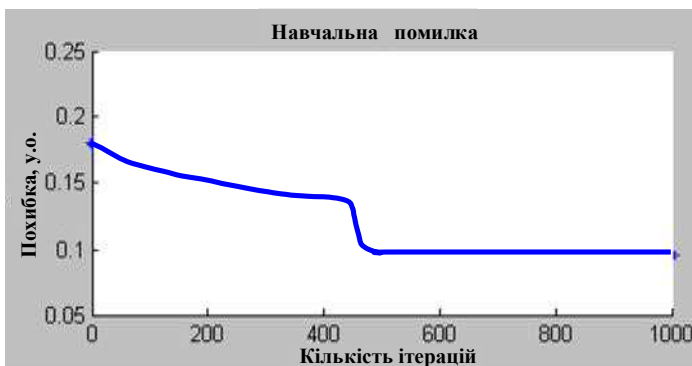


Рис. 4.15. Якість навчання із використанням функції - gbellmf

Потім завантажили блок контрольних даних (рис. 4.16), встановивши, що середньоквадратична похибка роботи нечіткої системи – 20,4 %.

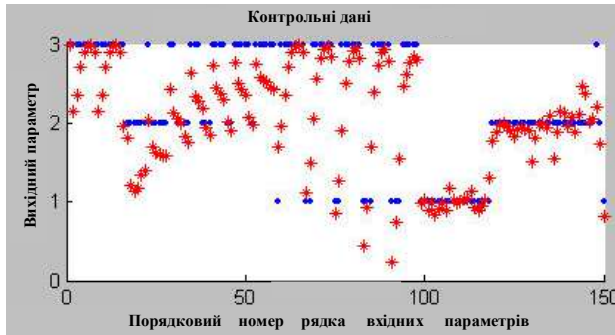


Рис. 4.16. Якість функціонування системи при контрольній вибірці

Після повторних циклів навчання (рис. 4.17) вдалося досягнути середньоквадратичної похибки у розмірі 5,888%.

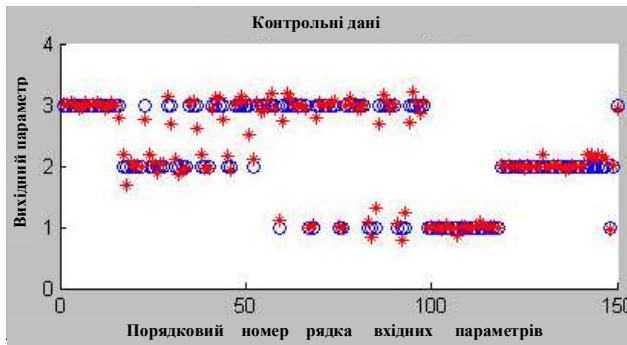


Рис. 4.17. Якість функціонування нечіткої системи при контрольній вибірці після додаткових циклів навчання

Тоді завантажили блок перевіряльник даних (рис. 4.18), який підтвердив адекватність роботи нечіткої системи: середньоквадратична похибка – 6,279%, та відсутність ефекту “перенавчання”.

На рис. 4.19 наведено архітектуру нечіткої системи керування, згідно рекомендацій ANFIS-Editor.

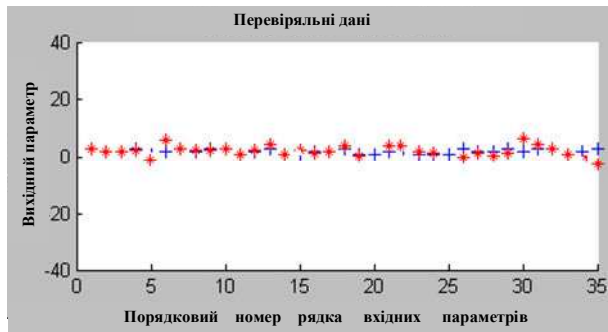


Рис. 4.18. Якість функціонування системи при перевірчальній виборці

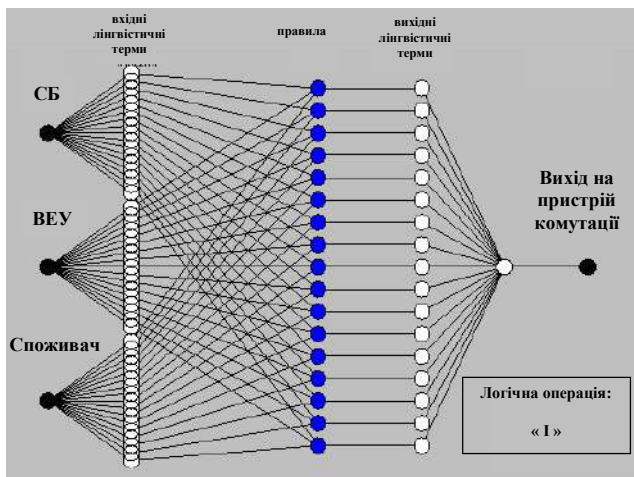


Рис. 4.19. Архітектура САК САЕП (модуль ANFIS-Editor MatLab®)

Потім було створено систему нечіткого висновку (FIS-систему). FIS-система апроксимує залежність між входами та виходами на основі нечіткої бази знань та нечіткого логічного висновку. На рис. 4.20 наведено структуру нечіткої САК САЕП, створеної за допомогою FIS-редактора MatLab®.

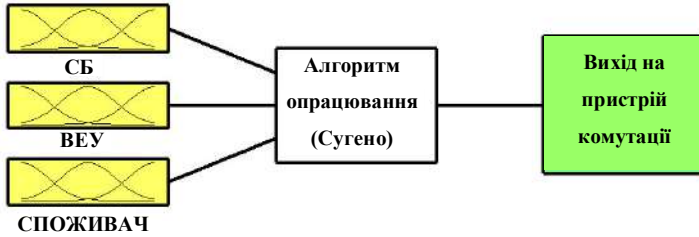


Рис. 4.20. Структура нечіткої САК САЕП (модуль FIS-Editor MatLab®)

Для опрацювання інформації було використано алгоритм Сугено. Сугено – це нечітка база знань, яка ділить простір вхідних змінних на нечіткі зони, в яких зв'язок між вхідними та вихідною змінною задають лінійною функцією. Результат нечіткого висновку отримують як зважену лінійну комбінацію результатів нечітких логічних висновків для кожного правила [72-78].

