

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК
СЕКЦІЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. Кафедри КН

_____ А. С. Довбиш

« ____ » _____ 2020 р.

Кваліфікаційна робота магістра

зі спеціальності 151-Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

на тему:

“Система керування мережею споживання енергії вітрогенераторної станції”

Керівник роботи: _____ Т. В. Коротка

ДИПЛОМНИК:

студент гр. СУмдн-92П

_____ М. Г. Парган

Суми – 2020 р.

Реферат

Парган Максим Геннадійович. Система керування мережею споживання енергії вітрогенераторної станції. – Комп'ютерний набір тексту. – Кваліфікаційна робота магістра зі спеціальності 151 -"Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології". – Сумський державний університет, Суми, 2020.– 78 сторінка пояснювальної записки, до складу якої входять 31 рисунків, 11 таблиць, графічно конструкторська документація складається з презентації.

В даній роботі розглянуто систему керування мережею споживання енергії вітрогенераторної станції. Застосування моделі так званої електричної пружини приводить до того, що параметри цієї мережи лежать в допустимих межах. Тому керування за допомоги електричної пружини покращує відгук системи та дозволяє споживачам ефективно використовувати енергію від вітрогенераторної станції.

Ключові слова: система керування, електрична мережа, генератор, вітер.

Summary

Pargan Maxim Gennadyevich. Control system for the wind power plant energy consumption network. - Computer typing. - Qualifying work of the master on a specialty 151 - "Automation and computer-integrated technologies". - Sumy State University, Sumy, 2020.– 78 pages of explanatory note, which includes 31 figures, 11 tables, graphic design documentation consists of a presentation.

This paper considers the control system of the energy consumption network of the wind generator. The use of the model of the so-called electric spring control parameters of this network to be within acceptable limits. Therefore, electric spring control improves system response and allows consumers to use energy from the wind power generator station efficiently.

Keywords: control system, electrical network, generator, wind.

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра: “Комп’ютерних наук”

Секції: Секція комп’ютеризованих систем управління

Спеціальність: 151 - "Автоматизація комп’ютерно-інтегрованих технологій"

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. Кафедри КН

_____ А. С. Довбиш

« ____ » _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра студенту:

Паргану Максиму Геннадійовичу

(Прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: “ Система керування мережею споживання енергії вітрогенераторної станції”.

затверджена наказом по університету

від 19 листопада 2020 р № 1797-III

2. Термін здачі студентом закінченої роботи: 28.11.2020г

3. Вихідні дані до роботи: Завдання кафедри, матеріали переддипломної практики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

1. ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ.

2. ВІТРОГЕНЕРАТОРИ.

3. ОПИС ТИПОВОЇ ВІТРОГЕНЕРАТОРНОЇ СТАНЦІЇ.

4. НАУКОВИЙ ПІДХІД ДО СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МЕРЕЖЕЮ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ ВІТРОГЕНЕРАТОРНОЇ СТАНЦІЇ

5. ОХОРОНА ПРАЦІ.

6. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.

5. Перелік графічного матеріалу:

1. АВТОНОМНЕ ПІДКЛЮЧЕННЯ ВІТРОГЕНЕРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ.

2. МЕРЕЖЕВЕ ПІДКЛЮЧЕННЯ ВІТРОГЕНЕРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ

3. ТИПОВА МІКРОМЕРЕЖА В РЕЖИМІ ПІДКЛЮЧЕННЯ ВІТРОГЕНЕРАТОРА.

4. СХЕМА КОНТРОЛЕРА ДЛЯ СИСТЕМИ ІЗ ЕЛЕКТРИЧНОЮ ПРУЖИНОЮ

5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРУЖИНИ

6. (ПЛАКАТ) КАЛЬКУЛЯЦІЯ СОБІВАРТОСТІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МЕРЕЖЕЮ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ ВІТРОГЕНЕРАТОРНОЇ СТАНЦІЇ

6. Дата видачі завдання 7.10.20.

Керівник _____ Т. В. Коротка
(підпис)

Завдання прийняв до виконання _____ М. Г. Парган
(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Найменування етапів кваліфікаційної роботи магістра	Терміни виконання етапів		Примітка
		початку	закінчення	
1.	АНАЛІЗ ЗАВДАННЯМ КАФЕДРИ. ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ.	14.10.20	29.10.20	
2.	ВІТРОГЕНЕРАТОРИ.	29.10.20	03.11.20	
3.	ОПИС ТИПОВОЇ ВІТРОГЕНЕРАТОРНОЇ СТАНЦІЇ. НАУКИЙ ПІДХІД ДО СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МЕРЕЖЕЮ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ ВІТРОГЕНЕРАТОРНОЇ СТАНЦІЇ	03.11.20	13.11.20	
4.	ОХОРОНА ПРАЦІ	13.11.20	14.11.20	
5.	ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.	14.11.20	15.11.20	
6.	РОЗРОБКА ГРАФІЧНОЇ КОНСТРУКТОРСЬКОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ РОБОТИ	15.11.20	20.11.20	
7.	ОФОРМЛЕННЯ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ, ГРАФІЧНОЇ КОНСТРУКТОРСЬКОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ	20.11.20	23.11.20	
8.	ПРЕДСТАВЛЕННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ МАГІСТЕРА КЕРІВНИКУ І ОДЕРЖАННЯ ВІДГУКУ	23.11.20	28.11.20	
9.	ЗДАЧА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ МАГІСТЕРА ДЛЯ РЕЦЕНЗУВАННЯ	28.11.20	03.12.20	

Студент _____ М. Г. Парган
(підпис)

Керівник роботи: _____ Т. В. Коротка
(підпис)

Зміст

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	3
ВСТУП.....	4
1. ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ	5
1.1 ВІТРОЕНЕРГЕТИКА.....	6
1.2 ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ВІТРОВИХ УСТАНОВОК.....	7
1.3 АКТУАЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ВІТРОЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ.....	8
2. ВІТРОГЕНЕРАТОРИ.....	10
2.1 ПРИНЦИП РОБОТИ.....	11
2.2 КЛАСИФІКАЦІЯ ВІТРОГЕНЕРАТОРІВ.....	13
2.3 ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ ВІТРОГЕНЕРАТОРНИХ СТАНЦІЙ.....	16
3. ОПИС ТИПОВОЇ ВІТРОГЕНЕРАТОРНОЇ СТАНЦІЇ.....	18
3.1 ВІТРОГЕНЕРАТОР.....	18
3.2 АКУМУЛЯТОРНІ БАТАРЕЇ.....	22
3.3 ІНВЕРТОР.....	26
3.4 КОНТРОЛЕР.....	29
3.5 СХЕМИ ПІДКЛЮЧЕННЯ ВІТРОГЕНЕРАТОРНОЇ СТАНЦІЇ.....	30
4. НАУКОВИЙ ПІДХІД ДО СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МЕРЕЖЕЮ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ ВІТРОГЕНЕРАТОРНОЇ СТАНЦІЇ.....	32
4.1 ОПИС ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРУЖИНИ.....	33
4.2 СИСТЕМА КЕРУВАННЯ НАПРУГИ ЕЛЕКТРИЧНОЮ ПРУЖИНОЮ.....	43
4.3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	47
5. ОХОРОНА ПРАЦІ	55
5.1 АНАЛІЗ ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ЧИННИКІВ ПРИ РОЗРОБЦІ І ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМИ.....	55
5.2. НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ (ЧС).....	58
5.3. РОЗРАХУНОК ЗАЗЕМЛЕННЯ ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ПІДСТАНЦІЇ.....	59
6. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	63
6.1. СВОЇ ФІНАНСОВІ РЕСУРСИ ПІДПРИЄМСТВА І ДЖЕРЕЛА ЇХ ФОРМУВАННЯ.....	64
6.2. НЕМАТЕРІАЛЬНІ РЕСУРСИ ПІДПРИЄМСТВА: ФОРМУВАННЯ І ОЦІНКА. ...	67

6.3 РОЗРАХУНОК ПОВНОЇ СОБІВАРТОСТІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МЕРЕЖЕЮ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ ВІТРОГЕНЕРАТОРНОЇ СТАНЦІЇ.....	71
6.4. РОЗРАХУНОК ЦІНИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МЕРЕЖЕЮ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ ВІТРОГЕНЕРАТОРНОЇ СТАНЦІЇ.....	75
ВИСНОВКИ.....	77
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	78

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

P_{in}	Загальна активна потужність критичного та некритичного навантаження
P_0	Активна потужність некритичного навантаження
P_1	Активна потужність критичного навантаження
V_s	Вектор напруги критичного навантаження (напруга на шині або напруга мережі)
V_0	Вектор напруги некритичного навантаження
V_{es}	Вектор напруги електричної пружини
Z_0	Повний опір некритичного навантаження
Z_1	Повний опір критичного навантаження
R_0	Опір некритичного навантаження
R_1	Опір критичного навантаження
p_u	Умовна одиниця
АКБ	Акумуляторна батарея
ЕП	Електрична пружина
ПАП	Пристрій автоматичного перемикання
ТЗП	Точка загального приєднання
ФАПЧ	Фазове автопідстроювання частоти

ВСТУП

Екологічні проблеми планетарного масштабу та перспектива виснаження паливно-енергетичних ресурсів Землі визивають у всьому світі потребу нової енергетики, заснованої на широкомасштабному використанні відновлюваних енергоресурсів планети: сонячного випромінювання, вітру, потоків води, геотермальної енергії та енергії біомаси [4]. Тому використання відновлюваних джерел енергії є одним з пріоритетних напрямків розвитку енергетики в ХХІ ст. Відновлювальні джерела енергії мають невичерпні величезні ресурси, що дозволить знизити негативний вплив енергетики на навколишнє середовище, підвищити енергетичну і екологічну безпеку.

Одним із напрямків застосування відновлювальних джерел є енергія вітру, яка перетворюється в електричну енергію. Цього можна досягти за допомоги такого пристрою як вітрогенератор. Для цього повсюди створюються вітрогенераторні станції, які можуть забезпечити людство екологічно чистою електричною енергією. При чому прогнозується подальше поширення цього методу видобутку електричної енергії.

Предметом дослідження є типова вітрогенераторна станція. Це джерело енергії належить до переривистого типу, тому воно може привести до коливань напруги в мережі. У системах, які живляться від джерел відновлювальної енергії, дуже важливо знайти новий механізм керування, щоб забезпечити споживання енергії критичним навантаженням за заздалегідь невідомим і швидко змінюваним графіком генерації енергії. Тому ціллю досліджень на сучасний час є досягнення стабільних параметрів вітрогенераторної станції, які лежать в допустимих межах.

1. ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

Відновлювана, або регенеративна, «зелена», енергія - енергія з енергетичних ресурсів, які є поновлюваними, або невичерпними, за людськими масштабами. Основний принцип використання відновлюваної енергії полягає в її вилученні з процесів в навколишньому середовищі процесів, які в ньому постійно відбуваються, або поновлюваних органічних ресурсів, а далі ця енергія застосовується для технічних цілей. Поновлювану енергію отримують з природних ресурсів, таких як: сонячне світло, водні потоки, вітер, приливи і геотермальна теплота, які є поновлюваними (вони поповнюються природним шляхом), а також з біопалива: деревини, рослинного масла, етанолу.

Класифікація джерел зеленої енергетики представлено нижче в таблиці.

Таблиця 1. Відновлювані джерела енергії

<i>Відновлювані джерела енергії</i>	<i>Енергія, яка використовується людиною</i>
Сонячні електростанції	Електромагнітне випромінювання Сонця
Вітряні електростанції	Кінетична енергія вітру
Малі гідроелектростанції	Рух води в ріках
Приливні електростанції	Рух води в океанах та морях
Хвильові електростанції	Енергія хвиль морів та океанів
Геотермальні станції	Теплова енергія гарячих джерел планети
Спалювання відновлюваного палива	Хімічна енергія відновлювального палива

Сучасна енергетика в основному базується на невідновлюваних джерелах енергії, які, маючи обмежені запаси, є вичерпаними і не можуть гарантувати стійкий розвиток світової енергетики в тривалій перспективі, а їх використання - один з головних чинників, що призводить до глобального погіршення стану навколишнього середовища і її кризового стану.

Використання відновлюваної енергії допомагає збереженню навколишнього середовища. При спалюванні викопних видів палива виділяється вуглекислий газ. Вуглекислий газ є одним з головних факторів глобального потепління. Використання відновлюваної енергії виробляє набагато меншу кількість шкідливих викидів.

У 2015 році близько 19,3% світового енергоспоживання було задоволено з поновлюваних джерел енергії. [1.]

Останнім часом багато країн розширюють використання вітроенергетичних установок. Найбільше їх використовують в країнах Західної Європи (Данія, ФРН, Великобританія, Нідерланди), в США, в Індії, Китаї.

1.1 Вітроенергетика

Джерело вітроенергетики - сонце, так як воно є відповідальним за утворення вітру. Атмосфера землі вбирає сонячну радіацію нерівномірно через неоднорідності її поверхні та різний кут падіння світла в різних широтах в різну пору року. Повітря розширюється та підіймається догори, утворюючи потоки. Там де повітря нагрівається більше ці потоки підіймаються вище та зосереджуються у зонах низького тиску, а холодніше повітря підіймається нижче, створюючи зони високого тиску. Різниця атмосферного тиску змушує повітря пересуватися від зони високого тиску до зони низького тиску з пропорційною швидкістю. Цей рух повітря і є тим, що ми називаємо вітром.

Щоб найкраще використати вітряну енергію, важливо досконало розуміти добові та сезонні зміни вітру, зміну швидкості вітру в залежності від висоти над поверхнею землі, кількість поривів вітру за короткі відрізки часу, а також статистичні дані хоча б за останні 20 років [2].

Вітроенергетичний потенціал місцевості визначається як повна енергія вітрового потоку на певній висоті над поверхнею землі. Енергія вітру характеризується швидкістю, яка є випадковою змінною в просторі і часі. Тому, енергетичні характеристики вітру представляються імовірнісним описом випадкового процесу зміни вітроенергетичного потенціалу. Для електроенергетики вітропотенціал регіону є дуже важливим показником.

На основі даних метеоспостереження, напрямках та сили вітрів складаються навіть спеціальні довідники -«Вітроенергетичний кадастр регіону» [2]. важливими показниками вітроенергетичного кадастру є:

- середньорічна швидкість вітру, річний і добовий хід вітру;
- повторюваність швидкостей, типи і параметри функцій розподілу швидкостей вітру;
- питома потужність і питома енергія вітру;
- вітроенергетичні ресурси регіону.

Середньорічне виробництво електроенергії вітрогенераторної станції при різних швидкостях вітру приведена в табл. 2.

Таблиця 2. Середньорічне виробництво електроенергії з 1 км² площі вітрогенераторної станції

Середньорічна швидкість вітру, м/с	5	6	7	8	9
Виробництво електроенергії кВт*год/км ²	12	20	26	34	39

1.2 Історія розвитку вітрових установок

Енергія вітру використовується людством віддавна. Одним з найперших винаходів використання вітру було вітрило десь у п'ятому тисячолітті до н.е. У першому сторіччі до нашої ери давньогрецький вчений Герон Александрійський винайшов вітряк, що керував органом.

Вітряні млини для переробки зерна винайдені ще у середньовіччі. 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.

Перша вітряна електростанція - «млин» Бліта діаметрів 9 метрів - була побудована в 1887 році на дачі Бліта в Мерікірке (Великобританія). Бліт запропонував надлишкову електроенергію зі свого млину жителям Мерікірка. Однак технологію Бліта визнали економічно нежиттєздатною і наступна вітроелектростанція з'явилася у Великобританії тільки в 1951 році. Перша автоматично керована вітряна установка американця Чарльза Браша з'явилася в 1888 році і мала діаметр ротора 17 метрів [3].

У Данії в 1890 році була побудована перша вітроелектростанція, а до 1908 року налічувалося вже 72 станції потужністю від 5 до 25 кВт. Найбільші з них мали висоту вежі 24 метра і чотирьохлопасті ротори діаметром 23 метри. Попередниця сучасних вітроелектростанцій з горизонтальною віссю мала потужність 100 кВт і була побудована в 1931 році в Ялті. Вона мала вежу висотою 30 метрів. До 1941 року одинична потужність вітроелектростанцій досягла 1,25 МВт.

У період з 1940-х по 1970-і роки вітроенергетика переживає період занепаду в зв'язку з інтенсивним розвитком передавальних і розподільних мереж, що давали незалежне від погоди енергопостачання за помірні гроші.

Відродження інтересу до вітроенергетики почалося в 1970-х після нафтової кризи 1973 року. Криза продемонструвала залежність багатьох країн від імпорту нафти і привів до пошуку варіантів зниження цієї залежності. В середині 1970-х в Данії почалися випробування попередників сучасних вітрогенераторів. Пізніше чорнобильська катастрофа також стимулювала інтерес до поновлюваних джерел енергії.

1.3 Актуальність використання вітроенергетики в Україні

В останні роки енергія вітру все більше використовується для одержання електроенергії. Створюються вітряки великої потужності і встановлюються на місцевості, де дмуть часті й сильні вітри. Кількість і якість таких двигунів зростає щорічно, налагоджене серійне виробництво.

Вітроенергетика - друга за обсягом потужностей галузь енергетики в Європі. Вітропарки Європейського союзу виробляють близько 180 гігават енергії. Це майже половина від усієї європейської енергетики. За прогнозами асоціації Wind Europe, в цьому році вітроенергетика може перерости газову промисловість. У 2018 році в Європі введені в експлуатацію установки з ветрогенераторами потужністю майже 12 гігават. З усіх енергетичних об'єктів, побудованих в минулому році, на частку поновлюваних джерел енергії припадає 95%.

Серед альтернативних джерел енергії в Україні вітер поки поступається сонцю. У 2018 році було побудовано 68 вітропарків загальною потужністю 533 мегават. Це 22 вітрогенератора, потужність кожного з яких - близько 3 мегават. На кінець червня цього року загальні потужності українських вітроелектростанцій досягли майже 777 мегават. Україна увійшла до п'ятірки країн за кількістю установок вітроелектростанцій, 1-е півріччя 2019 р (за даними асоціації Wind Europe).

На внутрішньому ринку України вітроенергетичне обладнання виготовляють тільки декілька виробників, серед них завод «Південмаш» (точніше, «Уінденерго, Лтд.»), Новокраматорський машинобудівний завод (НКМЗ), компанія Windelectric і інші.

Україна володіє значними ресурсами вітрової енергії і завдяки своїм природно-кліматичним характеристикам може вийти на одне з провідних місць в світі по використанню енергії вітру.

Аналіз багаторічних спостережень метеостанцій свідчить про те, що на Україні переважають вітрові потоки із середньорічними швидкостями вітру від 5 м/с (на висоті флюгера, що дорівнює 10 м/с). Такі вітрові потоки при сучасному рівні розвитку вітроенергетичних технологій дозволяють економічно обґрунтовано використовувати потужні вітрогенераторні станції. Крім того, науковими дослідженнями, проведеними метеорологами Центральної геофізичної обсерваторії України, встановлено, що в найближчі 30 ... 40 років на території України слід очікувати поступове збільшення середньої швидкості вітру на 1 ... 2 м/с, що буде впливати на збільшення прогнозного потенціалу вітрових установок.

Енергія вітру розподілена по території України вкрай нерівномірно, причому вітропотенціал на півдні країни значно вище, ніж на півночі.

На даний час на Україні спостерігається бурхливий розвиток вітроенергетичної галузі, обумовлене, в основному, прийняттям Верховною Радою України в 2009 р одного з найвищих в Європі зеленого тарифу на електроенергію, отриману від вітроелектростанції потужністю понад 2 МВт. Цей тариф становить близько 11,3 євроцента за 1 кВт* год і буде діяти аж до 2030 р.

2. ВІТРОГЕНЕРАТОРИ

Вітрогенератор являє собою пристрій, який шляхом перетворення вітрового потоку виробляє електричну або механічну енергію, для її подальшого використання споживачами [6].

Вітрогенератори застосовуються в промисловості і в побуті. Вітроустановки промислові використовуються для потреб виробництва або забезпечення електроенергією невеликих селищ в умовах відсутності або дефіциту електричного постачання. Встановлюються на відкритій пустельній місцевості в великій кількості. Вітряки, переважно прості, призначені для домашнього використання на дачних ділянках. У зимову холодну пору для економії електрики споруджуються на території житлових будинків.

Об'єкти електропостачання розрізняються великою різноманітністю по встановленій потужності, режимам енергоспоживання, вимогам до якості електроенергії тощо, в зв'язку з чим, їх досить складно класифікувати. Системи електропостачання від вітрогенераторних станцій найбільш поширення отримали у наступних груп споживачів:

- індивідуальні споживачі невеликої потужності від одиниць до десяткі кВт - котеджі і заміські будинки, метеостанції, вишки стільникового зв'язку, польові об'єкти і експедиції, фермерські господарства, прикордонні, радарні і навігаційні пости тощо.;
- групові непромислові споживачі встановленої потужності від десятків до сотень кВт - окремі великі житлові будівлі та мікрорайони, різні об'єкти соціальної сфери, торговельні підприємства і установи охорони здоров'я, селища тощо;
- промислові підприємства з встановленою потужністю від сотень до тисяч кВт.

Характерною рисою споживача є різкозмінний графік електричного навантаження протягом доби і року. Як приклад, на рис. 1 наведено добовий графік споживання невеликого автономного поселення [9].

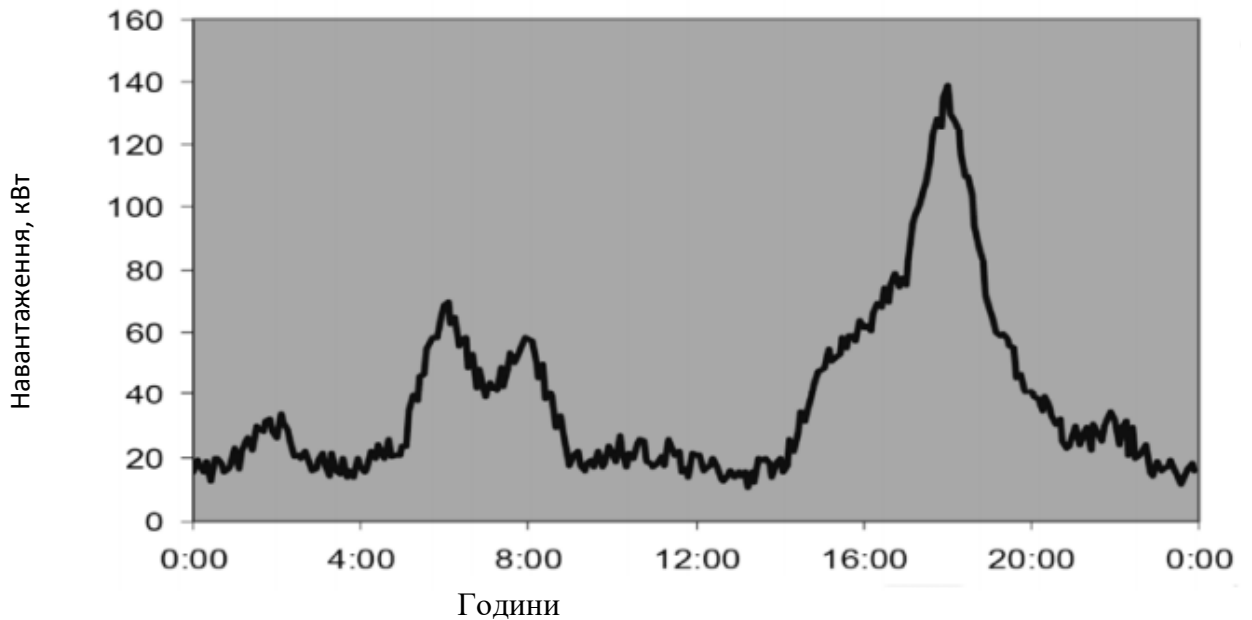


Рис. 1 Добовий графік електричних навантажень невеликого автономного поселення

2.1 Принцип роботи

Принцип роботи вітрогенератора - дуже простий. потік вітру чинить тиск на лопаті (12 на рис. 2) вітрового колеса. Ротор (1 на рис.2) вітрового колеса закріплений на низькошвидкісному валу (2 на рис. 2). Під впливом вітру вітряне колесо (ротор з лопатями і низькошвидкісний вал) починає обертатися, здійснюючи перетворення вітряної енергії в механічну. Від низькошвидкісного вала через редуктор (3 на рис. 2) механічний рух передається на вал (8 на рис. 2) електричного генератора (4 на рис. 2). При обертанні ротора електрогенератора здійснюється перетворення механічної енергії в електричну.

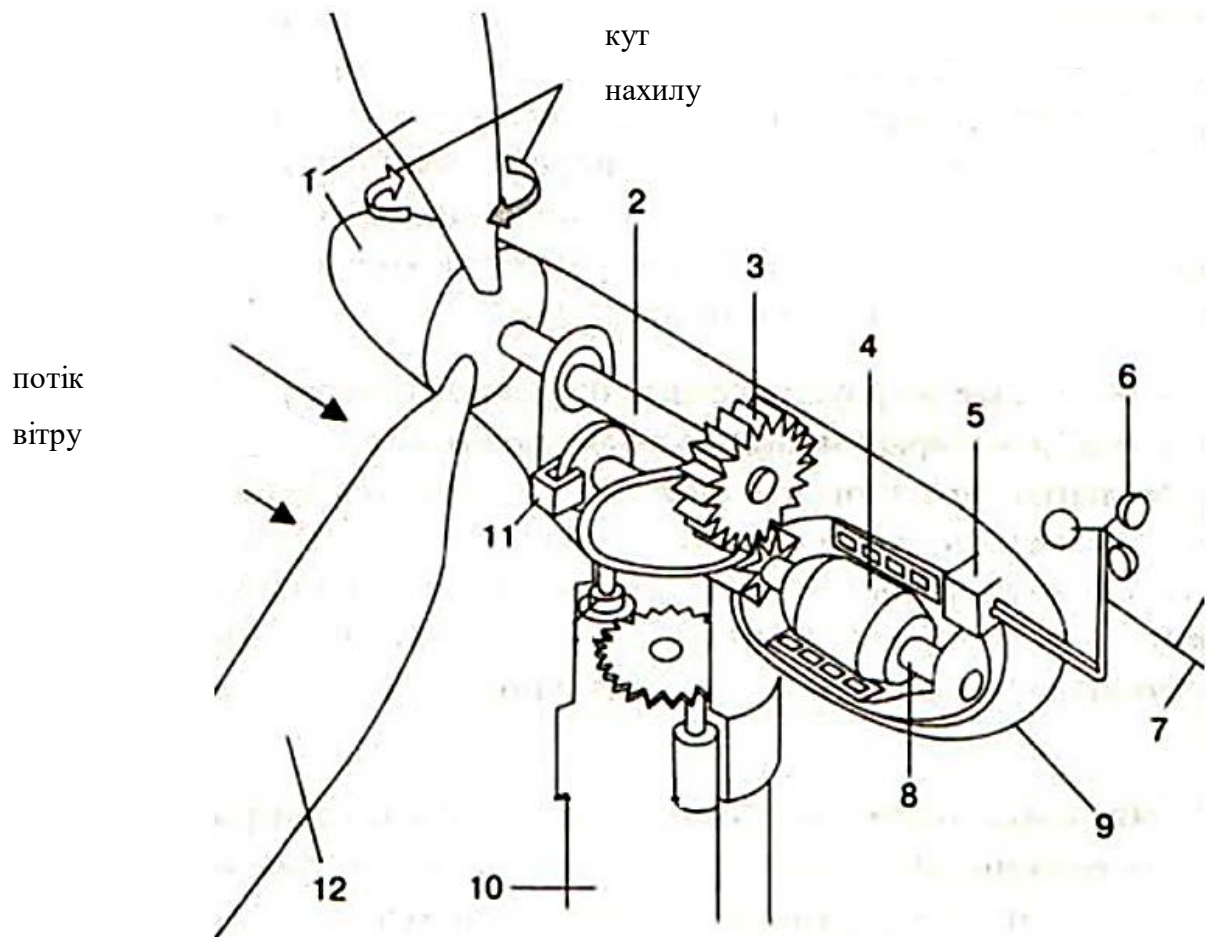


Рис. 2 Конструктивна схема вітрогенератора

На рисунку 2 показано конструктивну схему вітрогенераторної установки, яка надає повне уявлення про її будову. Елементи конструкції мають наступні функціональні призначення.

Таблиця 3 Опис елементів конструкції вітрогенератора.

№	Опис елемента
1.	Ротор вітроколеса, який бере участь в процесі перетворення тиску вітру в механічну енергію.
2.	Низькошвидкісний вал, що приводиться в рух ротором вітроколеса і задіяний в передачі механічної енергії.
3.	Редуктор, що підвищує частоту обертання вітроколеса (ротора).
4.	Генератор, що виробляє електроенергію і має в своєму складі високошвидкісний вал.

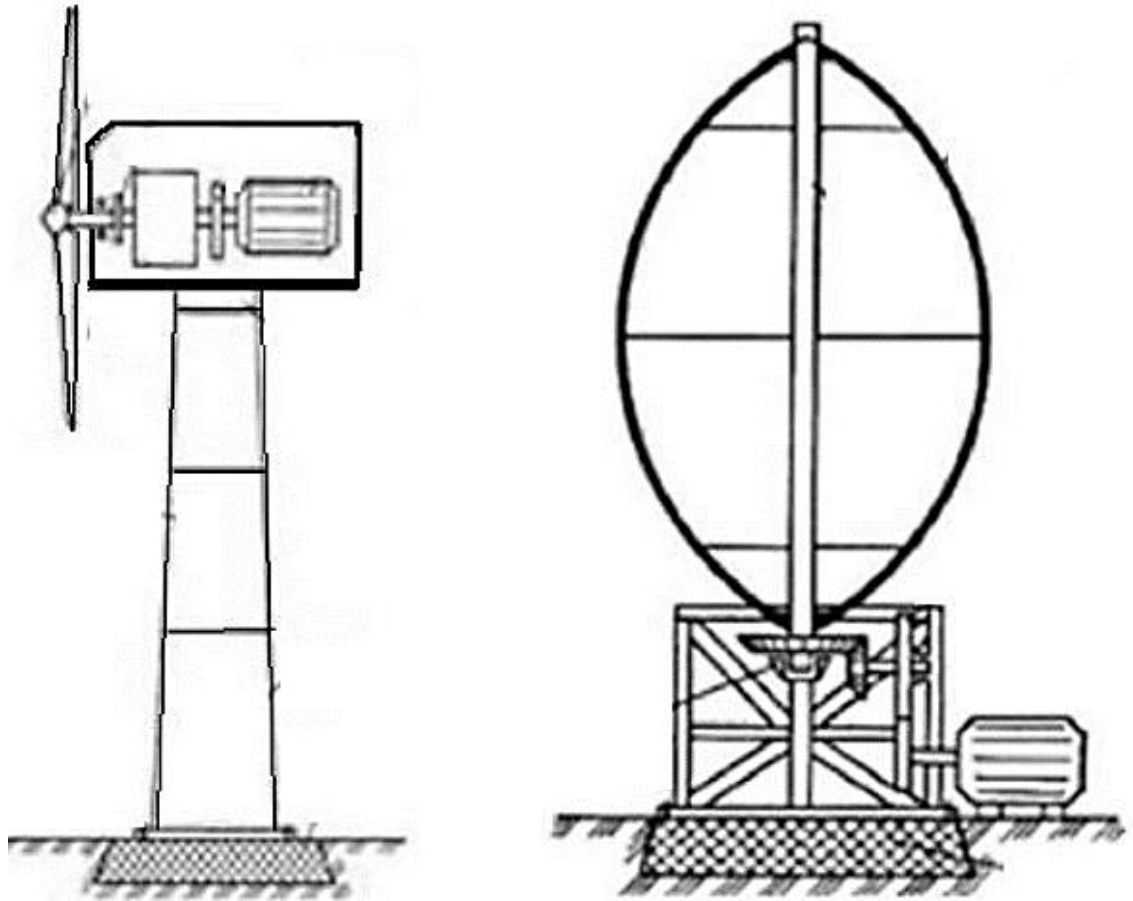
<i>№</i>	<i>Опис елемента</i>
5.	Контролер, який відповідає за управління всією установкою. З його допомогою в автоматичному режимі запускаються вітряні турбіни або здійснюється їх зупинка
6.	Анемометр, призначений для визначення швидкості вітру з подальшою передачею даних до контролера.
7.	Флюгер, що визначає напрямки вітру і повертає вітроколесо в потрібному напрямку.
8.	Високошвидкісний вал, що обертає ротор електрогенератора.
9.	Гондола, що розташовується у верхній частині вітряної турбіни і є несучою частиною конструкції. В середині неї знаходяться вали, редуктор, генератор, котроллер і гальмо.
10.	Щогла, що представляє собою порожню конструкцію з металу або бетону, що служить для розміщення всіх основних елементів на висоті.
11.	Гальмо, що запобігає поломки установки і використовується для зупинки ротора в критичних ситуаціях (наприклад, в ураган).
12.	Лопаті, що є ключовим елементом вітроустановки, призначені для уловлювання енергії вітру. За допомогою лопатей здійснюється функціонування даного пристрою. Потік вітру, потрапляючи на лопаті, приводить їх в рух, і забезпечує обертання ротора і подальше вироблення енергії генератором.

2.2 Класифікація вітрогенераторів

На даний момент відомі два основних типи вітрогенераторів, конструктивні відмінності, яких складаються в розташування осі обертання елемента, що уловлює енергію вітру. Моделі вітрогенераторів бувають різної конструкції, розрізняються за потужністю. За геометрією обертання осі основного ротора їх ділять на:

- з горизонтальною віссю обертання, вісь ротора обертається паралельно земної поверхні (рис.3, а);

- з вертикальною віссю обертання, турбіна розташована вертикально по відношенню до поверхні землі (рис.3, б).



а)

б)

Рис. 3 Зовнішній вигляд вітрогенератора з горизонтальною віссю обертання (а) і вертикальною віссю обертання (б).

Проаналізуємо технічні можливості вітрогенераторів обох конструктивних типів.

Горизонтальні вітрогенератори мають найбільшу популярність. У них вісь обертання вітряного колеса, лопаті якого обертаються проти вітру, розташовано паралельно землі. Такий варіант виконання отримав назву «вітряка». Конструкція горизонтальних вітрогенераторів виконана так, що передня частина вітряного колеса, здійснюючи пошук вітру, повертається автоматично. Крім того, кут повороту лопатей може змінюватися теж, щоб вловити навіть невеликий вітер. Вважається, що цей тип вітрогенераторів годиться для виробництва великого обсягу електроенергії [7]. Горизонтальні вітрові установки характеризуються високим ККД (40-50%). Тому саме цей різновид зазвичай використовується при створенні систем вітряних електростанцій.

У вітрогенераторів з горизонтальною віссю обертання вітроколесо може виконуватися з різною кількістю лопатей. Залежно від цього розрізняють одно-, двох-, трьох- і багатолопатеві модифікації.

Дослідження, проведені данськими вченими ще в 70-х роках минулого століття, показали, що оптимальна кількість лопатей горизонтальних вітрогенераторів дорівнює трьом. Цей висновок був добре засвоєний виробниками вітрогенераторів. Тому саме ці вітряки найбільш широко представлені на ринку. Вітрогенератори з трьома лопатями випускаються з потужностями від декількох ват до декількох мегават.

Вертикальні вітрогенератори є менш ефективними порівняно з горизонтальними. Їх ККД в 3 рази менше, ніж у горизонтальних модифікацій. Лопаті вертикального вітрогенератора крутяться перпендикулярно поверхні землі при будь-якому напрямку і силі вітру. Тому 1/2 від загальної кількості лопатей вітроколеса завжди обертається проти вітру. Через це у вітрогенератора з вертикальним обертанням вітроколеса 1/2 потужності потоку вітру не

використовується, що сильно знижує їх енергоефективність. Це – головний недолік вітрогенераторів цього типу.

Однак вітрогенератори з вертикальним обертанням вітроколеса мають певні переваги. Наприклад, у цих моделей спрощується монтаж і експлуатація. Це пояснюється тим, що в конструкції з вертикальним вітроколесом редуктор і електрогенератор розміщуються на землі. Конструктивним перевагою є також те, що для них не потрібен флюгер. Вони характеризуються самостійною орієнтацією по відношенню до повітряних потоків. Конструкції вертикальних вітрогенераторів мають істотні відмінності через різні модифікацій вітряних коліс (роторів).

Залежно від потужності генератора вітроустановки поділяються на класи, їхні параметри та призначення наведені в таблиці 4.

Таблиця 4. Класифікація вітрогенераторних установок за потужністю

Клас установки	Потужність, МВт	Діаметр колеса, м	Кількість лопатей	Призначення
Малої потужності	До 0,1	3-10	3-2	Заряджання акумуляторів, насоси, побутові потреби
Середньої потужності	Від 0,1 до 1,0	25-44	3-2	Енергетика
Високої потужності	Від 1,0	>45	3-2	Енергетика

2.3 Переваги та недоліки вітрогенераторних станцій

Загальний вітроенергетичний потенціал Землі величезний: по ряду авторитетних експертних оцінок він становить близько 1200 ТВт. Однак реальне використання цього потенціалу наштовхується на ряд труднощів, обумовлених як нерівномірністю його розподілу в різних районах Землі, так і великими втратами при його перетворенні в інші види енергії. Так, в сучасних вітроагрегатах коефіцієнт корисного використання енергії повітряного потоку на 10% менше теоретично можливого, рівного 59,3%, і зазвичай не перевищує 50% і то тільки при оптимальній, передбаченій для даного вітрогенератора швидкості вітру. Крім того, оскільки частина енергії вітру втрачається при перетворенні механічної енергії в електричну, питома електрична потужність на виході вітроагрегатів становить лише 30 ... 40% потужності повітряного потоку за умови стійкої його роботи в діапазоні швидкостей, передбачених для вітрогенератора. І це ще не все. З урахуванням необхідності вимушених відключень вітроагрегатів в разі перевищення розрахункових швидкостей вітру й зупинок при його відсутності, питома вироблення електроенергії протягом року зазвичай не перевищує 15 ... 30% енергії вітру, в залежності від місця розташування і параметрів вітроагрегатів.

До переваг вітрогенераторів можна віднести незалежність від викопних ресурсів; те, що використовується абсолютно безкоштовний джерело енергії; екологічна чистота методики - ніякої шкоди навколишній природі не завдається. Крім того вітрогенератор може використовуватися для основного або резервного живлення споживачів, віддалених від ліній електропередачі, а також, в зв'язку з постійно зростаючими тарифами з метою економії коштів.

При цьому є також і недоліки. Вироблення електроенергії залежить від сили вітру, фактору, що відрізняється великою нестабільністю. Тому спостерігається непостійне і нерівномірне вироблення електроенергії як протягом доби, так і за сезонами року, що пов'язано з наявністю вітру і його швидкістю [10]. З огляду на, що енергосистема сама має неоднорідності навантаження, регулювати які вітроенергетика не може, введення значної частки вітроенергетики в енергосистему призводить до її дестабілізації. Це вимагає значного резерву потужності в енергосистемі, а також механізмів згладжування неоднорідності їх вироблення.

Далі, вітряки видають шум при роботі; ККД вітряних електростанцій низький, збільшити його дуже складно; вартість обладнання і, відповідно, електроенергії, набагато вище, ніж ціна мережевої електрики; окупність обладнання з ростом його потужності значно знижується. Найбільш продуктивні станції повністю не окупаються.

Використання невеликих станцій здатне забезпечити енергією обмежена кількість споживачів, тому для великих населених пунктів або регіонів потрібні великі пристрої. При цьому, вітряки великої потужності потребують відповідних потоків вітру і рівномірності його руху, що для умов нашої країни не характерно. Недоліком є те, що при роботі вітрогенератори виробляються інфразвукові коливання великої інтенсивності, що є шкідливим для здоров'я. А ще сюди можна віднести використання значних площ земельних ресурсів. Так, для вітрогенератора потужністю 1000 МВт треба загальна площа 70–200 км², хоча більша частина цих земель може бути використаною в сільському господарстві та ін. (саме вітрогенератор займає 1% загальної площі).

3. ОПИС ТИПОВОЇ ВІТРОГЕНЕРАТОРНОЇ СТАНЦІЇ

Вітрогенераторну систему можна охарактеризувати наступним чином:

- залежністю від сили вітру;
- потужністю вітрогенератора;
- потужністю акумуляторних батарей;
- потужністю інвертора.

Кожен з компонентів системи працює незалежно від інших компонентів, але має важливий вплив на працездатність системи в цілому. Для правильного розрахунку і, як наслідок, успішної роботи системи необхідно чітко сформулювати завдання, які необхідно вирішити при проектуванні, а також зібрати правильні вихідні дані для розрахунку.

3.1 Вітрогенератор

Нижче наведений широко застосовуваний трьохлопатевий вітрогенератор серії EuroWind.



Рис. 4 Зовнішній вигляд вітрогенератор EuroWind 10.

Таблиця 5. Технічні характеристики вітрогенератора EuroWind 10.

Діаметр ротора: 8 метрів
Кількість лопатей: 3 шт.
Напрямок: завжди за вітром (управляється контролером).
Матеріал лопатей: FRP (композитний матеріал).
Початкова швидкість: 2 м/с.
Максимальна потужність (при 12 м/с): 13 000 Вт
Початкова напруга генератора: 240 В.
Напруга після інвертора: 220 або 380 В.
Витримує ураганний вітер: до 45 м/с
Захист від вітру: автоматичне флюгування.
Швидкість обертання ротора: 200 оборотів/хв.
Тип вітротурбіни: PMG (на постійних магнітах).
Робоча температура: від -40 до +60 °С.
Контролер заряду: інтелектуальний (2-е покоління).
Середній виробіток енергії в рік (при 6 м/с): 27500 кВт.
Рекомендовані акумулятори: 40 шт. 12В 200А*год.
Час для повної зарядки акумуляторів: близько 12 годин.
Висота щогли з розтяжками: 12 м.
Висота щогли конічної: 12 м.
Висота щогли гідравлічної: 12 м.
Вага: тисяча триста дев'яносто один кг.

Показники вітрогенераторних установок нам кажуть про наступне.

Номінальна потужність - потужність, що розвивається вітроустановкою при обраній розрахунковій швидкості. Цей параметр важливий, якщо навантаження підключається до вітрогенераторної установки безпосередньо. Коли навантаження підключається через

інвертор, важлива потужність інвертора (перетворювача), який бере енергію від вітрогенераторної станції і акумуляторної батареї. Реальна потужність ВЕУ не дорівнює номінальній, а змінюється в залежності від поточної швидкості вітру, який змінюється щомиті. Номінальна потужність вітроустановки пропорційна квадрату діаметра вітротурбіни і кубу обраної розрахункової швидкості. Таким чином, порівнювати вітрогенераторні установки по номінальній потужності коректно тільки при рівних розрахункових швидкостях вітру, а ще краще порівнювати їх по діаметру і виробленні енергії.