Алгоритм Сугено використовує набір правил в наступній формі (наводимо приклад двох правил):

$$П_1: \text{якщо } x \in A_1 \text{ і } y \in B_1 \text{ тоді } z_1 = a_1 x + b_1 y,$$

$$П_2: \text{якщо } x \in A_2 \text{ і } y \in B_2 \text{ тоді } z_2 = a_2 x + b_2 y,$$

1. Перший етап — знаходяться ступені істинності для передумов кожного правила: $A_1(x_0), A_2(x_0), B_1(y_0), B_2(y_0)$.

2. На другому етапі знаходяться:

$$\alpha_1 = A_1(x_0) \wedge B_1(y_0),$$

$$\alpha_2 = A_2(x_0) \wedge B_2(y_0)$$

індивідуальні виходи правил:

$$z_1^* = a_1 x_0 + b_1 y_0,$$

$$z_2^* = a_2 x_0 + b_2 y_0$$

3. На третьому етапі визначається чітке значення змінної висновку:

$$z_0 = \frac{\alpha_1 z_1^* + \alpha_2 z_2^*}{\alpha_1 + \alpha_2}$$

де A_1, A_2, B_1, B_2 – нечіткі множини вхідних параметрів САК;
 x та y – відповідно, вхідний та вихідний сигнали;
 α_1, α_2 – ступені істинності;
 z_1, z_2 – індивідуальні виходи правил;
 z_0 – вихід мережі.

Метою аналізу фаззифікації є встановлення відповідності між окремою вхідною змінною системи нечіткого керування і значенням функції належності відповідного їй терму вхідної лінгвістичної змінної.

На рис. 4.21 наведено правила нечітких продукцій для нечіткої САК САЕП з нейропідлаштованими параметрами функцій належності, а на рис. 4.22 – функції належності для термів вхідних змінних.

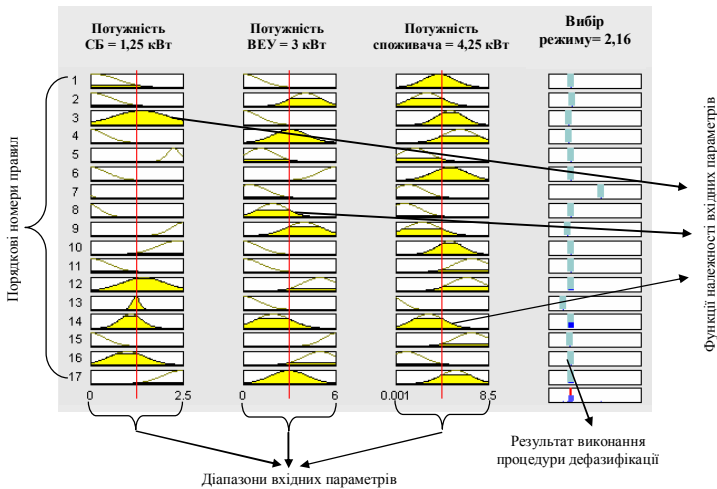


Рис. 4.21. Правила нечітких продукцій САК САЕП

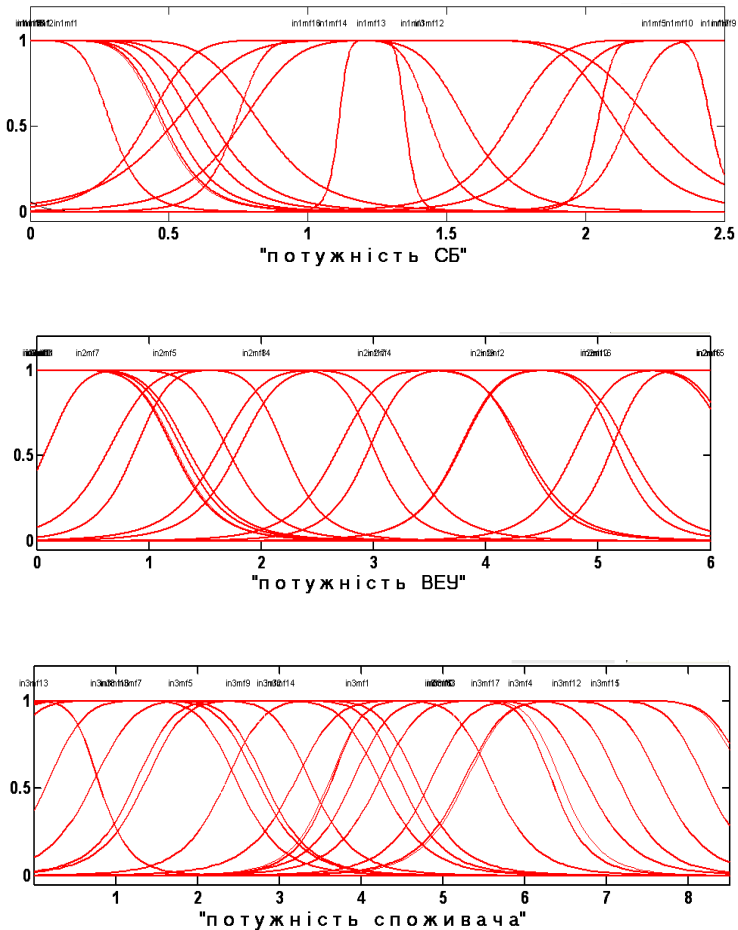


Рис. 4.22. Графіки функцій належності для термів вхідних змінних

Взаємодія алгоритму нечіткого керування САЕП з середовищем програмування, у нашому випадку можна використати такі SCADA-системи як ISaGRAF та Trace Mode, повинна бути прихована від інших програм цього середовища.

Саме тому реалізація алгоритму функціонування програмного забезпечення САК САЕП може бути виконана функціональним блоком, наприклад, у мові FBD/LD.

В прикладі було використано матеріали наступних робіт [71, 79, 86-88].