Розрахункова швидкість вітру - швидкість вітру, при якій вітроустановка досягає номінальної потужності. Зазвичай при перевищенні розрахункової швидкості вітру починає працювати система регулювання, яка обмежує подальше зростання оборотів і потужності.

Стартова швидкість вітру - швидкість вітру, при якій вітрогенераторна установка починає обертатися, зазвичай знаходиться в діапазоні 2,5-3,5 м/с. Це швидкість вище у вітроустановок з жорстко встановленими лопатями, завищена стартова швидкість призводить до зниження сумарної вироблення енергії з-за частих простоїв.

Максимальна експлуатаційна швидкість вітру - швидкість вітру, яка може привести до руйнування вітроустановки. Для надійної стаціонарної вітроустановки має бути не меншою за 45-50 м/с. Інакше її експлуатація стає небезпечною.

Слід зазначити, що для вітрогенераторів існує свій, специфічний показник ефективності - КВЕВ (Коефіцієнт Використання Енергії Вітру). Він позначає, який відсоток повітряного потоку, що проходить в робочому перетині, безпосередньо впливає на лопаті вітряка. Або, якщо говорити просте, він демонструє відношення потужності, отриманої на валу пристрою, до потужності потоку, що впливає на вітрову поверхню робочого колеса. Таким чином, КВЕВ є специфічним, стосовно тільки для вітрогенераторів, аналогом ККД [8].

Зручною для аналізу вироблення електроенергії є потужнісна характеристика вітрогенераторної станції, що зв'язує електричну потужність зі швидкістю вітру.

Дана характеристика часто знімається експериментально і приводиться в технічному описі вітрогенераторів.

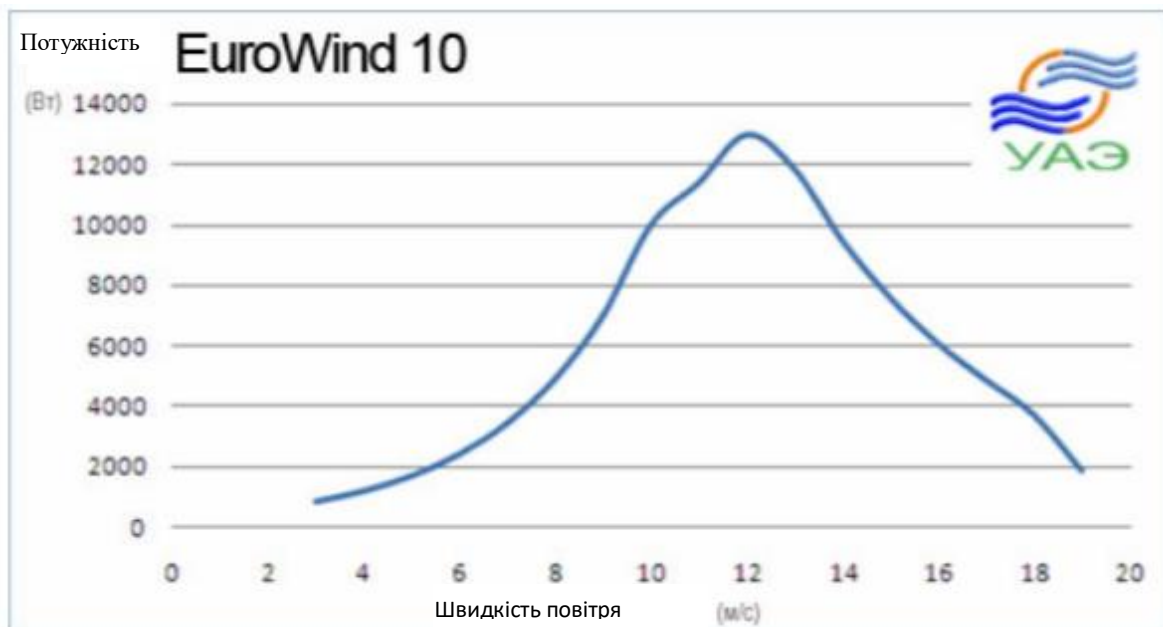


Рисунок 5 Характеристика потужності вітрогенератора EuroWind 10.

Очевидно, не представляє труднощі графічне визначення потужності вітрогенератора для будь-якої швидкості вітру.

При відомому розподілі швидкостей вітру по градаціях V_i можливе вироблення електроенергії вітрогенератора за певний проміжок часу можна визначити як:

$$W = \sum_{i=1}^n P_i t_i$$

де P_i - середня потужність, відповідна i - градації швидкості вітра [кВт],

t_i - тривалість даної градації за аналізований часовий інтервал (зазвичай місяць) [година],

n - кількість градацій.

Для забезпечення роботи вітрогенератора використовується додаткове обладнання.

До цього обладнання належать такі елементи:

- акумуляторні батареї;
- інвертор;
- контролер.

Крім цих основних елементів вітрогенераторних станцій використовуються ще інші пристрої. А саме наступні елементи:

- пристрій автоматичного перемикачання (ПАП), який пов'язує вітрогенератор з іншими джерелами енергії, наприклад з електромережою;

- датчик напрямку вітру-це пристрій, який полегшує лопатям пошук вітрового потоку тощо.

3.2 Акумуляторні батареї

Як їх часто ще позначають АБ або АКБ - накопичують вироблену вітрогенератором електроенергію. Їх головним завданням є збереження енергії в проміжку між її виробленням і споживанням, тому вони дозволяють використовувати енергію від вітрогенераторної станції при незначному вітровому потоці або при повній його відсутності. Якщо ємність акумуляторної батареї буде мала, то вона швидко зарядиться і подальша вироблення енергії буде безглузда, так як зберігати її буде ніде. При живленні від такої батареї споживачів виникне зворотна ситуація - вона занадто швидко розрядиться, відповідно не дозволить жити від неї навантаження тривалий час. Тому слід вибирати акумуляторні батареї великої ємності, для усунення перерахованих вище недоліків. Якщо купити акумулятори величезної ємності, то вони ніколи не будуть заряджатися на повну ємність. При тривалому зберіганні електричної енергії акумуляторні батареї саморозряджаються.

Серед розмаїття акумуляторів, які підходять для використання в вітроелектростанції можна виділити наступні види [11].

а). Автомобільні стартерні батареї, відрізняються своєю простотою. У свою чергу вони поділяються на ті, що обслуговуються, і на ті, що не обслуговуються. Акумулятори, які обслуговуються, мають робочий цикл до 100 розрядів. Також потрібно регулярно перевіряти рівень електроліту і щороку доливати дистильовану воду. А акумулятори, які не обслуговуються, ще називаються герметичними. Вони розраховані на цикл з 200 розрядів і по закінченню цього часу вони підлягають утилізації.

б). AGM батареї виготовляються за особливою технологією. Це герметичні акумулятори з кислотним електролітом. При виготовленні цього виду пристроїв використовуються адсорбуючі скляні мати і прості пластини. Вони схожі на попередній вид наявністю електроліту. Однак в цьому виді акумуляторів електроліт знаходиться не в рідкому стані, а їм просякнуті спеціальні мати. До того ж самі мати виконують роль діелектричних розмежувачів. Цей вид пристроїв дуже чутливий до перезарядки і розрахований на 250-400 розрядок.

в). Гелеві акумуляторні батареї - це пристрої, які не обслуговуються. Належать до виду хімічного джерела електроенергії. Так само як і попередній вид, цей акумулятор дуже чутливий до перезарядки. Завдяки тому, що в електроліт доданий двоокис кремнію (спеціальний загущувач або силікагель) ці батареї повністю герметичні. Ці акумулятори

стійкі до глибокої розрядки, а кількість циклів розрядки, на яку розрахована батарея, становить близько 350.

г). Панцирні акумулятори вважаються розробкою нового покоління. Виготовляються вони за новою технологією і експлуатаційні характеристики їх краще, ніж у попередніх видів. Це теж герметичні пристрої з великим робочим циклом. Кількість циклів розрядки варіюється від типу батареї і знаходиться в діапазоні від 900 до 1500 розрядів. Пластини електродів (в формі трубок) захищені стрижнями, які виконані з полімерів і стійкі до впливу кислоти.

д). У 2019 р в продажі з'явилися АКБ нового типу - герметизовані батареї, які не потребують постійного обслуговування, АКБ свинцево-кислотного карбонового типу. Характеризується тривалим терміном служби в умовах глибокого розряду (15 - 20 років). Вартість циклу у цих АКБ одна з найнижчих. За кількістю циклів ці АКБ можна порівняти з літій-залізо фосфатними АКБ, однак вони простіші в експлуатації, можуть працювати при $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, не потрібні BMS (система керування батареєю) і вони істотно дешевше. До недоліків можна віднести значно більшу вагу і габарити, що має значення для транспорту і носяться пристроїв [12].

Нижче наведені технічні характеристики карбонової акумуляторної батареї VPbC 12 В 100 А*год. компанії «Vector energy»

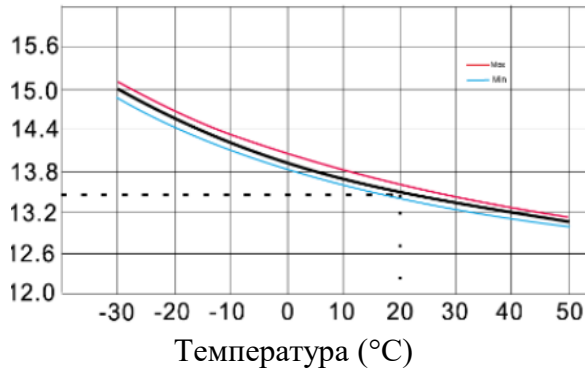


Рис. 6 Карбонова акумуляторна батарея

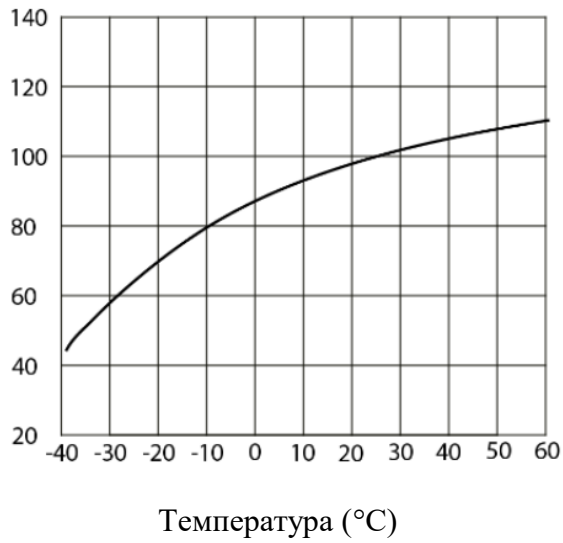
Таблиця 6 Технічні характеристики карбонової акумуляторної батареї VPbC 12 В
200 А*год

Категорія		Акумулятор карбоновий 12 В, 200 А*год.	
Номінальна апруга, В	10 год (1,8 В)	12,0	
Ємкість, А*год.		200	
Залежність ємкості від температури		40 °С	106%
		0 °С	82%
		-20 °С	60%
Номінальна температура експлуатації		20 °С ~ 30 °С	
Розряд, температурний діапазон		-30 °С ~ +40 °С	
Заряд, температурний діапазон		-20 °С ~ +40 °С	
Зберігання, температурний діапазон		-5 ~°С +40 °С	
Напруга підзаряду в буферному режимі		13,3 - 13,7 В	
Напруга підзаряду в циклічному режимі		14,1 – 14,4 В	
Матеріал корпусу		ABS	
Максимальний струм заряду		≤0,3C10	
Максимальний струм розряду		600 А	
Саморозряд		< 2,5%/місяць	
Термін служби в циклічному режимі		100% DOD	998 циклів
		70% DOD	3760 циклів
		50% DOD	4880 циклів
Габарити [В×Д×Ш], мм		219 ×522×268	
Маса, кг		72,0	

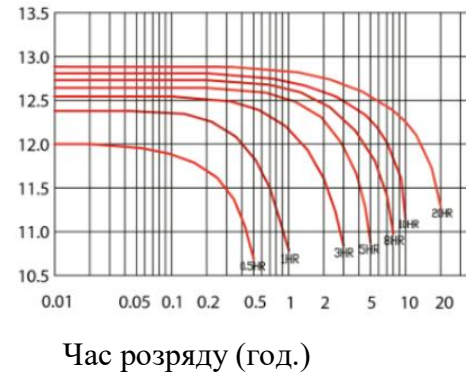
Залежність напруги заряду від температури
 Напруга заряду (В)



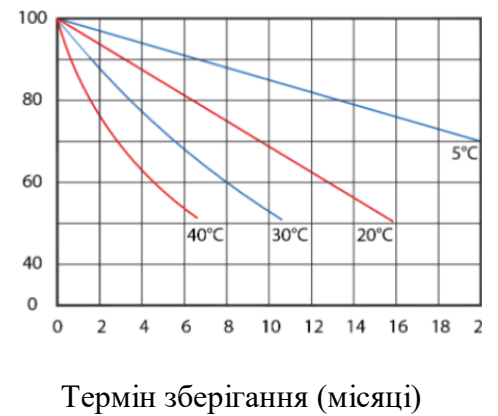
Залежність ємкості від температури
 Ємкість (%C₁₀)



Криві розряду (25 °C)
 Напруга розряду (В)

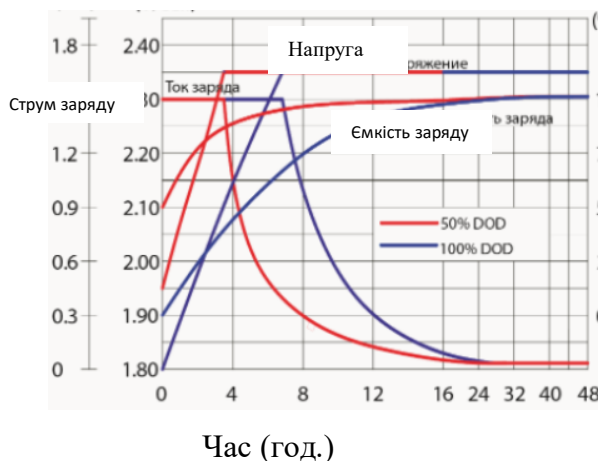


Характеристики саморозряду
 Залишкова ємкість (%)



Характеристики заряду

Струм (110А), Напруга (В/чарунку)
Ємкість



Термін служби в циклічному режимі (25 °С)

DOD (%)

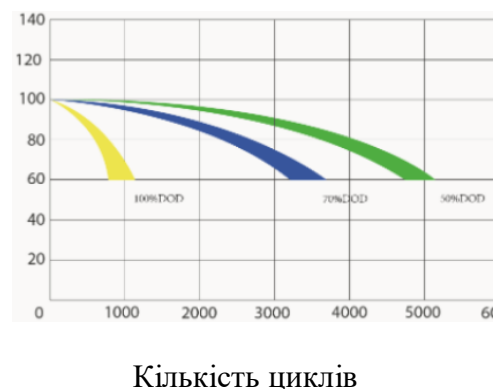


Рис. 7 Характеристики карбонової акумуляторної батареї VPbC 12 В 200 А*год

3.3 Інвертор

Другим елементом додаткового обладнання для вітрогенераторної установки є інвертор. Це пристрій необхідний, щоб перетворити постійний струм акумулятора в змінний струм промислової частоти (для побутових споживачів 220 В 50 Гц), при цьому може видавати напругу, необхідну для забезпечення місцевої мережі. Саме до інвертору підключаються споживачі електричної енергії.

Інвертори розрізняють за такими типами.

а). Мережевий інвертор (on grid) - інвертор, який працює безпосередньо з альтернативним джерелом енергії і громадською електричною мережею. Він дозволяє системі працювати без акумуляторних батарей. При недостатній генерації електрики альтернативним джерелом переключаються на живлення від мережі. При переробці енергії можуть віддавати її назад в мережу.

б). Автономний інвертор (off grid) працює з підключенням до акумуляторних батарей.

Даний клас інверторів можна розділити на два типи. Перший тип на виході видає струм з чистою синусоїдою, на рисунку показаний червоною лінією, яка необхідна в пристроях, в яких присутній електродвигун (холодильник, пральна машина, кондиціонер, водяний насос, насоси в опалювальних системах тощо) і придатний для будь-якого типу

електроприладів. Другий тип інвертора, на виході видає струм з так званою псевдосинусоїдою (меандр), на рисунку показаний зеленою лінією, яка використовується в сучасній електроніці (телевізори, магнітофони, ТВ-тюнери і тощо) і придатний тільки для обладнання, яке не чутливе до якості напруги.

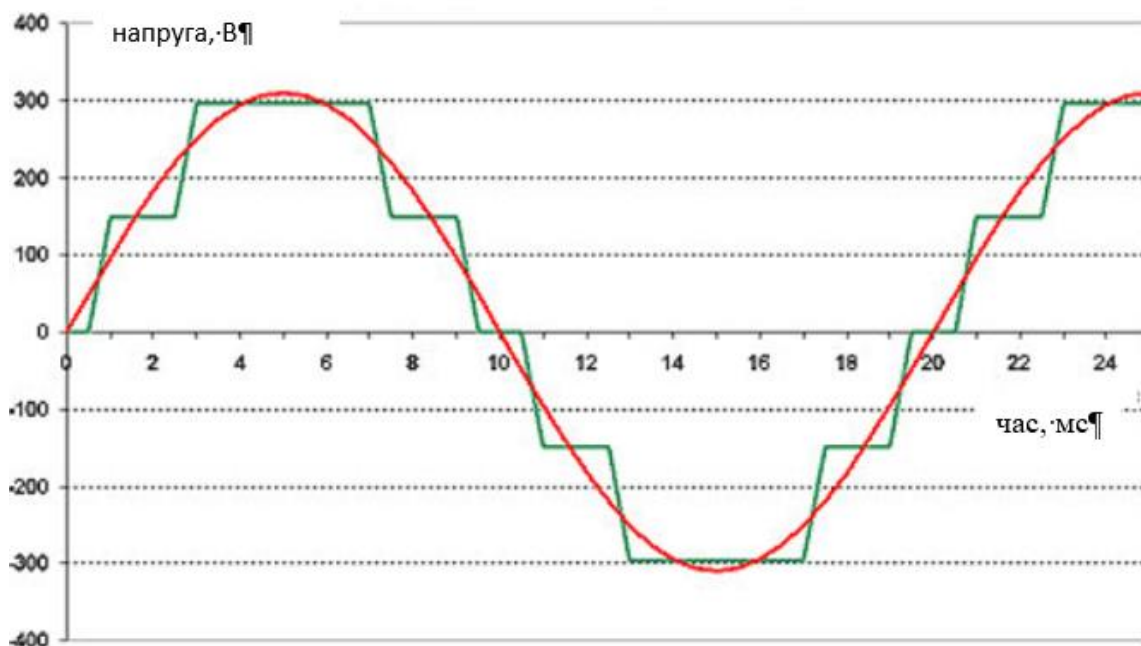


Рис. 8 Вихідна характеристика автономного інвертора (крива червоного кольору-чиста синусоїда, крива зеленого кольору-модифікована синусоїда).

в). Гібридний інвертор - використовує обидва вище зазначених підключення. Гібридні інвертори призначені для систем, які використовують джерело безперебійного живлення, але так само можуть виконувати роль мережевого інвертора, експортуючи електроенергію в громадську мережу, вироблену альтернативним джерелом енергії (вітрогенератором). Це робить цей інвертор найбільш застосовним в системах альтернативних джерел енергії, крім того таке обладнання значно подовжує експлуатаційне час акумуляторних батарей [13].

Нижче наведені технічні характеристики мережевих інверторів серії WindKraft GC для вітрогенераторів. Модельний ряд має вихідну потужність в діапазоні від 2 кВт до 30 кВт і широкий діапазон вхідної напруги (від 30 В до 750 В), ці мережеві інвертора можуть працювати практично з будь-якими вітрогенераторами. З новою складною, програмованою системою управління, мережевий інвертор серії WindKraft GC перевершує будь-які інші інвертори і перетворювачі. Алгоритм MPPT також дозволяє забезпечити максимальну продуктивність. Все це дозволяє максимізувати вихід потужності і мінімізувати період окупності.



Рис. 9 Інвертор серії WindKraft GC

Таблиця 7. Технічні характеристики інверторів серії WindKraft GC

Модель	GC-1.5K	GC-2K	GC-3K	GC-3.5K	GC-5K	GC-10K
Джерело енергії	Вітрогенератор					
Максимальна вхідна напруга постійного струму:	450 В	600 В	600 В	600 В	600 В	1000 В
МРРТ робочий діапазон:	30-400 В	30-540 В	30-540 В	30-540 В	30-540 В	30-750 В
Номинальна напруга постійного струму:	250 В	400 В				
Максимальний вхідний постійний струм:	9 А	9 А	20 А	24 А	25 А	33 А
Число МРР трекерів	1/1					
Номинальна вихідна потужність	1,5 кВт	2 кВт	3,0 кВт	3,5 кВт	5 кВт	10 кВт
Короткочасна вихідна потужність	1,7 кВт	2,2 кВт	3,3 кВт	3,8 кВт	5,5 кВт	11 кВт
Напруга в мережі	230 В					400 В
grid-напруга:	180~270 В змінного струму (регулюється)					340~450 В змінного струму (регулюється)
Число фаз:	Одна фаза					Три фази
Номинальний вихідний змінний струм в мережу:	6,25 А	8,7 А	13,0 А	15,7 А	21,74 А	14,5 А
Коефіцієнт вихідної потужності:	>0,99					
grid-струм:	Загальний THd<4%					
Струм споживання інвертора:	<10 мА	<10 мА	<20 мА	<20 мА	<50 мА	<10 мА
Частота:	50/60Hz(±3Hz)					
Ефективність:	>95%	>95%	>96,5%	>97,5%	>97%	>97,5%
Захист:	захист від зворотної полярності постійного струму; захист від короткого замикання змінного струму; захист від перегріву. тощо					
Розміри (мм):	520Ш×385В×120Г		520Ш×385В×150В	400Ш×580В×170Г	400Ш×740В×170Г	400Ш×800В×170Г×2
Вага:	12,7 кг		16 кг	23 кг	50 кг	
Технологія:	Безтрансформаторна					

Внутрішнє споживання інвертора:	<5 Вт (безвітряно)	<6 Вт (безвітряно)
Температура експлуатації:	-25°C~60°C	
Клас захисту:	IP65	
Інтерфейс:	RS485/Bluetooth	
Термін служби:	>20 років	
Діапазон робочих частот (Гц):	47-52 или 57-62 (регулюється)	
Експлуатаційна вологість повітря	0~95%	
Електромагнітна сумісність	EN61000-6-1:2007 EN61000-6-3:2007	

3.4 Контролер

Основні функції контролера для вітрогенератора є наступними.

а). Контроль заряду акумуляторних батарей: контролер стежить за електричними параметрами акумуляторів і в міру накопичення заряду перенаправляє енергію від вітряка безпосередньо до навантаження.

б). Контроль вітрового навантаження: контролер оцінює силу і напрям вітру і визначає оптимальне положення лопатей вітрогенератора, повертаючи їх для отримання максимальної потужності. Деякі контролери можуть включати плавне гальмування валу вітрогенератора при сильному вітрі.

а) Перетворення напруги: більшість вітрогенераторів виробляють змінну напругу, а для заряду акумуляторних батарей необхідно постійне. Контролер стежить за величиною напруги і струму при зарядці акумуляторів.



Рис. 10 Контролер для вітрогенераторної установки

3.5 Схеми підключення вітрогенераторної станції

Для живлення електроприймачів від вітроустановки необхідно здійснити підключення її до навантаження. Буває не мережеві (без підключення до громадської мережі) і мережеві (з підключенням до громадської мережі) схеми підключення інверторів напруги. Розглянемо їх.

1) Автономна схема підключення

Дана схема підключення дозволить частково або повністю використовувати автономне електроживлення. При такій схемі підключення зовсім неважливо наявність загальної електромережі.

У наведеній нижче системі живлення споживачів здійснюється за допомогою інвертора напруги або струму безпосередньо від вітряної електростанції або акумуляторних батарей.

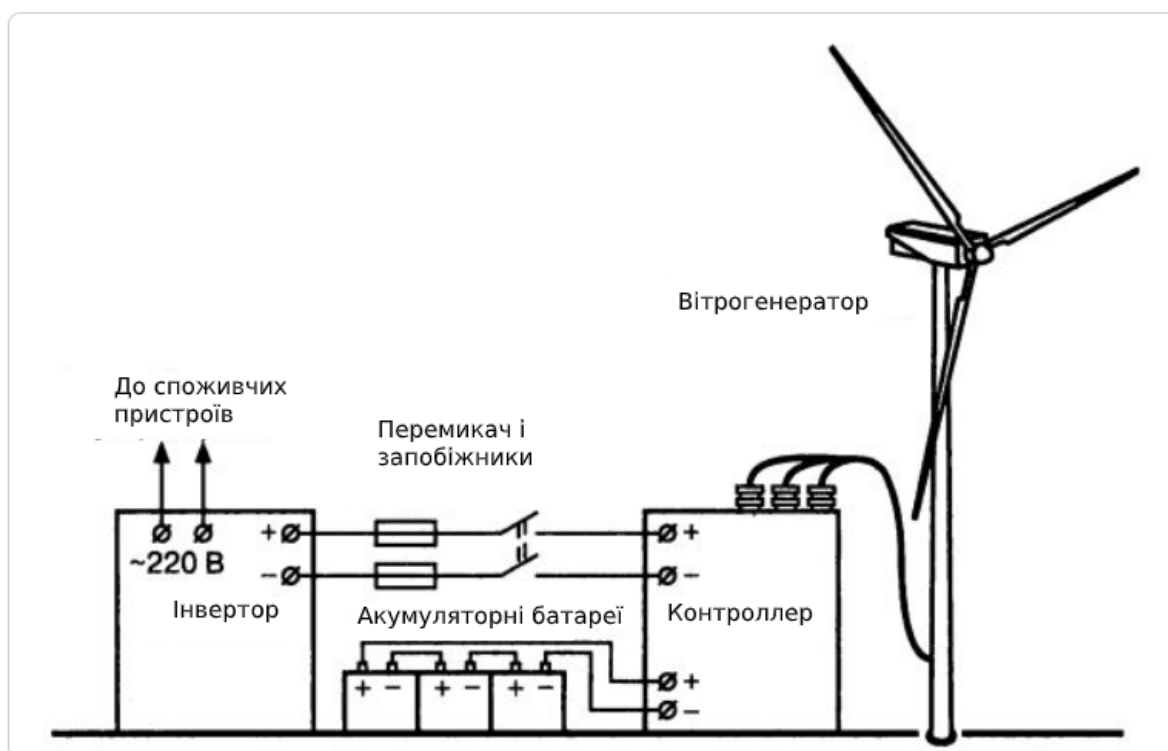


Рис. 11 Автономне підключення вітрогенераторної установки

2) Мережева схема підключення

Підключення таких систем доцільно виконувати при великій потужності вітроустановки або досить малої потужності споживачів. Таке підключення дозволяє не тільки живити приймачі електроенергії від електромережі, але і при надмірному виробленні

енергії вітряної електростанції продавати електроенергію за так званим «зеленим тарифом» [14].

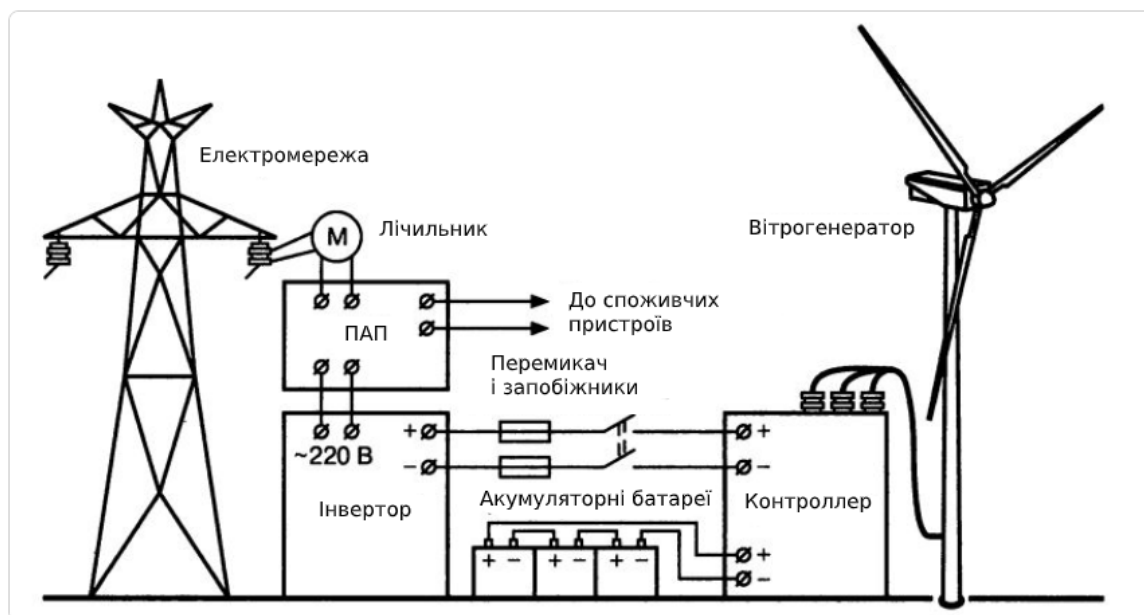


Рис. 12 Мережеве підключення вітрогенераторної установки

4. НАУКОВИЙ ПІДХІД ДО СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МЕРЕЖЕЮ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ ВІТРОГЕНЕРАТОРНОЇ СТАНЦІЇ

Електрична пружина (ЕП)- це компенсатор напруги нового покоління, який послідовно з'єднаний із критичним навантаженням з метою регулювання напруги критичного навантаження.

Причини виникнення коливання напруги є наступними:

- різна швидкість вітру,
- коливанням навантаження,
- автоматичне відключення вітрогенераторної станції.

У випадку падіння напруги на електричній шині електрична пружина зменшує напругу некритичного навантаження, щоб підтримувати напругу критичного навантаження на певному рівні. Але слід зауважити, що некритичні навантаження не можуть працювати від будь-якої напруги (наприклад, 110 В). У цій роботі був розглянутий принцип керування, заснований на компенсації активної та реактивної потужності, що приводить до контролю величини напруги для критичних навантажень на еталонному рівні, одночасно забезпечуючи величину напруги некритичного навантаження в допустимих межах. Пропонований контролер має два контури регулювання напруги, які регулюють активну та реактивну потужність електричної пружини. Результати експерименту дослідження показують, що механізм електричної пружини може ефективно покращити керування напругою як критичних, так і некритичних навантажень, при цьому одночасно задовольняти вимогам щодо динамічного відгуку системи.

4.1 Опис електричної пружини

4.1.1 Причини та цілі дослідження

Одним із пріоритетних напрямків розвитку енергетики в ХХІ ст. є широке використання джерел відновлювальної енергії, яку ще називають «зеленою» енергією. Зростаюче застосування таких відновлюваних джерел енергії, як вітрогенераторів, привносить свої властивості в енергосистеми. Характеристики вітрогенераторних джерел енергії є просторово розподілені та мають переривистий характер, тому для поточному моменту часу дуже важко прогнозувати та контролювати загальну генерацію електроенергії [15]. Використання переривистих джерел енергії може дестабілізувати змінну напругу

мережі. Останнього часу для контролю розподілу напруги в мережі використовувались різні методи.

У системах, які живляться від джерел відновлювальної енергії, дуже важливо знайти новий механізм керування, щоб забезпечити споживання енергії критичним навантаженням за заздалегідь невідомим і швидко змінюваним графіком генерації енергії. На відміну від цих систем у традиційних енергетичних системах електрогенеруюча підсистема має задовольняти потреби критичних навантажень.

Останнього часу широке застосування для керуванні електричної потужності знайшов механізм електричної пружини.

Електрична пружина спроектовано таким чином, щоб підтримувати напругу змінного струму критичного навантаження на певному рівні, при цьому напруга некритичного навантаження може коливатися. Сама електрична пружина приєднується послідовно до некритичного навантаження. Через механізм подачі або споживання реактивної електричної потужності електрична пружина регулює напругу на критичному навантаженні. У цій роботі розглянуто подвійне керування напругою обох навантажень, як критичного так і некритичного.

У роботі [17] використано електричну пружину з компенсацією реактивної потужності в секціонованій енергетичній мікромережі. Метою цієї стратегії керування є регулювання напруги критичного навантаження, при цьому для некритичного навантаження допускаються коливання. У роботі [18] використано кілька електричних пружин з компенсацією реактивної потужності в розподільчій мережі (підключеної до мережі). У роботі [18] розглянуто узгоджене регулювання напруги критичних навантажень. У роботі [19] використано електричну пружину з компенсацією активної та реактивної потужності в секціонованій енергетичній мікромережі. Останні дослідження в галузі застосування електричної пружини наведені в роботі [16], де запропонований принцип роботи електричної пружини базується на компенсації активної та реактивної потужності в мікромережі в режимі підключення до енергосистеми. Стратегія керування, яка використовується в цій роботі, може контролювати напругу як критичних, так і некритичних навантажень, що є найбільш досконалим методом регулювання напруги на даний час.

Таблиця 8 Стислий огляд використання електричної пружини .

Тип керування	Компенсація реактивної потужності	Компенсація активної потужності	Регулювання напруги критичного навантаження	Регулювання напруги некритичного навантаження
[17]	так	ні	так	ні
[17]	так	ні	так	ні
[19]	так	так	так	ні
[16]	так	так	так	так

4.1.2. Конфігурація електричної пружини та принцип її роботи

Електрична пружина є послідовно з'єднаним компенсатором. Принципову електричну схему показано на рисунку 13.

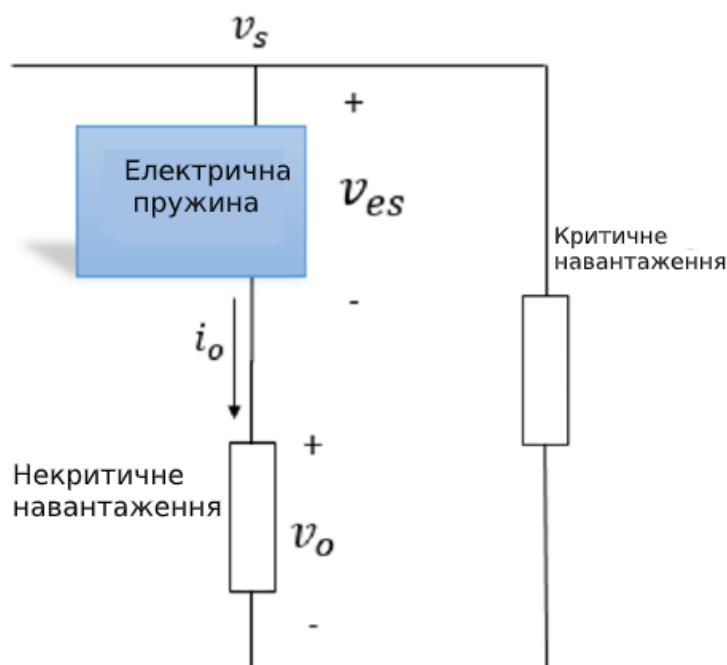


Рис. 13 Принципова електрична схема електричної пружини для критичного та некритичного навантаження

Для компенсації реактивної потужності, електрична пружина виробляє напругу (v_{es}), яка перпендикулярна до струму поточного некритичного навантаження (i_o). Коли в системі живлення стається падіння напруги, напруга електричної пружини збільшується, і

таким чином напруга некритичного навантаження (v_0) зменшується, доки напруга критичного навантаження (напруга мережі v_s) не досягне однієї умовної одиниці. Але некритичне навантаження не працює під будь-якою напругою. Наскільки величина зменшення напруги може бути прийнятною? Це залежить від типу некритичного навантаження. Прикладами некритичних навантажень можуть бути електричні водонагрівачі, холодильники, системи освітлення тощо.

Припустимо, що некритичне навантаження - це електрична лампочка. Якщо її підключити до 220 Вольт (одна умовна одиниця), вихідна потужність буде становити одну умовну одиницю. Якщо її підключити до 0,9 умовної одиниці напруги, вихідна потужність складе приблизно 0,8 умовної одиниці. Якщо її підключити до 0,5 умовної одиниці напруги, вихідна потужність складе 0,25 умовної одиниці. При такій величині потужності лампочка взагалі не буде світитися [16]. Наведений вище приклад стосується також і інших навантажень. Мотор холодильника при потужності 0,25 умовної одиниці не може здійснити компресію газу і навіть не зможе розпочати роботу. Саме тому в цій роботі встановлюються обмеження робочої напруги як для критичних, так і для некритичних навантажень. Мінімальне та максимальне обмеження напруги для некритичного навантаження встановлені в межах від 0,8 до 1,2 умовної одиниці. Але загалом воно може бути іншим, залежно від типу навантаження та його технічних характеристик.

Електричну пружину послідовно з'єднано з некритичним навантаженням. Некритичне навантаження може бути окремим навантаженням або збірним навантаженням, яке складається з кількох окремих навантажень. Сума векторів напруги некритичного навантаження (v_0) та напруги компенсації (v_{es}) дорівнює напрузі живлення (v_s). В якості електричної пружини для системи може бути застосований напівмостовий інвертуючий підсилювач потужності, як показано на рис 14.

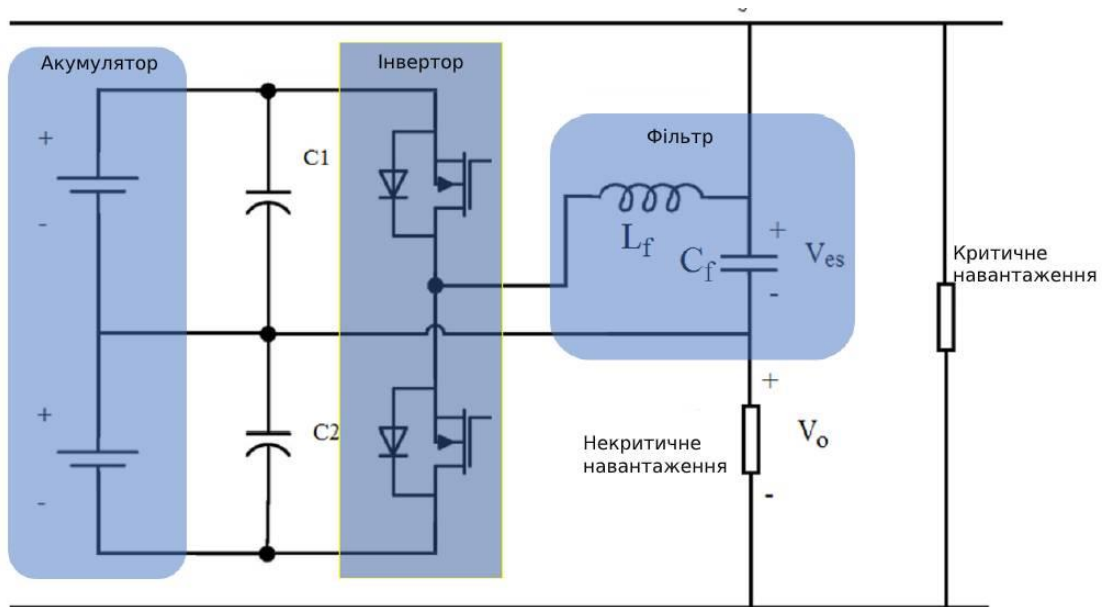


Рис. 14 Напівмостовий інвертор потужності, застосований в електричній пружині

Навантаження можна класифікувати на дві групи: некритичне навантаження Z_0 та критичне навантаження Z_1 . Вимога до електричної пружини полягає в тому, що регулювати напругу критичного навантаження. Припустимо, що P_{in} є сумою потужностей електрогенераторної установки та вітрогенераторної станції. Остання змінюється стрибкоподібно. Запишемо рівняння балансу потужностей (1) для системи на рисунку 1.

$$P_{in} = P_0 + P_1 \Rightarrow P_{in} = \left(\frac{v_s - v_{es}}{Z_0}\right)^2 \operatorname{Re}(Z_0) + \left(\frac{v_s}{Z_1}\right)^2 \operatorname{Re}(Z_1) \quad (1)$$

Для спрощення припустимо далі, що тип навантаження є резистивного характеру.

$$P_{in} = \frac{(v_s - v_{es})^2}{R_0} + \frac{v_s^2}{R_1}, \quad (2)$$

де v_0, v_s, v_{es} - вектори напруги некритичного, критичного навантаження (напруги мережі) та електричної пружини, відповідно. Re позначає дійсну частину імпедансу.

Взагалі електрична пружина може працювати з будь-яким типом критичного та некритичного навантаження, які мають резистивний, індуктивний або ємкісний характер.

Якщо вхідна потужність (P_{in}) зменшується, електрична пружина відрегулює напругу мережі (v_s) до еталонного значення (одна умовна одиниця). У цьому випадку потужність P_1 залишається постійною, а P_0 зменшується. Власно кажучи, напруга електричної пружини (v_{es}) збільшується, поки обидві сторони рівняння балансу потужності

(1) не стануть рівними. Тому некритичне навантаження повторює характер змінення генерації енергії, тоді як потужність критичного навантаження є постійною величиною.

Рівняння (3) визначає вектор напруги електричної пружини як в ємнісному, так і під індуктивному режимі.

$$\begin{aligned} v_{es} &= -v_c \text{ для ємнісного режиму} \dots\dots \\ v_{es} &= +v_c \text{ для індуктивного режиму} \end{aligned} \quad (3)$$

де v_c є напругою на конденсаторі фільтра напівмостового інвертора.

4.1.3. Принцип регулювання напруги критичного та некритичного навантаження

Типова мікромережа з підключеною до неї вітрогенератором показано на рис. 15.