4.5. *Питання для самоконтролю*

1. Які основні критерії прийняття рішень в умовах невизначеності?
2. Що таке матриця рішень?
3. Що таке матриця «втрат», і в якому критерії її використовують?
4. Які вимоги до процесу електропостачання з відновлюваними джерелами енергії?
5. Для чого призначена система гарантованого живлення?
6. Які показники якості електричної енергії?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Енергетична стратегія України на період до 2030 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/145-2006-p> дата звернення 08.07.2019
2. Звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/11/Zvit-z-otsinky-vidpovidnosti-dostatnosti-generuyuchykh-potuzhnostej.pdf> дата звернення 09.07.2019
3. Україна в цифрах 2017. Статистичний збірник. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2018/zb/08/Ukr_cifra_2017_u.pdf дата звернення 09.07.2019
4. Волеваха Н. М. Нетрадиционные источники энергии / Волеваха Н. М., Волеваха В. А. – К.: Выща шк. Головное изд-во, 1988. – 62 с.
5. Закон України «Про альтернативні джерела енергії» № 555-IV від 20.02.2003 року.
6. Мхитарян Н. М. Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников. Опыт и перспективы / Мхитарян Н. М. – К.: Наукова думка, 1999. – 320 с.
7. Савчук А. Й. Нетрадиційні способи та засоби видобутку електроенергії: [навчальний посібник: частина перша] / Савчук А. Й. – Чернівці: Рута, 2002. – 58 с.
8. Твайдейл Дж. Возобновляемые источники энергии / Твайдейл Дж., Уэйр А. : [пер. с англ.] – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 392 с.
9. Щербина О. М. Енергія для всіх: [технічний довідник з енергоощадності та відновлюваних джерел енергії / Вид. 4-е, допов. і перероб.] / Щербина О. М. – Ужгород: Вид-во В. Падяка, 2007. – 340 с.
10. Матвеев Ю. Б., Конеченков А. Е. Концепция развития солнечной энергетики в Украине / Ю. Б. Матвеев, А. Е. Конеченков. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://masters.donntu.org/2009/fizmet/kucherenko/library/7.htm> дата звернення 09.07.2019

11. Концепція «неатомного» шляху розвитку енергетики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://archive.mama-86.org/archive/files/nconcept.pdf> дата звернення 09.07.2019

12. Відновлювана енергетика. Вітрові електростанції. Організація експлуатації та технічного обслуговування. Норми та вимоги. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://uwea.com.ua/uploads/docs/uwea_2016_report_ua_web_open.pdf. дата звернення 09.07.2019

13. Болога М. К. Солнечная энергия и её использование / Болога М. К. – Кишинев: Штиинца, 1962. – 70 с.

14. Бринкворт Б. Дж. Солнечная энергия для человека / Бринкворт Б. Дж. – М.: Мир, 1976. – 281 с.

15. Даффи Дж. А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии / Дж. А. Даффи, У. А. Бекман: [пер. с англ.]. – М.: Мир, 1977. – 420 с.

16. Кондратьев К. Я. Актинометрия / Кондратьев К. Я. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – 692 с.

17. Паранич С. Ю. Використання енергії Сонця: [навчальний посібник] / Паранич С. Ю. – Чернівці: Рута, 2002. – 47 с.

18. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України / Кудря С.О., Яценко Л.В., Душина Г.П., Шинкаренко Л.Я., Довга В.Т., Васько П.Ф., Бриль А.О., Шурчков А.В., Забарний Г.М., Жовмір М.М., Віхарев Ю.А.. – 2-ге вид. – К.: НАНУ Ін-т електродинаміки ; Державний комітет України з енергозбереження, 2007. – 42 с.

19. Атлас природных условий и естественных ресурсов Украинской ССР. – М.: ГУГК, 1978. – 184 с.

20. Перелік основних нормативно-правових актів, які регулюють діяльність електроенергетичної галузі. 06.05.2014 | 14:02. Перелік основних нормативно-правових актів, які регулюють діяльність електроенергетичної галузі. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/printable_article?art_id=244933449 дата звернення 09.07.2019.

21. Закон України «Про електроенергетику» № №575/97–ВР від 16.10.1997 року (із змінами, внесеними згідно із Законом

№ 1207-VII (1207-18) від 15.04.2014 р., Відомості Верховної Ради України, 2014, № 26).

22. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Державної цільової економічної програми енергоефективності і розвитку сфери виробництва енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива на 2010-2015 роки» № 243 від 01.03.2010 року.

23. Кирюшатов А. И. Использование нетрадиционных возобновляющихся источников энергии в сельскохозяйственном производстве / А. И. Кирюшатов. – М.: Агропромиздат, 1991. – 96 с.

24. Васильев Ю. С. Экология использования возобновляющихся энергоисточников / Васильев Ю. С., Хрисанов Н. И. – Л.: ЛГТУ, 1991. – 343 с.

25. Мхитарян Н. М. Гелиоэнергетика. Системы, технологии, применение / Мхитарян Н. М. – К.: Наукова Думка, 2002. – 300 с.

26. Берлянд Т. Г. Распределение солнечной радиации на континентах / Берлянд Т. Г. – Л. : Гидрометеиздат, 1961. – 228 с.

27. Кондратьев К. Я. Лучистая энергия Солнца / Кондратьев К. Я. – Л. : Гидрометеиздат, 1954. – 600 с.

28. Кондратьев К. Я. Радиационный режим наклонных поверхностей / Кондратьев К. Я., Пивоварова З. И., Федорова М. П. – Л. : Гидрометеиздат, 1978. – 216 с.

29. Андерсон Б. Солнечная энергия: (Основы строительного проектирования) / Андерсон Б.: [пер. с англ. Анисимова А. Р.; Под ред. Малевского Ю. Н.]. – М. : Строииздат, 1982. – 375 с.

30. Зоколей С. Солнечная энергия и строительство / Зоколей С.: [пер. с англ.]. – М. : Строииздат, 1979. – 208 с.

31. Колтун М. М. Солнечные элементы / Колтун М. М. – М.: Наука, 1987. – 192 с.

32. Савицький А. В. Фототермічне перетворення сонячної енергії: [навчальний посібник] / А. В. Савицький, В. І. Микитюк. – Чернівці: Рута, 2003. – 80 с.

33. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей / Раушенбах Г. [пер. с англ.]. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 360 с.

34. Пивоварова З. И. Климатические характеристики солнечной радиации как источника энергии на территории СССР / З. И. Пивоварова, В. В. Стадник. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1988. – 292 с.

35. Голик О.П. Сучасні сонячні системи для автономного енергозабезпечення споживачів агропромислового комплексу / О. П. Голик, Р. В. Жесан // Тези доповідей III Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку енергетики, електротехнологій та автоматики в АПК». – Київ: НУБіП України, 2015. – С. 25-26. 124 с.

36. Харченко Н. В. Индивидуальные солнечные установки. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 208 с.