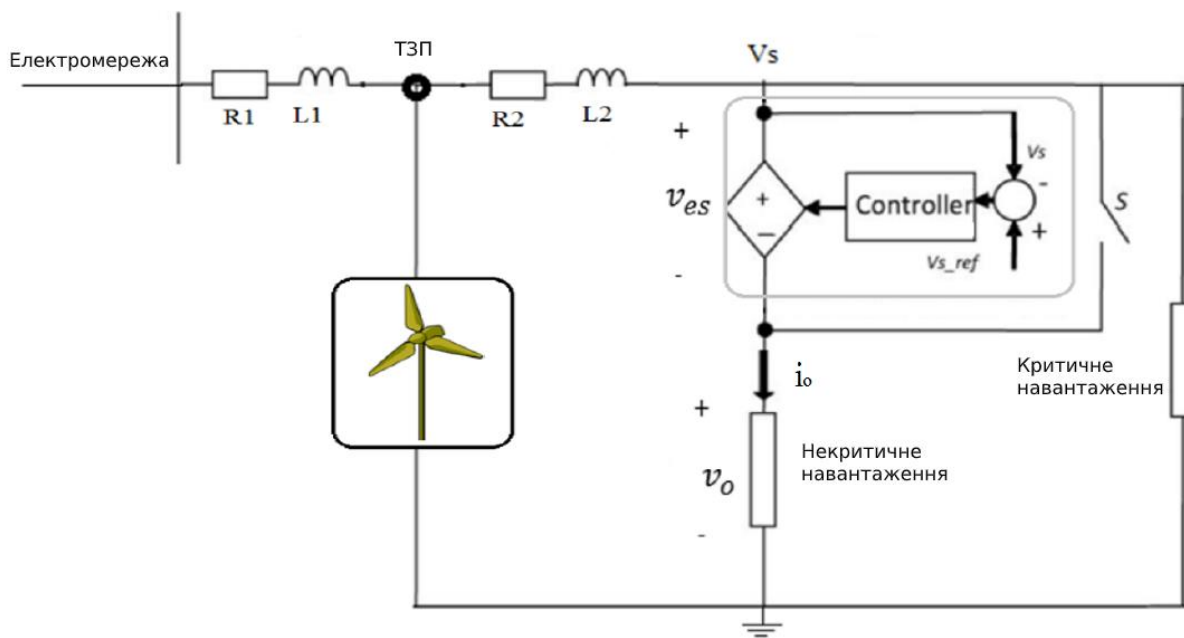


Рис. 15 Типова мікромережа в режимі підключення вітрогенератора

Навантаження, які можуть працювати з деяким ступенем коливань напруги відносяться до некритичного навантаження. Всі критичні навантаження пов'язані з одним джерелом живлення, а всі некритичні навантаження підключені через електричну пружину до іншого джерела живлення. До речі, кожне навантаження на рис. 15 є сумою паралельно-з'єднаних навантажень одного типу. Інвертор та широтно-імпульсний модулятор можуть бути змодельовані як змінне джерело напруги, яке може генерувати напругу будь-якої

амплітуди та фази за допомоги сигналу контролера. Перемикач S є типу шунта. Якраз тоді, коли критична напруга нормальна (наприклад, приблизно 1 умовна одиниця) цей перемикач обходить електричну пружину, а в інші моменти він відкритий. Мікромережу підключено до верхньої електромережі в точці загального приєднання (ТЗП) через лінію 1 (R_1, L_1). Вітрогенераторна станція підключена до точки загального приєднання, а ТЗП- до мікромережі через лінію 2.

Векторна діаграма напруги схеми із електричною пружиною в мікромережі для трьох робочих режимів не критичного резистивно-індуктивного навантаження показано на рис. 15. На цих рисунках радіус кола відображає нормовану напругу мережі, тобто 220 В-одну умовну одиницю. Позитивний напрямок обертання векторів вважається проти годинникової стрілки із частотою 50 Гц. У режимі підключення до електромережі змінення потужності мікромережі не впливає на частоту системи живлення. Але змінення рівня потужності (активної та реактивної) може змінити напругу живлення. Рисунок 4 (а) показує випадок, коли електрична пружина в «нейтральній» точці, в той час як $v_{es} = 0$ означає, що генерація вітрової енергії достатня для живлення навантажень, і одночасно вона підтримує напругу мережі на рівні 1 умовної одиниці (220 В), тобто на еталонному значенні.

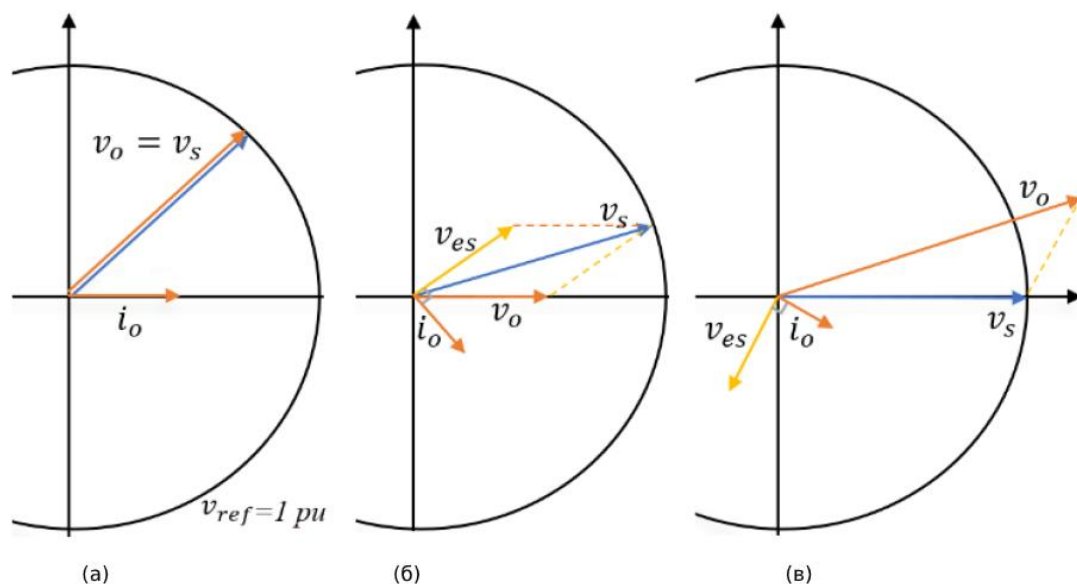


Рис. 16 Регулювання напруги електричною пружиною для не критичного навантаження резистивно-індуктивного характеру. (а) Нейтральна точка. (б) Індуктивний режим. (в) Ємнісний режим.

Коли генерація електроенергії вітрогенераторною станцією зменшується або споживання електроенергії навантаженнями збільшується, в електромережі виникає падіння напруги.

Рисунок 16 (б) відображає цю ситуацію, саме коли генерація електроенергії вітровою станцією зменшується. Для регулювання напруги потрібно зменшити споживання енергії некритичним навантаженням, щоб усунути падіння напруги.

Отже, електрична пружина створює напругу, яка має кут по відношенню до струму некритичного навантаження 90° . Електрична пружина збільшує вектор v_{es} , поки векторна сума v_0 і v_{es} не стане однією умовною одиницею. Згідно із рівнянням (1) другий доданок залишається постійним, але перший доданок зменшується, щоб зберегти баланс потужності. Це означає, що потужність некритичного навантаження має зменшуватися, щоб забезпечити мережу напругою в 1 умовну одиницю.

Коли генерація електроенергії вітрогенераторною станцією збільшується або енергоспоживання навантажень зменшується, відбувається прирощення напруги. Цей випадок показаний на рис. 16(в), де електрична пружина збільшила напругу некритичного навантаження. Для підтримки балансу потужності та забезпечення напруги мережі на рівні 1 умовної одиниці, енергоспоживання некритичного навантаження збільшується за рахунок збільшення його напруги.

Рисунок 16 зображує режими роботи електричної пружини для резистивного некритичного навантаження в електромережі. Для резистивного навантаження вектори i_0 і v_0 мають однакові фазові кути, на рисунку зображений тільки v_0 . Рис. 16 (б) зображує випадок, коли генерація електроенергії вітрогенераторною станцією зменшується. Для регулювання напруги необхідна компенсація реактивної потужності. У цій ситуації електрична пружина має виробляти реактивну потужність (ємнісний режим) для підвищення напруги мережі. Отже, електрична пружина виробляє напругу v_{es} , яка відстає від струму некритичного навантаження i_0 на 90° . Крім того, ця напруга зменшує напругу і потужність некритичного навантаження. Рис. 16 (в) показує випадок, коли генерація електроенергії вітрогенераторною станцією та напруга мережі підвищені. У цій ситуації електрична пружина має споживати реактивну потужність (індуктивний режим) для зменшення напруги мережі. Отже, електрична пружина виробляє напругу v_{es} , яка випереджає струм некритичного навантаження i_0 на 90° . Цікавим фактом при використанні резистивного навантаження є те, що некритична напруга v_0 зменшується в обох режимах компенсації (ємнісного та індуктивного), що можна побачити на рис. 16 (б) для ємнісного режиму і на рис. 16 (в) для індуктивного режиму.

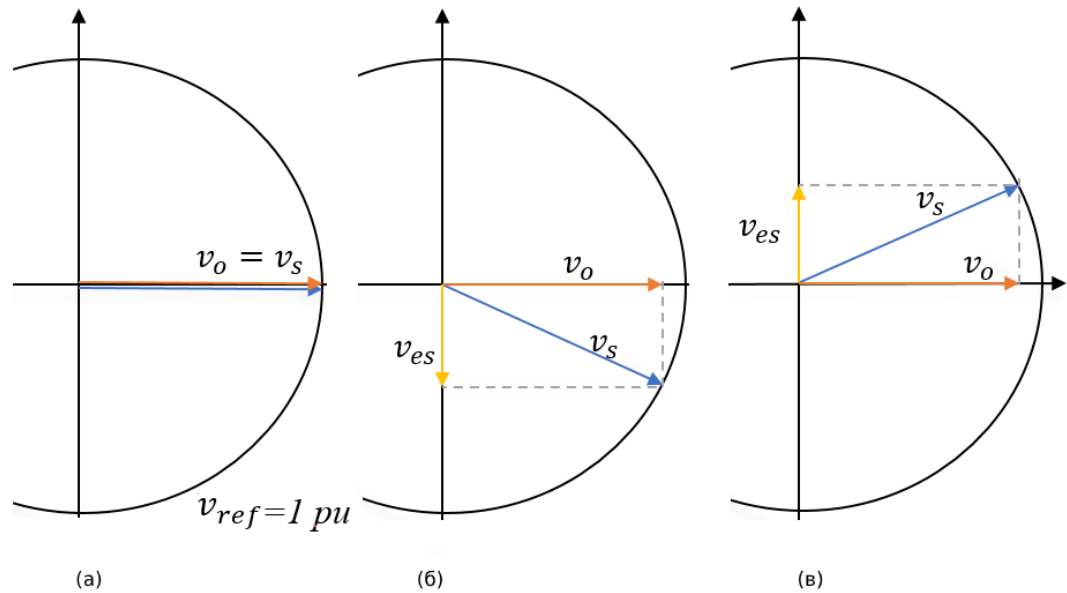


Рис. 17 Забезпечення електричною пружиною рівня $v_s = 1$ умовна одиниця (220 В) для некритичного навантаження резистивного характеру в режимі підключення мікромережі до електромережі. (а) Нейтральна точка. (б) Ємнісний режим. (в) Індуктивний режим.

Якщо має місце незначне падіння напруги, електрична пружина має подавати невелику реактивну потужність, виробляючи напругу малої величини (v_{es}), як показано на рис.17 (а). Якщо сталося середнє падіння напруги, електрична пружина має виробляти напругу середньої величини (v_{es}) для регулювання напруги мережі, як це показано на рис. 6 (б). Коли напруга електричної пружини (v_{es}) збільшується, напруга некритичного навантаження (v_o) зменшується. Для компенсації великого падіння напруги напруга некритичного навантаження (v_o) значно зменшується. Дуже мала напруга некритичного навантаження (v_o) неефективна для багатьох типів операцій (двигуни не можуть запускатися, лампи не засвічуються тощо).

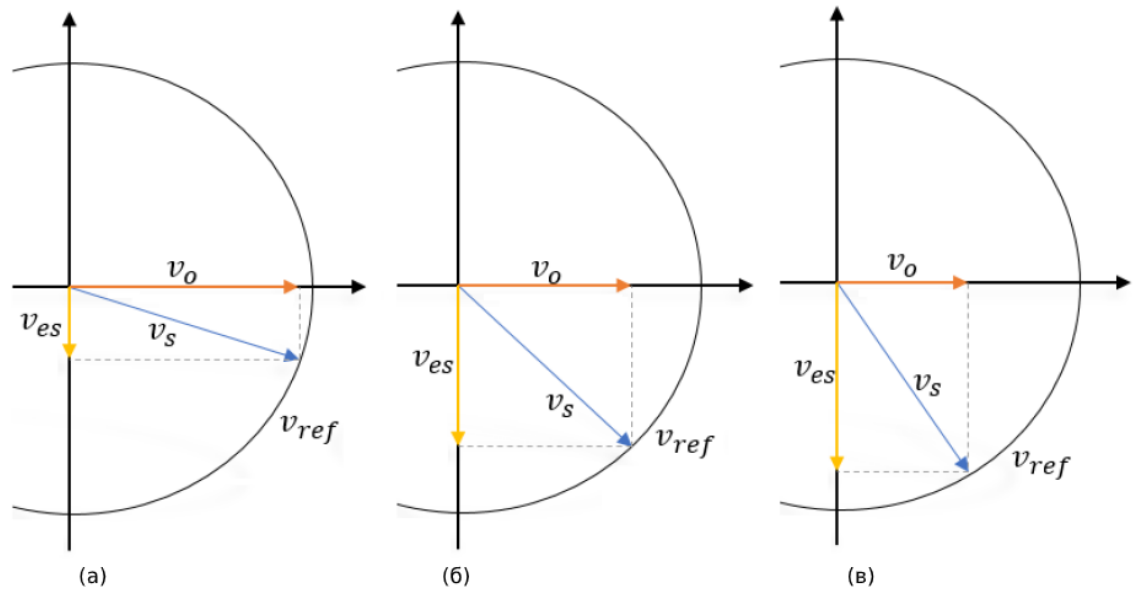


Рис. 18 Векторна діаграма для напруги різної величини

При компенсації реактивної потужності величина v_s дорівнює 1 умовній одиниці, а величина v_o на рис. 18 (а) - 0,5 умовній одиниці, що нижче за його робочу межу (0,8 умовної одиниці). Поділимо вектор v_{es} на v_q і v_p . Вектор v_p – напруга електричної пружини, що змінює реактивну потужність (ємнісну або індуктивну). Вектор v_q - напруга електричної пружини, що підживлює або поглинає активну потужність. Для збільшення некритичної напруги електрична пружина має виробляти напругу v_p з різницею кута фази 180° для струму або напруги некритичного навантаження i_0 або v_0 (у резистивному навантаженні). Для компенсуючої напруги та потужності некритичного навантаження електрична пружина має підживлювати активну потужність. На рис.18 (а) і 18 (б) показана векторна діаграма напруг до і після підживлення активної потужності. Як це показано на рис. 18, при підживленні активної потужності напруга мережі v_s не змінюється, збільшується тільки напруга v_o . Вочевидь, для зменшення величини v_o електрична пружина має виробляти напругу v_p , що має однакову фазу із струмом некритичного навантаження i_0 . Тому електрична пружина може регулювати напругу критичного навантаження за допомогою компенсації реактивної потужності та регулювання напруги некритичного навантаження за допомогою компенсації активної потужності.

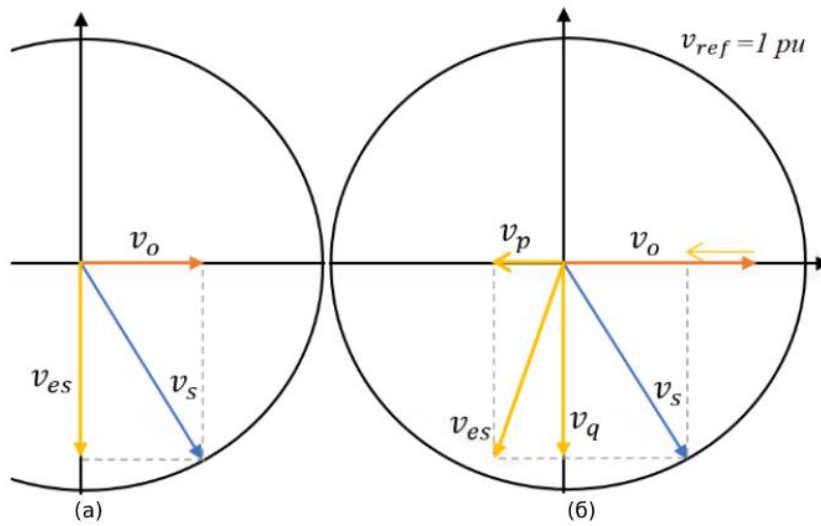


Рис. 19 Векторна діаграма напруг. (а) перед підживленням активної потужності. (б) після підживлення активної потужності.

4.2 Система керування напруги електричною пружиною

На рисунку 20 показано структурну схему системи, яка досліджується. Обидва навантаження, як критичне так і некритичне, вважається резистивного характеру. Контролер регулює вектор напруги v_{es} , який є сумою двох векторів v_q і v_p .

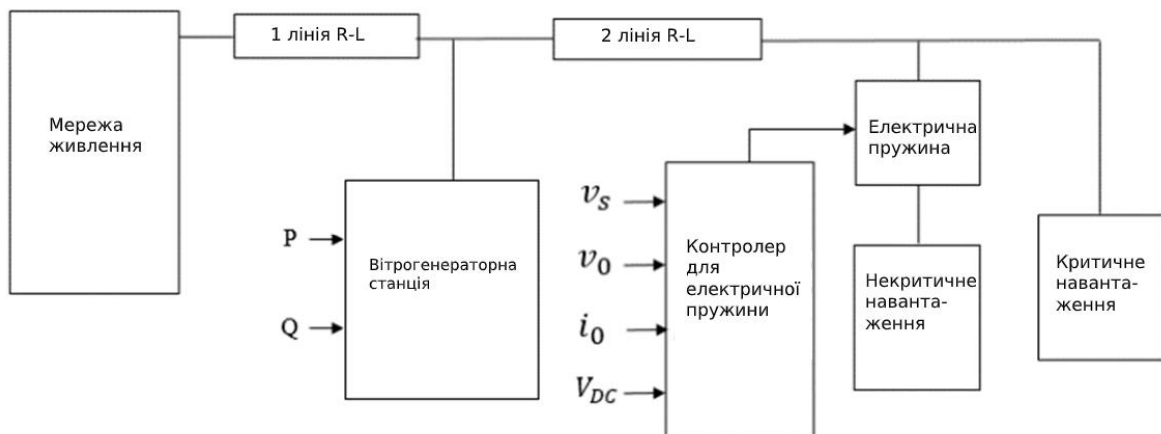


Рис. 20 Структурна схема системи із електричною пружиною

Схему живлення електричної пружини наведено нижче на рисунку 9. Вектор v_{es} представляє собою напругу, якою забезпечує систему електрична пружина, а величини L_f, R_f, C_f є індуктивність та внутрішній опір котушки індуктивності та конденсатора вихідного фільтра на виході інвертора.

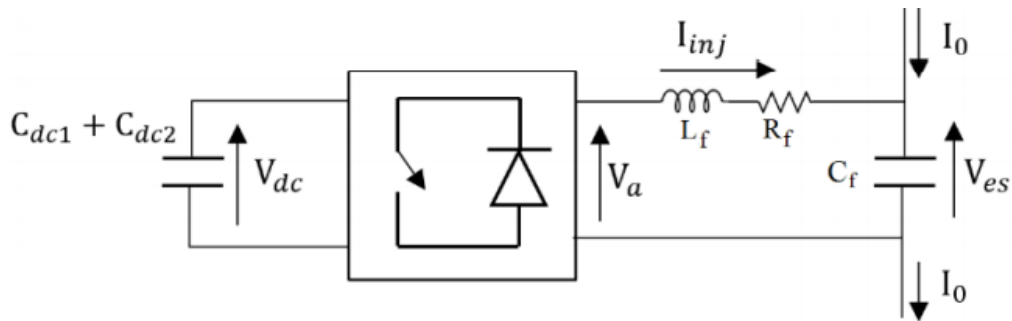


Рис. 21 Схеми живлення для електричної пружини

Реактивний опір конденсатора фільтра C_f є досить значний на частоті 50 Гц. Вектор напруги v_a - це вихідна напруга інвертора перед фільтром, при чому вектори v_{es} , v_a знаходяться практично у фазі.

Інвертор живиться від двох джерел постійного струму, dc_1, dc_2 . Джерелом постійного струму може бути будь-яке двонаправлене джерело постійного струму або акумулятори з перетворювачем змінного/постійного струму, щоб заряджати або розряджати акумулятори при компенсації активної потужності.

Критичні навантаження чутливі до перепадів напруги, і коли напруга коливається, система захисту від напруги може відключити навантаження. Система захисту від'єднає мікромережу від мережі живлення, коли енергоспоживання мікромережі вище, ніж генерована потужність мережі. Коли в мікромережі є інтелектуальне навантаження (електрична пружина, послідовно з'єднана з некритичним навантаженням), електрична пружина регулює напругу мережі і дозволяє напрузі некритичного навантаження динамічно коливатися. Власне, електрична пружина регулює напругу мережі та автоматично формує потужність навантаження відповідно до генерованої потужності. Завдяки цій дії електрична пружина фактично стабілізує електромережу, таким чином, система захисту (захист по напрузі та захист по живленню) не відключає мікромережу.

На рисунку 21 наведено схему контролера. Як показано, для управління напругою як критичного, так і некритичного навантажень для електричної пружини потрібні два розділені контролери із замкнутим контуром. Напруга на критичному навантаженні регулюється за допомогою компенсації реактивної потужності або контуром керування v_q . На вході цього контуру є блок посилення із коефіцієнтом посилення $1/v_{ref}$. Вхідна напруга (v_s) множиться на коефіцієнт посилення, щоб обмежити амплітуду і перетворити її у величину шкали вимірювання v_s^{pu} (шкалу умовних одиниць). Сигнал помилки надходить до ПІ-контролера. Задача ПІ-контролера полягає в прискоренні вихідного відгуку та усуненні

помилки в усталеному режимі. Потім керуючий сигнал надходить у блок насичення з верхньою межею 1 і нижньою межею -1.