37. Сонячні колектори. Інтернет-ресурс. – Режим доступу: https://www.slideshare.net/City_Institute/ss-49683292

38. Сонячні колектори для нагріву води: види, способи установки, ефективність роботи. Інтернет-ресурс. – Режим доступу: <http://dominant-wood.com.ua/ua/statti/299-sonyachni-kolektori-dlya-nagrivu-vodi-vidi-sposobi-ustanovki-efektivnist-roboti>

39. Ришард Титко Відновлювані джерела енергії / Р. Титко, В. М. Калініченко. – Варшава: OWG, 2010. – 533 с.

40. Які є типи сонячних батарей: які краще вибрати або зробити своїми руками. Інтернет-ресурс. – Режим доступу: <https://isu.org.ua/yaki-ye-typy-sonyachnyh-batarej-yaki-krashhe-vybraty-abo-zrobyty-svoyimu-rukamy/> дата звернення 11.07.2019

41. Типи сонячних панелей. Інтернет-ресурс. – Режим доступу: <https://www.atmosfera.ua/uk/sonyachni-elektrostantsii/tipi-sonyachnix-panelej/> дата звернення 28.06.2019

42. Топ -3 порад щодо вибору сонячних панелей. Інтернет-ресурс. – Режим доступу: <https://iknet.com.ua/uk/articles/useful-to-know/solar-panels-choosing/> дата звернення 28.06.2019

43. Види сонячних батарей. Типові рішення. Інтернет-ресурс. – Режим доступу: <https://vinur.com.ua/ua/aboutus/usefull-info/articles/158-vidu-solnechnuh-batarej> дата звернення 28.06.2019

44. Енергозбереження та використання поновлюваних джерел енергії. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів денної та заочної форми навчання за напрямом підготовки: 6.100101 «Енергетика та електротехнічні системи в агропромисловому комплексі» / Р. В. Жесан, О. П. Голик. За ред. Р. В. Жесана. – Кіровоград: КНТУ. -2012. - 88 с.

45. Ветроэнергетика / [под. ред. Д. де Ренццо: пер. с англ.: под ред. Я.И. Шефтера]. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 272 с.

46. Шефтер Я. И. Использование энергии ветра / Шефтер Я. И. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 200 с.

47. Харитонов В. П. Автономные ветроэлектрические установки / Харитонов В. П. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2006. – 280 с.

48. Волеваха М. М. Енергетичні ресурси клімату України / Волеваха М. М., Гойса М. І. – К. : Наук. думка, 1967. – 132 с.

49. Основи вітроенергетики: підручник / Г. Півняк, Ф. Шкрабець, О75 Н. Нойбергер, Д. Ципленков ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 335 с. ISBN 978-966-350-526-8

50. Схеми організації вітряних електростанцій. Інтернет-ресурс. – Режим доступу: <https://www.atmosfera.ua/uk/vitryani-elektrostantsii/sxemi-organizacii-vitryanix-elektrostantsij/> дата звернення 16.07.2019

51. Голик О. П., Жесан Р. В. Моделирование работы ветроэнергетической установки та визначення її основних характеристик // Матеріали міжнародної наукової конференції „Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту” (ISDMCI’2008). – Том 2 (частина 1). – Євпаторія: ПП Вишемирський В. С. – 2008. С. 56-57. С. 128

52. Голик О. П. Розрахунок основних показників роботи горизонтально-осьової вітроелектричної установки у складі системи автоматизованого енергопостачання автономного споживача в умовах Кіровоградського регіону / О. П. Голик, Р. В. Жесан, Є. П. Босов, Н. С. Крепак // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць Кіровоград. нац. техн. ун-ту – 2008. – Вип. 21. – С. 224-233.

53. Жесан Р.В., Голик О.П. Визначення потужності вітроелектричної установки для автономного енергопостачання за результатами аналізу даних у Кіровоградському регіоні // Відновлювана енергетика. – 2009. - № 2 (17). – С. 39-42. С. 100

54. Голик О. П., Жесан Р. В. Методика визначення основних показників енергоефективності горизонтально-осьової вітроелектричної установки у складі системи автоматизованого енергопостачання автономного споживача // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України / № 139. – Київ: - НУБІП, 2009. – С. 190-195. С. 211

55. Герасимов Б. М. Нечеткие множества в задачах проектирования, управления и обработки информации / Герасимов Б. М., Грабовский Г. Г., Рюмшин Н. А. – К.: Техніка, 2002. – 140 с.

56. Орловский С. А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации / Орловський С. А. – М.: «Наука». Главная редакция физико – математической литературы, 1981. – 208 с.

57. Таха Х. Введение в исследование операций / Х. Таха, А. Хемди: 7-е издание.: [пер. с англ.] – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. – 912 с.

58. Рева О.М. Прийняття рішень на кожному кроці і ... з посмішкою: посібник для допитливих. – Кіровоград: «Поліграфічні послуги», 2007. – 308 с.

59. Голик О. П. Пошук оптимальних рішень щодо комбінацій енергетичних потоків у автоматизованій системі керування автономним енергопостачанням на основі відновлюваних джерел енергії в умовах невизначеності / О. П. Голик, Р. В. Жесан, Т. Ф. Шмельова // Управление, автоматизация и окружающая среда [Текст]: Материалы международной науч.-техн. конф., Севастополь, 24-28 мая 2010 г. / М-во образования и науки Украины, Севастоп. нац. техн. ун-т [и др.; редкол.: Пашков Е. В. (предс.) и др., науч. ред. Барабанов А. Т.] – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2010. – С. 214-218.

60. Голик О. П. Моделювання процесу прийняття рішень в умовах невизначеності для автоматизованої системи керування автономним енергопостачанням на основі вітрової та сонячної

енергій / О. П. Голик, Р. В. Жесан // Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту: зб. наук. праць за матеріалами міжнар. наук. конф., 17 – 21 травня 2010 р., Євпаторія. Т. 1 – Херсон: ХНТУ, 2010. – С. 170-174.

61. Голик О.П. Пошук оптимальних рішень щодо вибору джерел енергії, які доцільно використовувати для автономного енергопостачання / О.П. Голик// Відновлювана енергетика. – 2013. - № 2. – С. 24-27.