Блок над системою фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ-PLL) обчислює векторні значення вхідного сигналу (i_0), і йому потрібно лише значення кута (θ). Блок ФАПЧ визначає частоту і основну складову фазового кута сигналу. Він моделює замкнуту систему керування, яка відстежує частоту та фазу синусоїдального сигналу за допомогою внутрішнього частотного генератора. Система керування регулює частоту внутрішнього генератора, щоб забезпечити нульову різницю фаз. На виході блока ФАПЧ отримується значення ωt струму некритичного навантаження (i_0). Блок над системою ФАПЧ надає кут (θ), отже, на вхід суматорів поступає $\omega t + \theta$. Для компенсації реактивної потужності вектор v_q має бути перпендикулярним до вектору струму i_0 . Ось чому потрібно додати $\frac{\pi}{2}$ до кута θ .

Максимальна вихідна напруга напівмостового інвертора залежить від напруги конденсатора. Кожен конденсатор заряджений до половини ємкості акумулятора ($v_{dc}/2$). Значення v_{dc} становить 480 В і максимальна потужність інвертора становить 240 В. Таким чином формується синусоїда $240\sin(\omega t + \theta - \pi/2)$.

Вектор v_q отримується множенням синусоїди з вихідним значенням блоку насичення (з областю насичення від -1 до 1). Якщо значення блоку насичення позитивне, контролер працює в режимі ємнісної компенсації, а якщо він негативний, контролер працює в режимі індуктивної компенсації.

Напруга некритичного навантаження регулюється за допомоги компенсації активної потужності або контуром керування v_p . Щоразу, коли напруга v_0^{pu} нижча за 0,8 умовних одиниць або вища за 1,2 умовних одиниць, електрична пружина працює як активний компенсатор для регулювання некритичної напруги. Якщо v_0^{pu} опускається нижче за 0,8 умовних одиниць, значення помилки e_1 стає позитивною. Межі блоку насичення S_1 становлять 0 і 1 (позитивні). Тому коли напруга v_0^{pu} перевищує значення 0,8 умовних одиниць помилка e_1 , яка поступає на блок насичення, є негативною, але коли напруга нижча за 0,8 умовних одиниць, помилка e_1 є додатною, і в останньому випадку спрацьовує ПІ-регулятор. Коли напруга v_0^{pu} вища за 1,2 умовних одиниць, значення помилки e_2 стає негативною. Блок насичення дозволяє пропускати лише негативні значення (від -1 до 0).

Коли напруга v_0^{pu} нижча за 1,2 умовні одиниці, вхід до блоку насичення e_1 є позитивним, а коли ця напруга вища за 1,2 умовні одиниці, вхід e_1 є негативним і спрацьовує ПІ-регулятор. Виходи блоків насичення S_1, S_2 додаються. Електрична пружина може працювати в одному з наведених режимів. Контролер працює, коли v_0^{pu} нижче за 0,8 умовні одиниці та вище за 1,2 умовні одиниці. Коли вихід ПІ-регулятора додатній, це означає, що має місце падіння напруги і потрібно підживлення активної потужності. Це позитивне значення множиться із синусоїдою $240\sin(\omega t + \theta - \pi/2)$, щоб сформувати напругу v_p . Коли вихід ПІ-регулятор від'ємний, це означає, що відбувається збільшення напруги, і для зменшення напруги потрібно поглинання активної потужності. Це від'ємне значення множиться із синусоїдою $240\sin(\omega t + \theta - \pi/2)$, щоб сформувати напругу v_p . Вихідний сигнал є v_{es} , що є сумою напруг v_q, v_p . Некритична напруга регулюється в межах від 0,8 до 1,2 умовних одиниці, а не в точці 1 умовна одиниця.

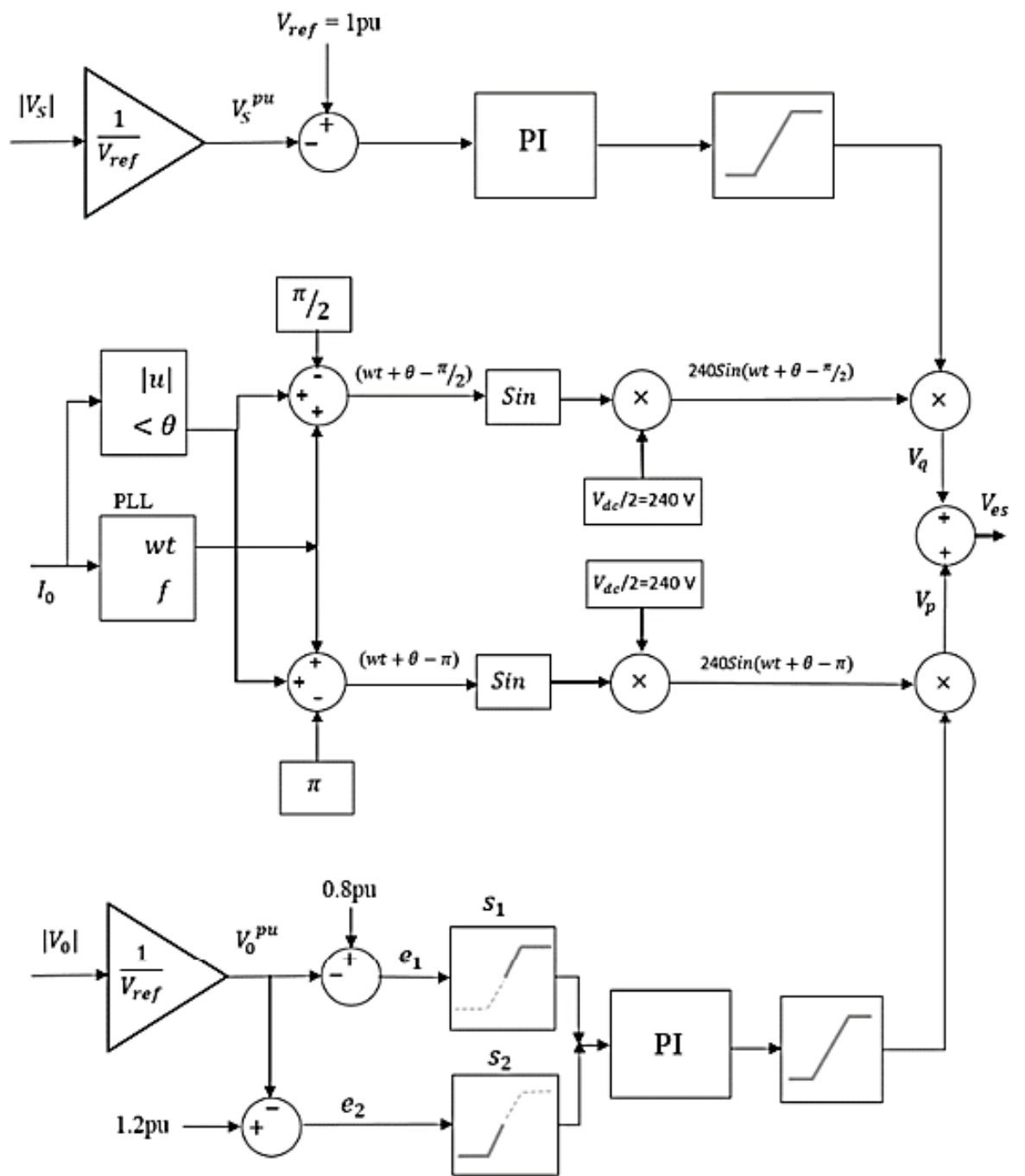


Рис. 22 Схема контролера для системи із електричною пружиною

4.3. Експериментальні дослідження

Отримані експериментальні результати застосування електричної пружини. На рисунку 23 показано експериментальне обладнання для дослідження роботи електричної пружини із описаним принципом роботи. Зміна реактивної потужності вітрогенераторної станції (підживлення або поглинання енергії) описується 5 випадками зменшення або збільшення напруги.

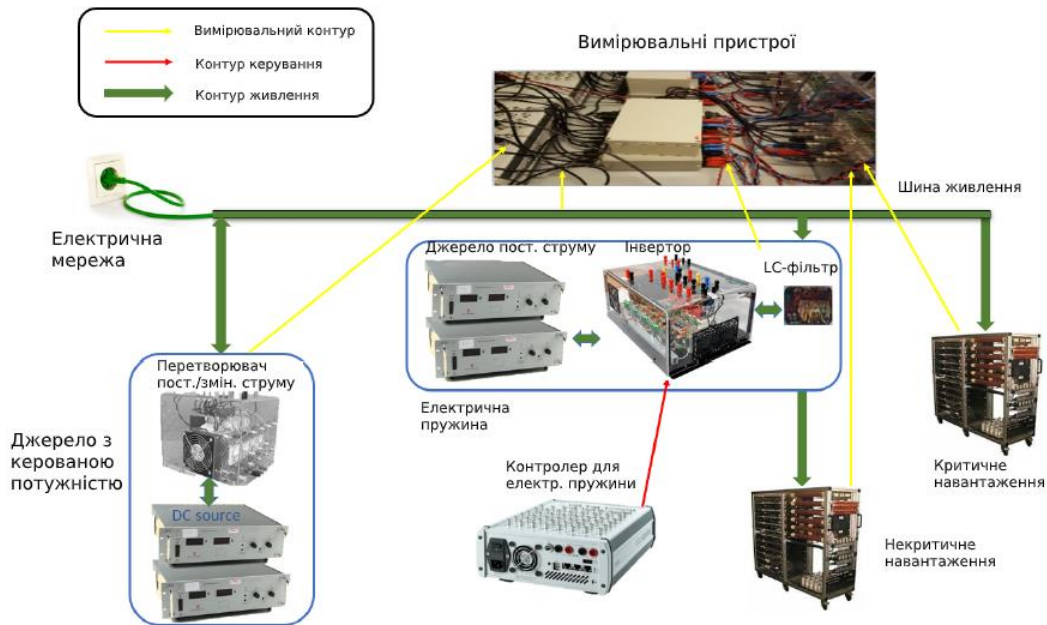


Рис. 23 Експериментальне обладнання для дослідження роботи електричної пружини [2]

Технічні параметри експериментального обладнання наведені в таблиці 9. Електрична пружина встановлена на одній фазі (А) трифазної системи. Критичне та некритичне навантаження вибираються рівними, щоб спостерігати вплив некритичного навантаження на напругу критичного навантаження. Параметри ПІ-регулятора обираються шляхом оптимізації або експериментально.

Прототипом вітрогенераторної станції є це джерело живлення з керованою активною та реактивною потужністю. Це джерело складається з джерела постійного струму і перетворювача постійного струму в змінний, щоб мати можливість генерувати будь-яку активну та реактивну потужність. Для формування коливання напруги, реактивну потужність слід змінити з -2500 VAR (індуктивний режим) на 2500 VAR (ємнісний режим). У розподільчих мережах напруга регулюється здебільшого за допомогою реактивної потужності, оскільки активна потужність має дуже низький вплив на регулювання напруги.

Ось чому напруга в описаному експерименті змінюється шляхом зміни реактивної потужності джерела живлення з керованими параметрами потужності.

Таблиця 9. Технічні параметри експериментального обладнання

<i>Опис</i>	<i>Параметр</i>	<i>Номінальне значення</i>
Навантаження	Критичне	50 Ом
	Некритичне	50 Ом
Індуктивність фільтра	L_f	500 мкГн
Ємність фільтра	C_f	13 мкФ
ПІ-контролер	K_p, K_I	0,2 і 0,05
Частота перемикання	f_s	20 кГц
Програмоване джерело з керованою потужністю	активна потужність	0-500 Вт
	реактивна потужність	від -2500 до 2500 ВАр

Випадок 1.

Для першого випадку, коли споживання реактивної потужності вітрогенераторної станції збільшується з 0 до 1000 ВАр, отже, відбувається зниження напруги на 3%. Рисунок 24 (а) показує напругу мережі v_{es}^{pu} з електричною пружиною у фазі А та іншою фазою без електричної пружини. Рисунок 12 (б) демонструє напруги критичного навантаження v_s^{pu} , некритичного навантаження v_0^{pu} та електричної пружини v_{es}^{pu} . Завдяки підживленню електричною пружиною напруги 0,3 умовні одиниці регулюється напруга мережі. Напруга некритичного навантаження досягає величини 0,9 умовні одиниці, що перевищує його робочу межу, і електрична пружина працює в режимі компенсації реактивної потужності (смісний режим).

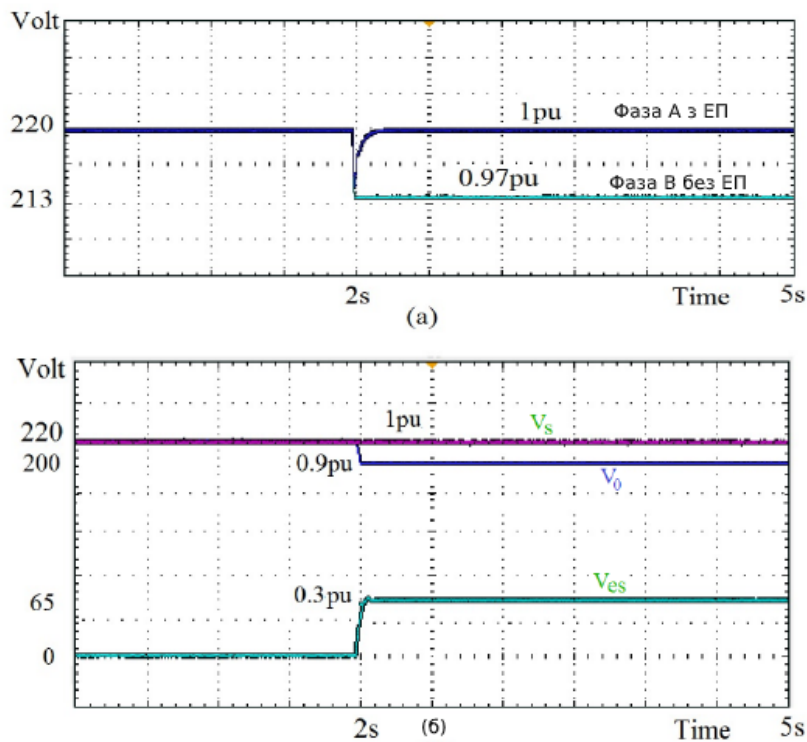


Рис. 24 Споживання реактивної потужності збільшилось від 0 до 1000 ВАр в момент часу $t = 2$ сек.

- Напруга фази А із електричною пружиною і напруга фази Б без електричної пружини.
- Напруги критичного навантаження v_s^{pu} , некритичного навантаження v_0^{pu} та електричної пружини v_{es}^{pu} .

Випадок 2.

Коли підживлення реактивної потужності вітрогенераторною станцією збільшується з 0 до 700 ВАр, отже, відбувається збільшення напруги на 2 %. Рисунок 25 (а) показує напругу мережі v_s^{pu} із електричною пружиною та без неї. Можна побачити із рис. 25 (б), напруга мережі регулюється за рахунок підживлення електричною пружиною напруги 0,3 умовні одиниці. Напруга некритичного навантаження v_0^{pu} досягає величини 0,9 умовні одиниці, що вище його робочої межі, і електрична пружина працює в режимі компенсації реактивної потужності (індуктивний режим).

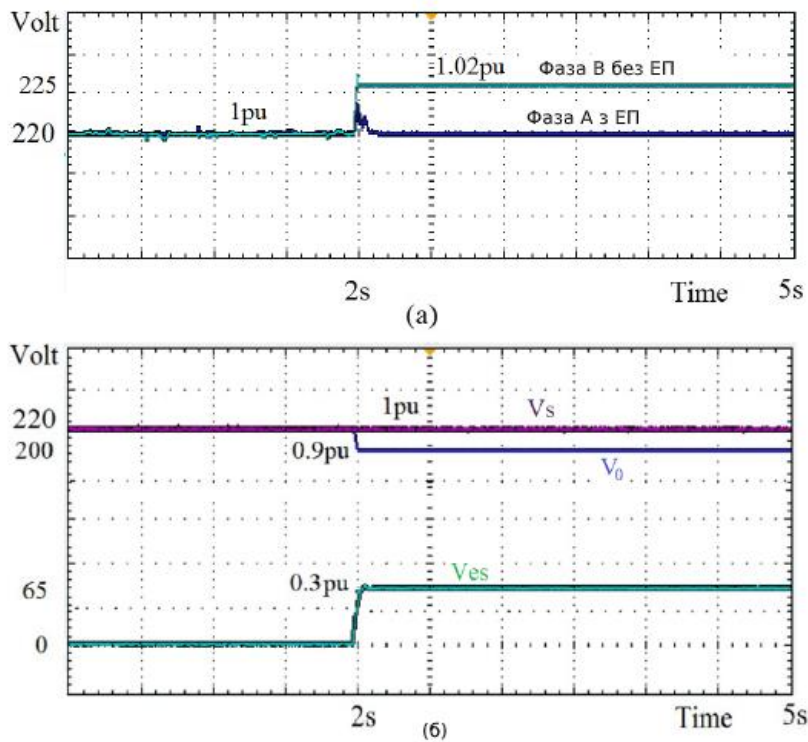


Рис. 25 Підживлення реактивної потужності збільшується від 0 до 700 ВАр в момент часу $t = 2$ сек.

- Напруга фази А із електричною пружиною і напруга фази Б без електричної пружини.
- Напруги критичного навантаження v_s^{pu} , некритичного навантаження v_0^{pu} та електричної пружини v_{es}^{pu} .

Випадок 3.

У третьому випадку підживлення реактивної потужності вітрогенераторною станцією збільшується з 0 до 1200 ВАр, із чого випливає, що відбувається збільшення напруги на 4 відсотки (показано на рис. 26). Обидві напруги як не критичного навантаження v_0^{pu} , так і електричної пружини v_{es}^{pu} майже рівні (близько 0,7 умовні одиниці). Напруга 0,7 умовні одиниці не критичного навантаження v_0^{pu} нижча за його робочу межу (0,8 умовні одиниці). У цьому випадку електрична пружина працює просто в режимі компенсації реактивної потужності.

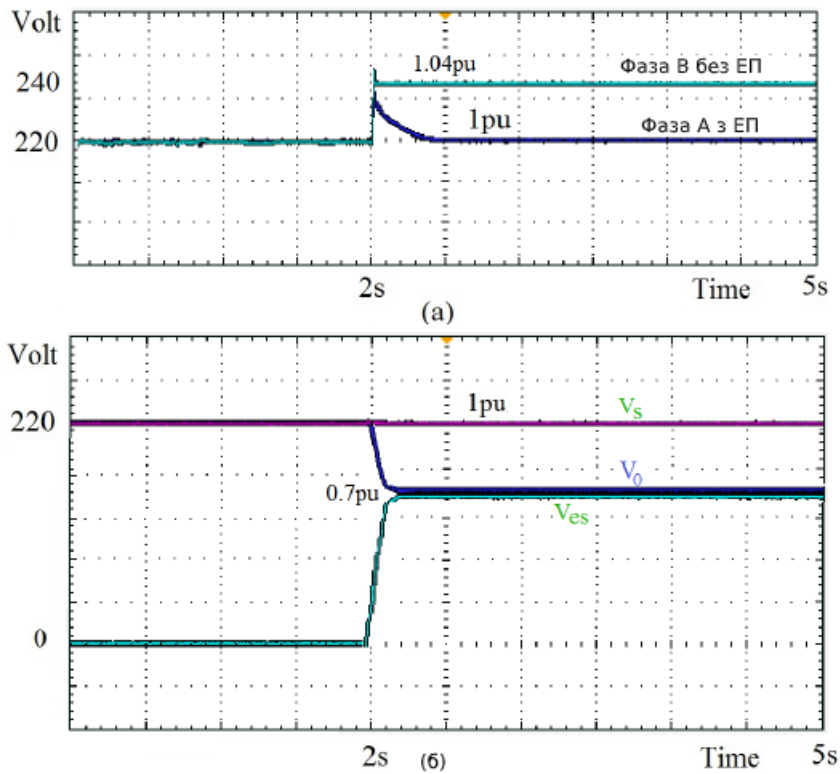


Рис. 26 Підживлення реактивної потужності збільшується від 0 до 1200 ВАр в момент часу $t = 2$ сек.

- а) Напруга фази А із електричною пружиною і напруга фази В без електричної пружини.
- б) Напруги критичного навантаження v_s^{pu} , не критичного навантаження v_0^{pu} та електричної пружини v_{es}^{pu} .

Випадок 4.

Цей випадок описує ситуацію, коли електрична пружина працює як в активному, так і в реактивному режимі для такого ж збільшення напруги, як і в третьому випадку. Результат запропонованої у [2] стратегії управління показаний на рис. 27. Електрична пружина, подаючи активну потужність, регулює напругу некритичного навантаження.

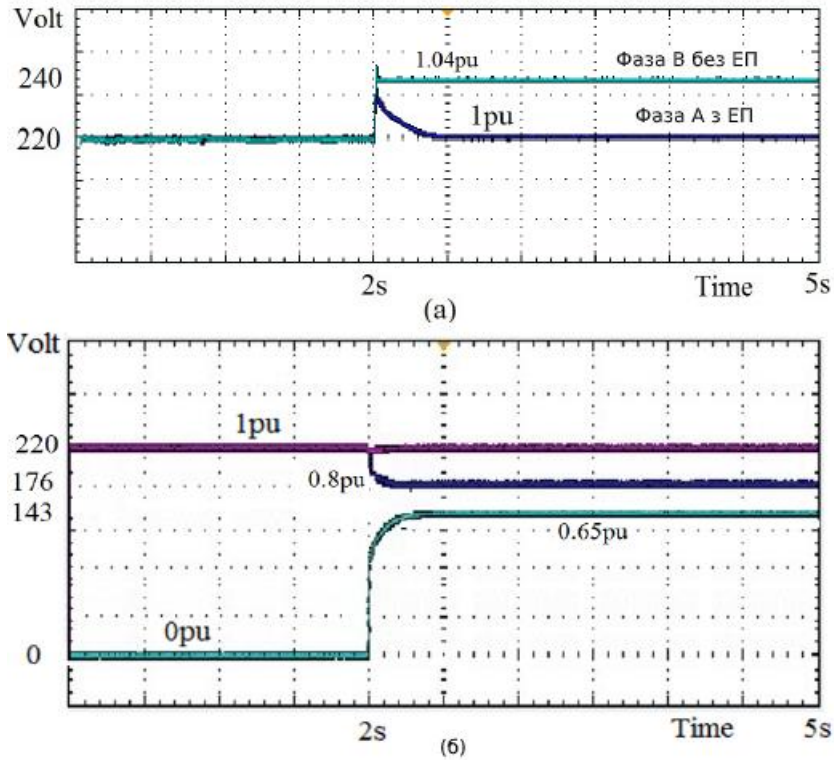


Рис. 27 Підживлення реактивної потужності збільшується від 0 до 1200 ВАр в момент часу $t = 2$ сек.

- Напруга фази А із електричною пружиною і напруга фази В без електричної пружини.
- Напруги критичного навантаження v_s^{pu} , некритичного навантаження v_0^{pu} та електричної пружини v_{es}^{pu} при застосуванні стратегії керування у [16].

Випадок 5.

Графіки напруги на рис. 27 і 28 - результати для п'ятого випадку, коли споживання енергії вітрогенераторної станції збільшується з 0 до 2200 ВАр (рис. 27 –звичайний принцип керування [18, 19], рис.28- принцип керування, запропонований у [16]). Відбувається падіння напруги 6% на обох графіках, але в останньому випадку електрична пружина регулює некритичну напругу на рівні 0,8 умовних одиниць в порівнянні з 0,66.

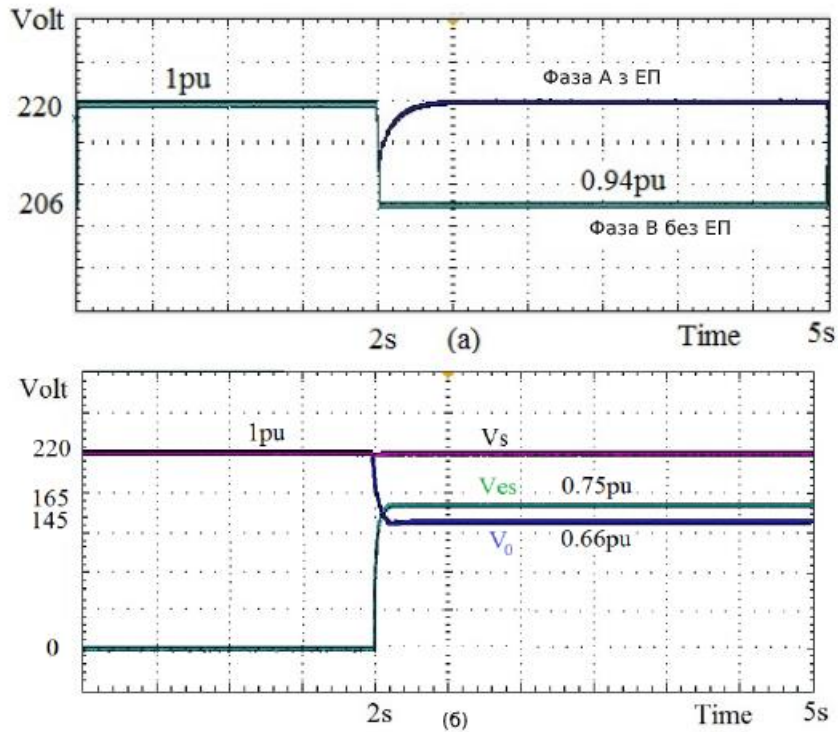


Рис. 28 Споживання реактивної потужності збільшується від 0 до 2200 ВАр в момент часу $t = 2$ сек.

- Напруга фази А із електричною пружиною і напруга фази В без електричної пружини.
- Напруги критичного навантаження v_s^{pu} , некритичного навантаження v_0^{pu} та електричної пружини v_{es}^{pu} .

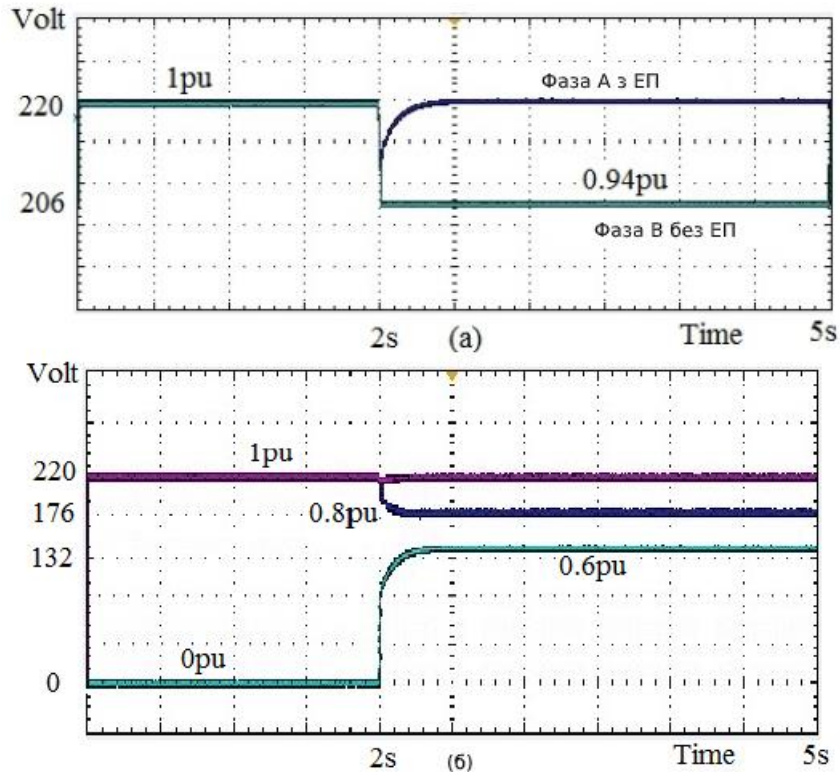


Рис. 29 Підживлення реактивної потужності збільшується від 0 до 2200 ВАр в момент часу $t = 2$ сек.

- а) Напряга фази А із електричною пружиною і напряга фази В без електричної пружини.
 б) Напруги критичного навантаження v_s^{pu} , некритичного навантаження v_0^{pu} та електричної пружини v_{es}^{pu} при застосуванні стратегії керування у [2].

Як ми бачимо із отриманих експериментальних графіків принцип керування електричною пружиною є дуже простим, але в той же час ефективним методом. Вектор напруги v_{es} ділиться на два вектори, v_q та v_p . Кожен вектор управляється простим замкнутим контуром керування. Для живлення електричної пружини потрібний акумулятор або будь-яка інше джерело постійного струму малої потужності. Тому що, по-перше, компенсація реактивної потужності не потребує жодного джерела живлення. Вона просто споживає дуже невелику кількість енергії через перемикання та втрати на конденсаторі. По-друге, електрична пружина рідко виробляє активну потужність. Лише коли напруга некритичного навантаження опускається нижче 0,8 умовних одиниць, електрична пружина виробляє активну потужність. По-третє, коли електрична пружина працює в режимі компенсації активної потужності, вона виробляє незначну кількість активної потужності для досягнення рівня некритичного напруги 0,8 умовних одиниць (робоча межа).

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Аналіз потенційно небезпечних чинників при розробці і експлуатації системи

Управління всією системою вестиме оператора в інформаційному центрі. Вся інформація, що поступає, обробляється робочою станцією і зберігається на жорсткий диск. Оператор може контролювати роботу системи прочитуючи дані з монітора.

Нааявний в даний час в нашій країні комплекс розроблених організаційних заходів і технічних засобів захисту, накопичений передовий досвід роботи ряду обчислювальних центрів показує, що є можливість добитися значно великих успіхів в справі усунення дії на працюючих небезпечних і шкідливих виробничих чинників. Проте стан умов праці і його безпеки у ряді ВЦ ще не задовольняють сучасним вимогам. Оператори ЕОМ, оператори підготовки даних, програмісти і інші працівники ВЦ ще стикаються з дією таких фізично небезпечних і шкідливих виробничих чинників, як підвищений рівень шуму, підвищена температура зовнішнього середовища, відсутність або недостатня освітленість робочої зони, електричний струм, статична електрика та інші.

Багато співробітників ВЦ пов'язано з дією таких психофізичних чинників, як розумове перенапруження, перенапруження зорових і слухових аналізаторів, монотонність праці, емоційні перевантаження. Дія вказаних несприятливих чинників призводить до зниження працездатності, викликане стомленням, що розвивається. Поява і розвиток стомлення пов'язана із змінами, що виникають під час роботи в центральній нервовій системі, з гальмівними процесами в корі головного мозку. Наприклад сильний шум викликає труднощі з розпізнаванням колірних сигналів, знижує швидкість сприйняття кольору, гостроту зору, зорову адаптацію, порушує сприйняття візуальної інформації, зменшує на 5-12% продуктивність праці. Тривала дія шуму з рівнем звукового тиску 90 дБ знижує продуктивність праці на 30-60 %.

Медичні обстеження працівників ВЦ показали, що окрім зниження продуктивності праці, високі рівні шуму приводять до погіршення слуху. Тривале знаходження людини в зоні комбінованої дії різних несприятливих чинників може привести до професійного захворювання. Аналіз травматизму серед працівників ВЦ показує, що в основному нещасні випадки походять від дії фізично небезпечних виробничих чинників при заправці носія інформації на барабан, що обертається, при зняттю кожусі, при виконанні співробітниками невласливих ним робіт. На другому місці випадки, пов'язані з дією електричного струму.

Електричні установки, до яких відноситься практично все устаткування ЕОМ, представляють для людини велику потенційну небезпеку, оскільки в процесі експлуатації або проведенні профілактичних робіт чоловік може торкнутися частин, що знаходяться під напругою. Специфічна небезпека електроустановок: токоведущі провідники, корпусу ЕОМ і іншого устаткування, що опинився під напругою в результаті пошкодження (пробою) ізоляції, не подають яких-небудь сигналів, які попереджають людину про небезпеку. Реакція людини на електричний струм виникає лише при протіканні останньої через тіло людини. Виключно важливе значення для запобігання електротравматизму має правильна організація обслуговування електроустановок ВЦ, що діють, проведення ремонтних, монтажних і профілактичних робіт. При цьому під правильною організацією розуміється строге виконання низки організаційних і технічних заходів і засобів, встановлених “Правилами технічної експлуатації електроустановок споживачів і правила техніки безпеки, що діють, при експлуатації електроустановок споживачів” (ПТЕ і ПТБ споживачів) і “Правила установки електроустановок” (ПУЕ). Залежно від категорії приміщення необхідно прийняти певні заходи, що забезпечують достатню електробезпеку при експлуатації і ремонті електроустаткування. Так, в приміщеннях з підвищеною небезпекою електроінструменти, переносні світильники мають бути виконані з подвійною ізоляцією або їх напруга живлення не повинна перевищувати 42В. У ВЦ до таких приміщень можуть бути віднесені приміщення машинного залу, приміщення для розміщення сервісної і периферійної апаратури. У особливо небезпечних же приміщеннях напруга живлення переносних світильників не повинно перевищувати 12В, а робота з напругою не вище 42В вирішується тільки із застосуванням СИЗІЙ (діелектричних рукавичок, килимків і тому подібне). Роботи без зняття напруги на токоведущих частинах і поблизу них, роботи проводяться безпосередньо на цих частинах або при наближенні до них на відстань менш встановленого ПЕУ. До цих робіт можна віднести роботи по налагодці окремих вузлів, блоків. При виконанні такого роду робіт в електроустановках до 1000 В необхідне застосування певних технічних і організаційних заходів, таких як:

- огорожі, розташовані поблизу робочого місця і інших токоведущих частин, до яких можливий випадковий дотик;
- робота в діелектричних рукавичках, або стоячи на діелектричному килимку;
- застосування інструменту з ізолюючими рукоятками, за відсутності такого інструменту слід користуватися діелектричними рукавичками.

Роботи цього вигляду винні виконуються не менше чим двома працівниками.

Відповідно до ПТЕ і ПТБ споживачам і обслуговуючому персоналу електроустановок пред'являються наступні вимоги:

- особи, що не досягли 18-річного віку, не можуть бути допущені до робіт в електроустановках;
- обличчя не повинні мати каліцтв і хвороб, що заважають виробничій роботі;
- обличчя повинні після відповідної теоретичної і практичної підготовки пройти перевірку знань і мати посвідчення на доступ до робіт в електроустановках.

У ВЦ розрядні струми статичної електрики найчастіше виникають при дотику до будь-якого з елементів ЕОМ. Такі розряди небезпеки для людини не представляють, але окрім неприємних відчуттів вони можуть привести до виходу з ладу ЕОМ. Для зниження величини виникаючих зарядів статичної електрики у ВЦ покриття технологічної половини слід виконувати з одношарового полівінілхлоридного антистатичного лінолеуму. Іншим методом захисту є нейтралізація заряду статичної електрики іонізованим газом. У промисловості широко застосовуються радіоактивні нейтралізатори. До загальних заходів захисту від статичної електрики у ВЦ можна віднести загальні і місцеве зволоження повітря.

Основними потенційно небезпечними і шкідливими чинниками при експлуатації системи:

- небезпека поразки електричним струмом;
- підвищений рівень шуму;
- пожежна небезпека;
- іонізуюче випромінювання.

Розроблені заходи дозволяють понизити небезпечні і шкідливі чинники до допустимих норм, і тим самим забезпечити безпеку роботи оператора, що здійснює контроль роботи системи.

5.2. Надзвичайні ситуації (ЧС)

У Україні щорічно виникають тисячі важких надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру, в результаті яких гине велика кількість людей, а матеріальні збитки досягають декількох мільярдів гривень. В даний час в багатьох областях України у зв'язку з небезпечними природними явищами, аваріями і катастрофами, обстановка

характеризується як дуже складна. Тенденція зростання кількості природних і, особливо, техногенних надзвичайних ситуацій, ваговитість наслідків об'єктивно примушують розглядати їх як серйозну загрозу безпеці окремої людини, суспільства і навколишнього середовища, а також стабільності розвитку економіки країни.

Руйнівну силу техногенних катастроф і стихійних лих в деяких випадках можна порівняти з військовими діями, а кількість постраждалих значною мірою залежить від типу, масштабів, місця і темпу розвитку ситуації, особливостей регіону і населених пунктів, які опинилися в районі події, об'єктів господарської діяльності. Несподіваний розвиток подій веде до значного скорочення часу на підготовку рятувальних робіт і їх проведення.

Надзвичайна ситуація (ЧС) - порушення нормальних умов життя і діяльності людей на об'єкті або території, викликане аварією, катастрофою, стихійним лихом або іншою небезпечною подією, яка привела (може привести) до загибелі людей і (або) значних матеріальних втрат.

Надзвичайні ситуації, які можуть виникати на території України і здійснювати негативний вплив на функціонування об'єктів економіки і життєдіяльність населення в мирний і військовий час, розділяються за наступними основними ознаками:

за сферою виникнення;

за галузевою ознакою;

за масштабами можливих наслідків.

Надзвичайні ситуації, які можуть виникати на території України

Загальними ознаками надзвичайних ситуацій є:

- наявність або загроза загибелі людей або значне порушення умов їх життєдіяльності;
- спричинення економічних збитків;
- істотне погіршення стану навколишнього середовища.

Всі надзвичайні ситуації за масштабом можливих наслідків розділяються з урахуванням територіального розповсюдження, характеру сил і засобів, які притягуються для ліквідації наслідків, на НС:

- загальнодержавного рівня - надзвичайна ситуація розвивається на території два і більше областей;

- регіонального рівня - надзвичайна ситуація розгортається на території два і більше адміністративних районів коли для її ліквідації необхідні матеріальні і технічні ресурси в об'ємах, які перевищують власні можливості окремого району, але не менше одного відсотка об'єму витрат відповідного бюджету;
- місцевого рівня - надзвичайна ситуація, яка виходить за межі потенційного небезпечного об'єкту, загрожує розповсюдженням самої ситуації або її вторинних наслідків на навколишнє середовище, сусідні населені пункти, інженерні споруди, а також у разі, коли для її ліквідації необхідні матеріальні і технічні ресурси, які перевищують власні можливості потенційно небезпечного об'єкту, але не менш одного відсотку об'ємів витрат відповідного бюджету. До місцевого рівня також належать всі надзвичайні ситуації, які виникають на об'єктах житлово-комунальної сфери і інших, що не входять в затверджені переліки потенційно небезпечних об'єктів;
- об'єктового рівня - надзвичайні ситуації, які не підпадають під відмічені визначення.

5.3. Розрахунок заземлення трансформаторної підстанції

Одному з основних мерів робіт, що забезпечують безпеку, в електроустановках є захисне заземлення. Заходи від дотику до частин що нормально не знаходиться під напругою, але опинився під напругою є надійні заземлення корпусів електроустановки і конструктивних металевих частин електроустановок.

До заземлень підстанцій пред'являються особливі вимоги [8]. Розрахунок заземляючих пристроїв зводиться до розрахунку заземлителя, оскільки заземляючі провідники в більшості випадків приймаються за умовами механічної міцності і стійкості до корозії по ПТЕ і ПУЕ [9]. Розрахунок опору заземлителя проводиться в наступному порядку:

Встановлюється необхідне по ПУЕ допустимий опір заземляючого пристрою;

Визначається розрахунковий питомий опір ґрунту $\rho_{расч}$. З урахуванням коефіцієнтів тих, що враховують висихання ґрунту літом і промерзання зимою, що підвищують;

Визначається розрахунковий опір розтіканню одного вертикального електроду R_{BO} ;

Визначається зразкове число вертикальних заземлителів n при заздалегідь прийнятому коефіцієнті використання η_B ;

Визначається опір розтіканню горизонтальних електродів $RГ$;

Уточнюється необхідний опір розтіканню вертикальних електродів з урахуванням провідності горизонтальних з'єднань;

Уточнюється число вертикальних електродів з урахуванням коефіцієнта використання.

Опір заземляючого пристрою в електроустановках напругою вище 1000 В з великими струмами замикання на землю не повинно перевищувати 0,5 Ом. У нашому випадку потрібно розрахувати контурний заземлитель підстанції з наступними даними. Грунт в місці споруди підстанції – мул і пісок дрібний вологий середній щільності. Кліматична зона - третя. Додатково як заземлення використовується система трос-опора з опором заземлення 1,3 Ом. Оскільки для сторони 35 кВ потрібний опір заземлення 0,5 Ом, перевіримо величину опору заземлення для сторони 10 кВ. У мережах з незаземленою нейтраллю заземляючий пристрій заземлень підстанцій високої напруги повинен мати опір

$$r_3 \leq \frac{U_{PACЧ}}{I_{PACЧ}} = \frac{125}{65} = 1,92 \text{ Ом}$$

де $U_{PACЧ}$ – розрахункову напругу приймаємо 125 В, оскільки заземляючий пристрій використовується також і для установок підстанції напругою до 1000 В;

$I_{PACЧ}$ – повний струм замикання фази на землю.

Таким чином як розрахунковий приймається опір $r_3 = 0,5$ Ом.

Опір штучного заземлителя розраховується з урахуванням використання системи трос-опора. Це опір R_n можна обчислити таким чином

$$\frac{1}{R_n} = \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_C} = \frac{1}{0,5} - \frac{1}{1,3} = 1,23 \text{ См};$$

$$R_n = \frac{1}{1,23} = 0,812 \text{ Ом}$$

де r_C – опір системи трос – опора.

Питомий опір ґрунту, що рекомендується для попередніх розрахунків, в місці споруди заземлителя для нашого ґрунту складає 30 Ом·м. Коефіцієнти K_r і K_B , що підвищують, рівні відповідно 3,5 і 1,5. Визначаються з таблиць [10] для горизонтальних протяжних електродів при глибині заставляння 0,8 м і для вертикальних електродів при глибині заставляння вершини 0,5..0,8 м. Як вертикальні електроди застосовуються електроди, виготовлені з круглої сталі діаметром 12 мм, завдовжки 5 м з одним вигостреним кінцем. До

них приєднуються горизонтальні електроди – смуги $304 \times \text{мм}^2$, приварені до верхніх кінців вертикальних. Розрахунковий питомий опір для горизонтальних електродів

$$\rho_{\text{расч.г}} = K_{\text{ггп}} = 3,530 = 105 \cdot \rho \cdot \text{Омм};$$

$$\rho_{\text{расч.в}} = K_{\text{взр}} = 1,530 = 45 \cdot \rho \cdot \text{Омм}$$

де $\rho_{\text{гп}}$ – питомий опір ґрунту.

Визначимо опір розтіканню одного вертикального електроду при зануренні нижче рівня землі на 0,8 м

$$R_{\text{BO}} = \frac{\rho_{\text{расч.в}}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l}{d} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot t + 1}{4 \cdot t - 1} \right),$$

де l – довжина вертикального електроду, дорівнює 5 м;

d – діаметр вертикального електроду, рівний 0,012 м;

t – геометричний параметр, в даному випадку рівний $l/2 + 0,8$ м.