62. Жесан Р. В Основні проблеми, що виникають при створенні систем автоматизованого енергопостачання з використанням комбінованих геліо-вітрових установок автономного сільськогосподарського споживача / Р. В. Жесан, С. П. Плешков, О. П. Деморецька, В. О. Шкабура // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць Кіровоград. нац. техн. ун-ту – 2006. – Вип. 17. – С. 312-316.

63. Правила устройства электроустановок. – Видання офіційне. Міненерговугілля України. – Х.: Видавництво «Форт», 2017. – 760 с.

64. Кирпатенко І. М. Прилад автоматичного управління зарядом – розрядом акумуляторів (зарядно – розрядний контролер) / І. М. Кирпатенко // Матеріали 2 Международной конференции «Нетрадиционная энергетика в XXI веке». – Ялта. – 2001. – С. 98-100.

65. Жесан Р. В. Концепція автономної системи енергопостачання з використанням відновлюваних джерел енергії та системи автоматичного керування нею / Р. В. Жесан // Збірник наукових праць Кіровоградського державного технічного університету. – Кіровоград. – № 8. – 2001. – С. 117-120.

66. Плешков С. П. Система автоматичного контролю енергетичних режимів сільськогосподарського виробництва / С. П. Плешков //Збірник наукових праць Кіровоградського інституту сільськогосподарського машинобудування /техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація./ – Кіровоград: - КІСМ, 1998. – Вип. 3. – С. 118-121.

67. Голик О. П. Структура автоматизованої системи керування автономним енергопостачанням на основі

відновлюваних джерел енергії [Електронний ресурс] / О. П. Голик, Р. В. Жесан, І. В. Волков // Науковий електронний журнал «Енергетика і автоматика». – 2010. – № 1(3). – Режим доступу до журн.: http://www.nbuu.gov.ua/e-journals/eia/2010_1/index.htm.

68. Двигатели внутреннего сгорания : учебник для студ. вузов, обучающихся по спец. "Автомобили и автомобильное хозяйство" направления подгот. дипломиров. специалистов "Эксплуатация наземного транспорта и транспортного оборудования" / [В. Н. Луканин, И. В. Алексеев, М. Г. Шатров и др.]. – 2-изд., перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 2005. – 400 с.

69. Станиславский Л. В. Двигатели внутреннего сгорания: [учеб. пособие] / Л. В. Станиславский, О. П. Дзедина // Восточноукраинский ун-т. – К.: ИСИО, 1994. – Ч. 1. – 100 с.

70. Голик О. П. Автоматизована система керування автономним енергопостачанням на основі комбінованих вітро-сонячних установок / О. П. Голик, Р. В. Жесан // Відновлювана енергетика. – 2010. – № 4 (23). – С. 20-22.

71. Голик О. П. Обґрунтування вибору апарату нечіткої логіки з нейромережною адаптацією для керування системою автономного енергопостачання на основі вітро-сонячних установок / О. П. Голик, Р. В. Жесан, В. М. Штепа // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць Кіровоград. нац. техн. ун-ту – 2011. – Вип. 24. Ч. II. – С. 206-213.

72. Леоненков А. В. Нечёткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / Леоненков А. В. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.

73. Kevin M. Passino. Fuzzy Control / Kevin M. Passino, Stephen Yurkovich. – Ohio State University, 2001 y. – 572 p.

74. Деменков Н. П. Нечеткое управление в технических системах: [Учебное пособие] / Деменков Н. П. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. – 200 с.

75. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский. Л.; пер. с польск. – М.: Горячая линия - Телеком, 2004. – 452 с.

76. Асаи К. Прикладные нечеткие системы / К. Асаи, Д. Ватада, С. Иваи./Под ред. Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугено.- М.: Мир, 1993. – 368 с.

77. Круглов В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / Круглов В. В. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 382 с.

78. Рассел С. Искусственный интеллект: [современный подход, 2-е изд.: Пер с англ.] / С. Рассел, П. Норвиг. – М.: Вильямс, 2006. – 1408 с.

79. Голик О. П. Нейроадаптивний контур нечіткої системи керування автономним енергопостачанням на основі енергій сонця та вітру / О. П. Голик, Р. В. Жесан, В. М. Штепа // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК» / № 161. – Київ: НУБІП, 2011. – С. 133-142.

80. D. M. Frezi, V. M. Chobaniuk, M. O. Halushchak, O. S. Krynytskyi, and H. D. Mateik, “Fotoelectrychni peretvoriuvachi soniachnoho vyprominiuvannia. Dosiahnennia, suchasnyi stan i tendentsii rozvytku”, Pizyka i himiia tverdoho tila, vol. 13, no. 1, s. 7-20, 2012. / Д. М. Фрезі, В. М. Чобанюк, М. О. Галушчак, О. С. Криницький, та Г. Д. Матеїк, “Фотоелектричні перетворювачі сонячного випромінювання. Досягнення, сучасний стан і тенденції розвитку”, Фізика і хімія твердого тіла, т. 13, №1, с. 7-20, 2012. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://page.if.ua/uploads/pcss/vol13/!1303-29.pdf>

81. FirstSolar. “Q1 2011 Earnings Call.” Accessed August (2011).

82. Голик О.П. Методика визначення імовірнісних характеристик інтенсивності сонячного випромінювання / О.П. Голик, Р.В. Жесан, В.О. Зубенко // Матеріали VI міжнародної науково-технічної конференції, присвяченої пам'яті академіка І.І. Мартиненка “Енергозабезпечення технологічних процесів в агропромисловому комплексі України». Секція Альтернативні джерела енергії, енергопостачання, станції та підстанції (10-14 червня 2015 року). – Мелітополь. ТДАТУ, 2015. С. 76-77. С. 107.

83. Голик О.П. Визначення аналітичного виразу імовірності надходження інтенсивності сонячного випромінювання /

О.П. Голик, Р.В. Жесан, В.О. Зубенко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2015. – Вип. 15., Т. 2. С. 175-180. С. 382.

84. Дослідження енергетичного потенціалу сонячної енергії в Кіровоградському регіоні / О.П. Голик, С.Г. Стеценко, П.А. Цирфа // Тези доповідей III Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології в освіті, науці і техніці» (ІТОНТ-2016): Черкаси, 12-14 травня 2016 р. – Черкаси: ЧДТУ, 2016. – 260 с. С. 16-17.

85. Голик О. П. Моделювання імовірності надходження сонячної радіації для систем очищення від нафтових забруднень / О. П. Голик, Р. В. Жесан, Ісмаїл Мухаммед // Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту: Матеріали міжнародної наукової конференції., с. Залізний Порт, 21-25 травня 2019 р. – Херсон: Видавництво ФОП Вишемирський В.С., 2019. – С. 42-43. С. 240.

86. Голик Е. П. Нейросетевая адаптация системы автоматического управления процессом автономного энергоснабжения / Е. П. Голик, М. С. Мирошниченко, И. А. Березюк, И. В. Волков // Автоматизированное проектирование в машиностроении: материалы I Международной заочной научно-практической конференции / НОЦ «МС». – Новокузнецк: Издательский центр СибГИУ, 2013. – С. 44-48. С 168.

87. Голик О. П. Нейромережна адаптація системи автоматичного керування процесом автономного енергопостачання від альтернативних джерел енергії / О. П. Голик, Ю. Б. Беляєв // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2014. - №1. – С. 44-52. С 90.

88. Fuzzy neural network energy control system. / Holyk O., Zhesan R., Miroshnichenko M., Volkov I. // Zbiór artykułów naukowych. Konferencji Międzynarodowej Naukowo-Praktycznej «Inżynieria i technologia. Aktualne naukowe problemy. Rozpatrzenie, decyzja, praktyka» (Gdańsk, Polska, 30.03.2016 – 31.03.2016) – Warszawa: Wydawca: Sp. z o.o. «Diamond trading tour», 2016. – Str. 12-16.

СЛОВНИК ТЕРМІНІВ

Терміни та визначення, що наведені в даному навчальному посібнику, стосуються електроенергетичної галузі та використані з законодавчих та нормативних актів України.

Автономна ВЕУ – комплекс обладнання, який складається з ВЕУ, системи керування та пристроїв навантаження різного призначення (для електронагріву, опріснення води, заряду акумуляторних батарей та ін.), який зберігає працездатність в робочому діапазоні швидкостей вітру без зв'язку з електричною мережею.

Аеротермальна енергія - енергія, що накопичена в формі теплової енергії у повітряному середовищі.

Альтернативна енергетика - сфера енергетики, що забезпечує вироблення електричної, теплової та механічної енергії з альтернативних джерел енергії.

Альтернативні види палива - тверде, рідке та газове паливо, яке є альтернативою відповідним традиційним видам палива і яке виробляється (видобувається) з нетрадиційних джерел та видів енергетичної сировини.

Альтернативні джерела енергії - відновлювані джерела енергії, до яких належать енергія сонячна, вітрова, геотермальна, гідротермальна, аеротермальна, енергія хвиль та припливів, гідроенергія, енергія біомаси, газу з органічних відходів, газу каналізаційно-очисних станцій, біогазів, та вторинні енергетичні ресурси, до яких належать доменний та коксівний газ, газ метан дегазації вугільних родовищ, перетворення скидного енергопотенціалу технологічних процесів.

Анемометр – прилад для вимірювання швидкості, а часто і напрямку руху потоків (газів і рідин), наприклад, повітря; швидкість потоку вимірюється за швидкістю обертання ротора з лопатками або півкулястими чашками.

Анерумбометр – електричний прилад, який передає по проводах дані про напрямок та швидкість вітру.

Біоводень - водень, отриманий з біомаси і є одним з видів біогазу.

Біогаз - газ, отриманий з біомаси, що використовується як паливо.

Біодизельне паливо (біодизель) - метилові та/або етилові етери вищих органічних кислот, отриманих з рослинних олій або тваринних жирів, що використовуються як біопаливо або біокомпонент.

Біокомпонент - біопаливо, що використовується як компонент інших видів палива.

Біологічні види палива (біопаливо) - тверде, рідке та газове паливо, виготовлене з біологічно відновлювальної сировини (біомаси), яке може використовуватися як паливо або компонент інших видів палива.

Біомаса - невикопна біологічно відновлювана речовина органічного походження, здатна до біологічного розкладу, у вигляді продуктів, відходів та залишків лісового та сільського господарства (рослинництва і тваринництва), рибного господарства і технологічно пов'язаних з ними галузей промисловості, а також складова промислових або побутових відходів, здатна до біологічного розкладу.

Виробник електричної енергії - суб'єкт господарювання, який здійснює виробництво електричної енергії.

Виробництво електричної енергії - господарська діяльність, пов'язана з перетворенням енергетичних ресурсів будь-якого походження, у тому числі альтернативних джерел енергії, на електричну енергію за допомогою технічних засобів з метою її продажу на підставі договору.

Виробництво електричної енергії - діяльність, пов'язана з перетворенням енергії з енергетичних ресурсів будь-якого походження в електричну енергію за допомогою технічних засобів.

Виробництво елементів обладнання об'єкта електроенергетики - діяльність, пов'язана з випуском продукції, яка включає виконання достатнього рівня виробничих та технологічних операцій, за результатами яких змінюється класифікаційний код товару згідно з УКТ ЗЕД на рівні будь-якого з перших чотирьох знаків, при цьому операції, що здійснюються в процесі виробництва, не повинні бути

простими складальними операціями згідно з положеннями митного законодавства.

Відновлювані джерела енергії - відновлювані невикопні джерела енергії, а саме енергія сонячна, вітрова, аеротермальна, геотермальна, гідротермальна, енергія хвиль та припливів, гідроенергія, енергія біомаси, газу з органічних відходів, газу каналізаційно-очисних станцій, біогазів.

Вітроагрегат – система, яка складається з вітродвигуна, трансмісії та приводної машини (генератора, насоса та ін.).

Вітрова електростанція - група вітрових електричних установок або окрема вітрова електроустановка, устаткування і споруди, розташовані на одній території, які функціонально зв'язані між собою і становлять єдиний комплекс, призначений для вироблення електроенергії шляхом перетворення кінетичної енергії вітру в електричну енергію.

Вітрова електроустановка - електрична установка, що перетворює кінетичну енергію вітру на електричну енергію.

Вітродвигун – пристрій для перетворення енергії вітру в механічну енергію обертання ВК.

Вітроелектрична установка – установка, яка призначена для перетворення енергії вітру в електричну енергію.

Вітроенергетика – галузь альтернативної енергетики, яка спеціалізується на перетворенні кінетичної енергії вітру в електричну енергію.

Вітроенергетика – галузь енергетики, яка пов'язана з розробкою методів та засобів перетворення енергії вітру в механічну, теплову та електричну енергію.

Вітроенергетична установка – комплекс взаємопов'язаного обладнання та споруд, призначений для перетворення енергії вітру в інші види енергії.

Вітроколесо – пристрій, який сприймає вітровий потік та перетворює енергію вітру в механічну енергію обертання вітроколеса.

Вразливі споживачі - побутові споживачі, визначені у встановленому Кабінетом Міністрів України порядку, які мають право на передбачені законом підтримку для відшкодування витрат на оплату спожитої електричної енергії та/або захист від відключення у певні періоди.

Вторинні енергетичні ресурси - енергетичний потенціал продукції, відходів, побічних і проміжних продуктів, який утворюється в технологічних агрегатах (установках, процесах) і не використовується в самому агрегаті, але може бути частково або повністю використаний для енергопостачання інших агрегатів (процесів).

Геотермальна енергія - енергія, що накопичена у формі теплової енергії під твердим шаром земної поверхні.

Гідротермальна енергія - енергія, що накопичена у формі теплової енергії в поверхневих водах.

Діаметр вітроколеса – діаметр кола, який описується найбільш віддаленими від осі обертання вітроколеса частинами лопатей.

Електрична енергія - енергія, що виробляється на об'єктах електроенергетики і є товаром, призначеним для купівлі-продажу.

Електрична мережа - сукупність електроустановок для передачі та/або розподілу електричної енергії.

Електроенергетика - галузь економіки України, що забезпечує споживачів електричною енергією.

Електростанція - електроустановка або група електроустановок, призначених для виробництва електричної енергії або комбінованого виробництва електричної та теплової енергії.

Електроустановка - комплекс взаємопов'язаних устаткування і споруд, що призначаються для виробництва або перетворення, передачі, розподілу чи споживання електричної енергії.

Енергетична характеристика вітроустановки – залежність вихідної потужності вітроустановки від швидкості вітру.

Енергія - електрична чи тепла енергія, що виробляється на об'єктах електроенергетики і є товарною продукцією, призначеною для купівлі-продажу.

Енергія, вироблена з альтернативних джерел - електрична, тепла та механічна енергія, яка виробляється на об'єктах альтернативної енергетики і може виступати товарною продукцією, призначеною для купівлі-продажу.

Енерговикористання - комплекс дій персоналу об'єкта та роботи його обладнання і технологій, пов'язаних із процесами від одержання (виробництва) енергії до її споживання.

Енергоефективний проект - проект, спрямований на скорочення енергоспоживання, а саме: реконструкція мереж і систем постачання, регулювання і облік споживання води, газу, теплової та електричної енергії, модернізація огорожувальних конструкцій та технологій виробничих процесів.

Енергоефективні продукція, технологія, обладнання - продукція або метод, засіб її виробництва, що забезпечують раціональне використання ПЕР порівняно з іншими варіантами використання або виробництва продукції однакового споживчого рівня чи з аналогічними техніко-економічними показниками.

Енергоефективність - властивість обладнання, технології, виробництва або систем загалом, яка характеризує міру використання енергії на одиницю кінцевого продукту. Енергоефективність може бути оцінена за допомогою показників як кількісно (кВт·год, тони умовного палива, кДж на одиницю кінцевого продукту), так і якісно (низька, висока). Підвищення енергоефективності досягається за рахунок реалізації системи цілеспрямованих організаційних і технічних заходів.

Енергоефективність та управління попитом - всеохоплюючий або інтегрований підхід, спрямований на здійснення впливу на обсяг та графік споживання електричної енергії з метою зменшення споживання первинної енергії та максимальних (пікових) навантажень, при цьому перевага надається залученню інвестицій, спрямованих на підвищення енергоефективності та засоби регулювання навантаження, а не інвестиціям у збільшення генеруючих потужностей, якщо перші із зазначених заходів є більш ефективним та економічним варіантом, враховуючи позитивний вплив на навколишнє природне середовище в результаті скорочення споживання енергії та аспекти, пов'язані з безпекою постачання, і пов'язані з ними витрати на розподіл.

Енергозбереження — це багатогранна діяльність, процес, комплекс заходів, які супроводжують усі стадії життєвого циклу

об'єктів господарювання, спрямовані на раціональне використання енергетичних ресурсів. У ході цього процесу діяльності знижується потреба в ПЕР на одиницю кінцевого продукту і зменшується несприятливий вплив на навколишнє середовище.

Енергозберігаюча політика - адміністративно-правове і фінансово-економічне регулювання процесів видобування, переробки, транспортування, зберігання, виробництва, розподілу та використання ПЕР з метою їх раціонального використання та економного витрачання.

Енергозберігаючі (енергоефективні) заходи - заходи, спрямовані на впровадження та виробництво енергоефективних продукції, технологій та обладнання.

Зелений тариф - спеціальний тариф, за яким закупається електрична енергія, вироблена на об'єктах електроенергетики, у тому числі на введених в експлуатацію чергах будівництва електричних станцій (пускових комплексах), з альтернативних джерел енергії (крім доменного та коксівного газів, а з використанням гідроенергії - вироблена лише мікро-, міні- та малими гідроелектростанціями).

Коефіцієнт корисної дії вітроустановки – відношення корисної енергії, яка генерується вітроустановкою, до повної енергії вітру, яка проходить через площу поверхні, яку обмітає вітроколесо.

Лопать вітроколеса – складова частина вітроколеса, яка створює крутний момент.

Мала гідроелектростанція - електрична станція, що виробляє електричну енергію за рахунок використання гідроенергії, встановлена потужність якої становить більше 1 МВт, але не перевищує 10 МВт.

Мережа (електрична чи теплова) - сукупність енергетичних і трубопровідних установок для передачі та розподілу електричної енергії, гарячої води та пари.

Механізм втілення енергозбереження в життя - реалізація законодавчих, правових, організаційних, технічних, економічних, наукових та інформаційних заходів, спрямованих на ефективне використання енергетичних ресурсів та поліпшення стану навколишнього середовища.

Міждержавна лінія електропередачі - лінія електропередачі, що перетинає кордон між Україною та іншою державою і з'єднує об'єднану енергетичну систему України з системою передачі суміжної держави.

Мікрогідроелектростанція - електрична станція, що виробляє електричну енергію за рахунок використання гідроенергії, встановлена потужність якої не перевищує 200 КВт.

Мінігідроелектростанція - електрична станція, що виробляє електричну енергію за рахунок використання гідроенергії, встановлена потужність якої становить більше 200 КВт, але не перевищує 1 МВт.

Мінімальна робоча швидкість вітру - мінімальна швидкість вітру, при якій забезпечується робота вітроагрегату з номінальною частотою обертання на холостому ходу.

Надзвичайна ситуація в об'єднаній енергетичній системі України - ситуація, за якої виникає загроза порушення режиму роботи об'єднаної енергетичної системи України або її окремих частин, зокрема, внаслідок дефіциту електричної енергії та/або потужності, зниження частоти нижче гранично допустимих меж, порушення режиму допустимих перетоків і перевантаження мережевих елементів, зниження напруги в контрольних точках енергосистеми до аварійного рівня.

Непобутовий споживач - фізична особа - підприємець або юридична особа, яка купує електричну енергію, що не використовується нею для власного побутового споживання.

Нераціональне (неефективне) використання ПЕР - прямі втрати ПЕР, їх марнотратне витрачання та використання ПЕР понад показники питомих витрат, визначених системою стандартів, а до введення в дію системи стандартів - нормами питомих витрат палива та енергії.

Нетрадиційні джерела та види енергетичної сировини - сировина рослинного походження, відходи, тверді горючі речовини, інші природні і штучні джерела та види енергетичної сировини, у тому числі нафтові, газові, газоконденсатні і нафтогазоконденсатні вичерпані, непромислового значення та техногенні родовища, важкі сорти нафти, природні бітуми, газонасичені води, газогідрати тощо, виробництво (видобуток) і

переробка яких потребує застосування новітніх технологій і які не використовуються для виробництва (видобутку) традиційних видів палива.

Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії - джерела, що постійно існують або періодично з'являються в навколишньому природному середовищі у вигляді потоків енергії Сонця, вітру, тепла Землі, енергії морів, океанів, річок, біомаси.

Номінальна потужність вітроустановки – максимальне значення вихідної потужності.

Об'єднана енергетична система України (ОЕС України) - сукупність електростанцій, електричних мереж, інших об'єктів електроенергетики, що об'єднані спільним режимом виробництва, передачі та розподілу електричної енергії при централізованому управлінні цим режимом.

Об'єкт електроенергетики - електрична станція (крім ядерної частини атомної електричної станції), електрична підстанція, електрична мережа.

Об'єкти альтернативної енергетики - енергогенеруюче та інше обладнання, що виробляє енергію за рахунок використання альтернативних джерел енергії, частка яких становить не менш як 50 відсотків від встановленої потужності всіх задіяних на об'єкті джерел енергії.

Особливо важливі об'єкти електроенергетики - об'єкти, що забезпечують стале функціонування ОЕС України, руйнація або пошкодження яких призведе до порушення електропостачання суб'єктів господарювання і побутових споживачів, можливих людських жертв і значних матеріальних збитків.

Паливно-енергетичні ресурси (ПЕР) - сукупність всіх природних і перетворених видів палива та енергії, які використовуються в національному господарстві.

Передача електричної енергії - транспортування електричної енергії електричними мережами оператора системи передачі від електричних станцій до пунктів підключення систем розподілу та електроустановок споживання (не включаючи постачання електричної енергії), а також міждержавними лініями.

Побутовий споживач - індивідуальний побутовий споживач (фізична особа, яка використовує електричну енергію для забезпечення власних побутових потреб, що не включають професійну та/або господарську діяльність) або колективний побутовий споживач (юридична особа, створена шляхом об'єднання фізичних осіб - побутових споживачів, яка розраховується за електричну енергію за показами загального розрахункового засобу обліку в обсязі електричної енергії, спожитої для забезпечення власних побутових потреб таких фізичних осіб, що не включають професійну та/або господарську діяльність).

Раціональне використання ПЕР - досягнення максимальної ефективності використання ПЕР при існуючому рівні розвитку техніки та технології і одночасному зниженні техногенного впливу на навколишнє природне середовище.

Розподіл електричної енергії - транспортування електричної енергії від електроустановок виробників електричної енергії або електроустановок оператора системи передачі мережами оператора системи розподілу, крім постачання електричної енергії.

Розрахункова швидкість вітру – мінімальна швидкість вітру, при якій Вітроагрегат починає розвивати номінальну потужність.

Система передачі електричної енергії - система ліній, допоміжного обладнання, обладнання для трансформації та перемикачів, що використовується для передачі електричної енергії.

Система розподілу електричної енергії - система ліній, допоміжного обладнання, обладнання для трансформації та перемикачів, що використовується для розподілу електроенергії.

Сонячна енергетика – використання сонячної енергії для отримання електричної або теплової енергії в будь-якому зручному для їх застосування вигляді. Сонячна енергетика використовує поновлюване джерело енергії і у майбутньому, може стати екологічно чистою, тобто такою, що не виробляє шкідливих відходів.

Сонячна панель — тип збірних панелей для поглинання енергії сонячних променів та її перетворення у електричну чи теплову.

Сонячний колектор — пристрій для збору енергії випромінювання Сонця у видимому та інфрачервоному спектрі.

Споживач - фізична особа, у тому числі фізична особа - підприємець, або юридична особа, що купує електричну енергію для власного споживання.

Сфера альтернативних джерел енергії - галузь діяльності, що пов'язана з використанням альтернативних джерел енергії для виробництва, постачання, транспортування, зберігання, передачі та споживання енергії, виробленої з альтернативних джерел.

Навчальне видання
ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ
ПОНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Частина I

Для здобувачів освіти за спеціальністю
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Укладачі: *Голик Олена Петрівна*
Жесан Роман Володимирович
Волков Ігор Васильович
Чеканов Олександр Олександрович
Березюк Ірина Анатоліївна

В авторській редакції

Технічний редактор – *Лисенко В.Ф.*

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 11,16.
Облік. видав арк. 7,01. Тираж 90. Зам 39.

Видавець та виготовлювач СПД ФО Лисенко В.Ф.
25029, м. Кропивницький, вул. Пацаєва, 14, корп. 1, кв. 101
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3904 від 22.10.2010
тел.: (0522) 322-326

**HOLYK Olena, ZHESAN Roman, VOLKOV Ihor
CHEKANOV Oleksandr, BEREZYUK Irina**

**ENERGY SAVING AND APPLICATION OF
RENEWABLE ENERGY SOURCES**



Part I