Таким чином

$$t = l/2 + 0,8 = 5/2 + 0,8 = 3,3 \text{ м};$$

$$R_{\text{BO}} = \frac{\rho_{\text{расч.в}}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l}{d} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot t + 1}{4 \cdot t - 1} \right) = \frac{45}{2 \cdot \pi \cdot 5} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 5}{0,012} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot 3,3 + 1}{4 \cdot 3,3 - 1} \right) = 11,26 \text{ Ом.}$$

Визначимо зразкове число вертикальних електродів при попередньому коефіцієнті використання, прийнятому рівним $\eta_{\text{в}} = 0,6$

$$n = \frac{R_{\text{BO}}}{\eta_{\text{в}} \cdot R_{\text{n}}} = \frac{11,26}{0,6 \cdot 0,812} = 23,1.$$

Визначимо опір розтіканню горизонтальних електродів. Коефіцієнт використання сполучної смуги в контурі при числі електродів близько 20 і відношенні між відстанями між вертикальними електродами і їх довжиною, рівному 1 рівний по таблицях $\eta_{\text{г}} = 0,27$.

Опір розтіканню смуги по периметру контура ($l = 296,4$) рівний

$$R_{\text{Г}} = \frac{l}{\eta_{\text{Г}}} \cdot \frac{\rho_{\text{расч.г}}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{2 \cdot l^2}{e \cdot t} = \frac{1}{0,27} \cdot \frac{105}{2 \cdot \pi \cdot 296,4} \cdot \ln \frac{2 \cdot 296,4^2}{0,03 \cdot 1,15} = 3,22 \text{ Ом}$$

де $y = 30$ мм – ширина смуги.

Уточнене число вертикальних електродів визначається при коефіцієнті використання $\eta_{\text{г}} = 0,47$, прийнятого при числі електродів близько 20 і відношенні відстаней між вертикальними електродами і їх довжині рівному 1.

$$n = \frac{R_{BO}}{\eta_B \cdot R_n} = \frac{11,26}{0,47 \cdot 1,08} = 22,2$$

Остаточно приймаємо 22 вертикальних електроду. Всі з'єднання елементів заземлюючих пристроїв, у тому числі і перетини, виконуються зваркою в нахльостування. У входів і виходів на територію КРУ має бути забезпечене вирівнювання потенціалів шляхом укладання двох смуг на відстані 1 і 2 м від заземлителя на глибині 1 і 1,5 м відповідно. Відстань від меж заземлителя до огорожі з внутрішньої сторони належного бути не менше 3 м. Число і місцезрештування заземлителів представлені на рис. 30.

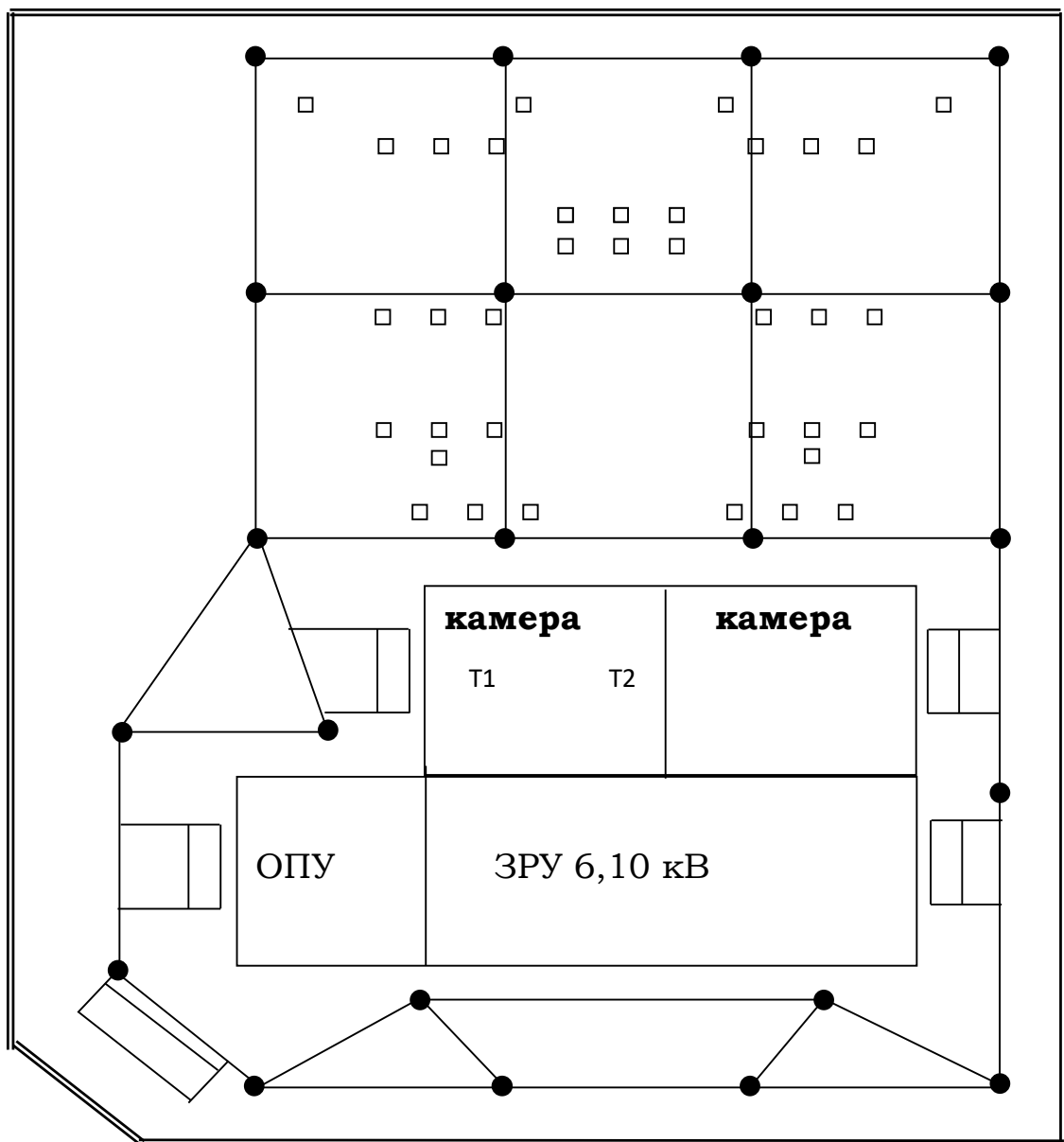


Рис. 30. Місце розташування заземлителів на території підстанції

6. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

6.1. Свої фінансові ресурси підприємства і джерела їх формування

Фінансові ресурси підприємства - це сукупність власних грошових доходів і надходжень ззовні (привернуті і позикові засоби), призначені для виконання фінансових зобов'язань підприємства, фінансування поточних витрат і капітальних витрат, пов'язаних з відтворенням засобів виробництва.

Рух фінансових ресурсів можливий в двох випадках - при створенні підприємства і при його функціонуванні. У першому випадку господарюючий суб'єкт набуває чинників виробництва за рахунок власних засобів, позикових або в комбінації (власні і позикові). У момент установа підприємства фінансові ресурси формуються на основі утворення статутного фонду. Залежно від організаційно-правових форм господарювання його джерелом є акціонерний капітал, пайові внески членів кооперативів, довгостроковий кредит, бюджетні дотації (Економіка, 1999)

У разі функціонуючого підприємства господарюючий суб'єкт набуває необхідних чинників виробництва для виготовлення продукції або надання послуг, для розширення виробництва за рахунок виручки від продажу проведеної продукції або надання послуг або грошових надходжень від других видів діяльності, а також шляхом внутрішньогосподарчих накопичень на основі відрахувань від прибутку і амортизації. При браку фінансових коштів підприємство старається получить кредит або бюджетні субсидії від держави.

Враховуючи сказане вище, фінансові ресурси умовно можна розділити на наступні групи:

- власні і прирівняні до них засоби;
- ресурси, мобілізовані на фінансовому ринку;
- надходження із зовнішніх джерел.

Структура фінансових ресурсів представлена на мал. 5 (Економіка, 1999).

Фінансові ресурси формуються головним чином за рахунок прибутку (від основної і інших видів діяльності), а також виручки від реалізації вибулого майна, стійких пасивов, різних цільових надходжень, пайових і інших внесків членів трудового колективу. До стійких пасивів относятся статутний, резервний і інші капітали; довгострокові позики; що постійно знаходиться в обороті підприємства кредиторська заборгованість (по

зарплаті із-за різниці в термінах начислення і виплати, по відрахуваннях до позабюджетних фондів, до бюджету, по розрахунках з покупцями і постачальниками і ін.).

Амортизаційні відрахування є грошовим виразом вартості зносу основних виробничих фондів і нематеріальних активів. Вони мають подвійний характер, оскільки включаються в собівартість продукції і у складі виручки від реалізації продукції повертаються на розрахунковий рахунок підприємства, стаючи внутрішнім джерелом фінансування як простого, так і розширеного відтворення.

Значні фінансові ресурси, особливо в знов створюваних і підприємствах, що реконструюються, можуть бути мобілізовані на фінансовому ринку за допомогою продажу акцій, облигацій і інших видів цінних паперів, що випускаються даним підприємством, дивідендів і відсотків по цінних паперах інших емітентів, доходів від фінансових операцій, кредитів.

Підприємства можуть отримувати фінансові ресурси від асоціацій і концернів, в які вони входять, від вищестоящих організацій при збереженні галузевих структур, від органів державного управління у вигляді бюджетних субсидій, від страхових організацій. У складі цієї групи фінансових ресурсів, що формуються в порядку перерозподілу, все більшу роль грають виплати страхових відшкодувань і все меншу — бюджетні і галузеві фінансові джерела, которые призначені для строго обмеженого переліку витрат.

Фінансові ресурси використовуються підприємством в процесі виробничої і інвестиційної діяльності. Вони знаходяться в постійному русі і перебувають в грошовій формі лише у вигляді залишків грошових коштів на розрахунковому рахунку в банці і в касі підприємства.

Підприємство, піклуючись про свою фінансову стійкість і стабільне місце в ринковому господарстві, розподіляє свої фінансові ресурси по видах діяльності і в часі.

Поглиблення цих процесів приводить до ускладнення фінансової роботи, використання в практиці спеціальних фінансових інструментів.

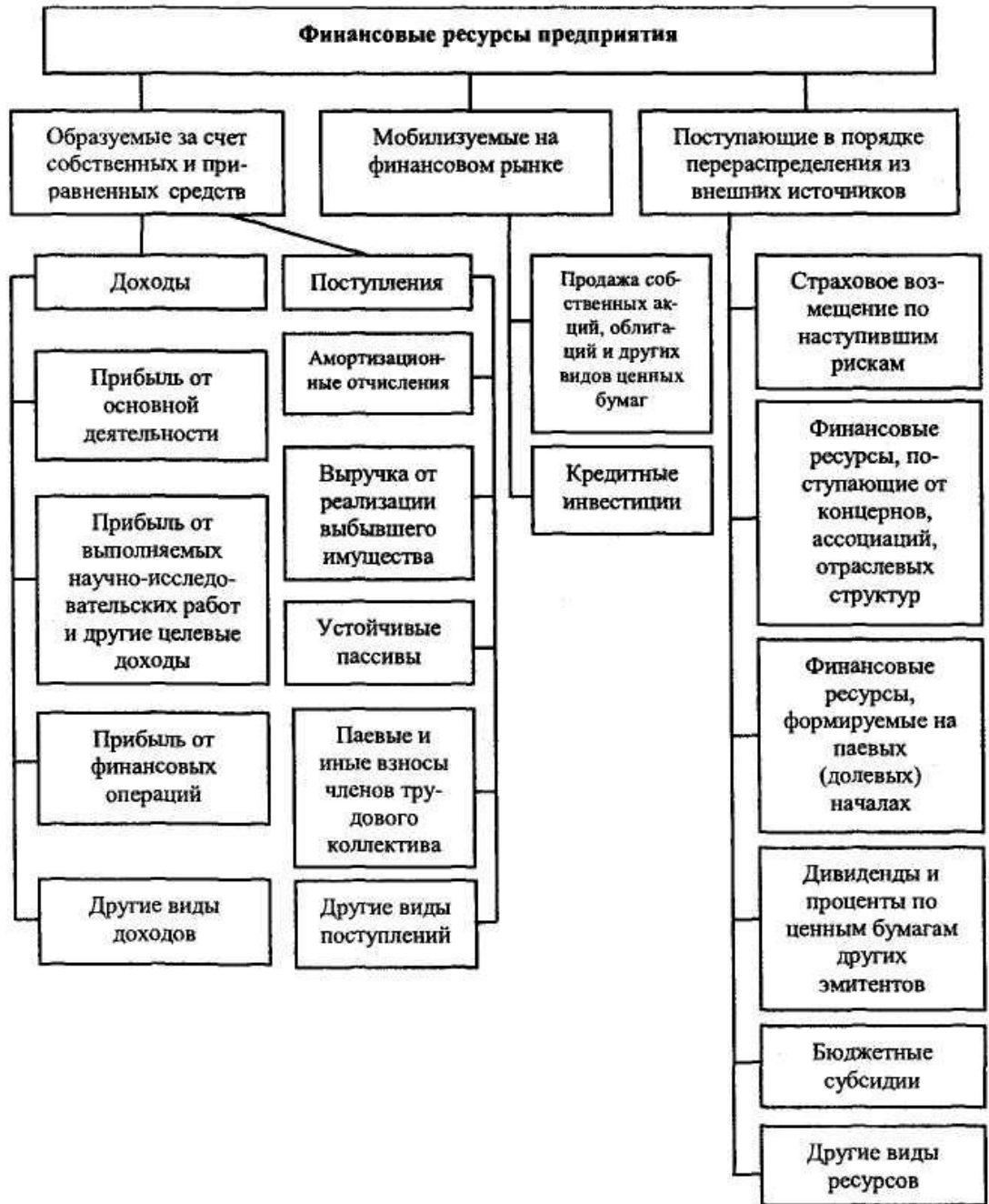


Рис. 31. Джерела формування ресурсів підприємства

6.2. Нематеріальні ресурси підприємства: формування і оцінка.

На сучасному етапі розвитку ринкової економіки науково-технічний прогрес знаходить своє віддзеркалення в якісних змінах структури життєво необхідних ресурсів підприємства, происходит підвищення ролі нематеріальних (информационных) активів підприємства.

Нематеріальні активи - це складова частина ресурсного потенціалу підприємства, для якої характерні: можливість приносити прибуток в течение тривалого періоду часу, відсутність матеріальної основи, складність визначення майбутнього прибутку, її використання.

Під нематеріальними активами розуміють об'єкти промислової і інтелектуальної власності, а також інших аналогічних майнових прав, які визнаються об'єктом права власності конкретного підприємства (господарства).

Згідно теорії інформації нематеріальні активи можна визначити як нові відомості, позволяющие поліпшити виробничі процеси, пов'язані з перетворенням матеріальних ресурсів, енергії і самій інформації.

До найбільш поширених нематеріальних активів належать: *права використання природних ресурсів; права використання майна; права на знаки для товарів і послуг; права на об'єкти промислової власності; авторські і суміжні з ними має рацію, гудвіл* (тобто ціна фірми, репутація фірми, добре ім'я фірми), інші нематеріальні активи.

Нематеріальні (інформаційні) активи підприємства включають права на об'єкти майнової, інтелектуальної власності (Покропівній, 2000).

Зокрема, права на об'єкти промислової власності обумовлюють можливості використання нематеріальних активів промислового призначення. Вони включають: *винаходи, промислові зразки, працюючі експериментальні моделі, товарні знаки, гудвіл.*

Винахід - вирішення технологічного або техніко-економічного завдання, виконання якого зв'язане із застосуванням інноваційних підходів. Технічне рішення повинне відрізнитися оригінальністю підходів і базуватися на використанні ноу-хау.

Ноу-хау - технічні знання і практичний досвід технічного, комерційного, управлінського, фінансового і іншого характеру, які представляють комерційну цінність, застосовні у виробництві і професійній практиці і не забезпечені патентним захистом.

Патент - документ, що видається державою приватній особі (фірмі) і що забезпечує визнання за ним прав на виняткове використання винаходу протягом встановленого терміну. Патенти бувають декларативні і звичайні. Декларативний патент на винахід видається за умови місцевої новизни винаходу на період до 6 років. Звичайний патент видається за умови світової новизни винаходу на строк до 20 років.

Товарний знак - позначення, що поміщається на товарі (на його упаковці) промисловими і торговими підприємствами для індивідуалізації товару і його виробника.

Ліцензія - дозвіл на використання іншою особою або організацією винаходу, технології, технічних завдань і виробничого досвіду, секретів виробництва, торгової марки, комерційної і іншої інформації протягом певного терміну за обумовлену угодою винагороду; спеціальний дозвіл, що видається компетентними державними органами на здійснення окремих видів діяльності.

Гудвіл - нематеріальний актив, вартість якого визначається як різниця між балансовою вартістю активів підприємства і його звичайною вартістю як цілісного майнового комплексу, що виникає унаслідок використання кращих управлінських якостей, домінуючої позиції на ринку товарів (робіт і послуг), нових технологій і ін.

Специфіка нематеріальних активів зумовила необхідність розробки механізмів захисту промислової власності, стимулювання розвитку науки і науково-технічної діяльності в Україні, що отримало юридичне закріплення в Законі України «О основах державної політики у сфері науки і науково-технічної діяльності», прийнятому Верховною Радою України 13 грудня 1991 року. Цим законом определены п'ять основних аспектів суспільних стосунків у сфері науково-технічного прогресу. Це, по-перше, роль держави в розвитку науки і техніки, використанні науково-технічних результатів для перетворення общественного виробництва і задоволення потребностей населення. По-друге, основні цілі, напрями і принципи державної науково-технічної політики. По-третє, методи державного

регулювання в науково-технічній сфері. По-четверте, повноваження державних органів в здійсненні науково-технічної політики і наслідків, п'ятий аспект визначає економічні і правові гарантії розвитку науково-технічної діяльності.

Ефективна система захисту інтелектуальної власності стає одним з визначальних напрямів політики міжнародної інтеграції економіки України. 17 листопада 1999 року Україна приєдналася до Паризької конвенції про охорону промислової власності, а 1 червня 2000 року ратифікувала Мадридську угоду про міжнародну класифікацію товарів і послуг. Не дивлячись на безумовний прогрес в створенні системи захисту інтелектуальної власності, внутрішнє законодавство не в повному об'ємі забезпечує захист і стимулювання створення національної інтелектуальної власності.

Інтелектуальна власність - виняткові права на використання в комерційних цілях продукції творчої діяльності (літературних, художніх, наукових творів, винаходів, промислових зразків, товарних знаків і ін.) (Юридичний, 1992).

Вперше захист авторських прав в Україні отримав юридичне закріплення в Законі України «Про авторське право і суміжні має» рацію, прийнятому Верховною Радою України 23 грудня 1993 року. Цим законом визначаються поняття автора, аудіовізуального продукту, комп'ютерної програми і так далі У Законі розглядаються об'єкти авторського права, виникнення і здійснення авторського має рацію, дається поняття співавторства, розглядаються майнові і немайнові права авторів, можливості передачі права на авторську власність через ліцензування. Після приєднання України до міжнародних угод було переглянуто внутрішнє законодавство про охорону прав на винаходи і експериментальні моделі і 1 липня 2000 року був прийнятий Закон України «Про охорону прав на винаходи і корисні моделі» Верховною Радою України в новій редакції. Целесообразність цього з'явилася із-за розбіжностей окремих положень Закону і потреби наближення процедури патентування винаходів і експериментальних моделей в Україні до міжнародних стандартів. Нова редакція Закону припускає:

- розширення об'єктів патентування;
- визначення загальних правил напряму міжнародних патентних заявок згідно з Угодою про патентну кооперацію;
- встановлення прав працедавців на отримання патента на винахід найнятого

робітника і регламентацію процедури патентування;

- впровадження поняття декларативного патенту на винахід.

Подальший розвиток система захисту авторських і суміжних прав отримала в Законі України «Про розповсюдження примірників аудіовізуальних творів та фонограм», прийнятому Верховною Радою України 23 березня 2000 року. Закон встановлює адміністративну відповідальність за незаконне розповсюдження копій аудіовізуальних творів і фонограм. Згідно Закону рознична торгівля копіями аудіовізуальних творів і фонограм дозволена тільки в спеціалізованих об'єктах роздрібної торгівлі.

Підприємства можуть купувати нематеріальні активи, отримувати їх безкоштовно або створювати самі. Підставою для оприходования нематеріальних активів є документи, які ідентифікують ці активи. Вони повинні описувати сам об'єкт нематеріальних активів або порядок їх використання (наприклад, опис рецептів, право користування на землю, патент, свідоцтво), а також відображати його первонаочальну вартість, термін корисного використання, норму зносу, підрозділ, в якому використовуватимуться об'єкт, підписи посадових осіб, які прийняли об'єкт, разом з додатком документів, в яких описується сам об'єкт нематеріальних активів або порядок його використання. Окрім цього, документ повинен підтверджувати ті або інші майнові права підприємства.

Вартість нематеріальних активів оцінюється по сумі всіх фактичних витрат на придбання і приведення до стану готовності для використання. У випадку якщо нематеріальні активи вносяться учасником створеного підприємства, то вони оцінюються по світових цінах.

Вартість нематеріальних активів відшкодовується шляхом включення у витрати діяльності (виробничою, коммерческой) амортизаційних відрахувань. Для амортизації використовується лінійний метод. Величина амортизації нематеріальних активів повинна визначатися щомісячно по нормах, которые розраховуються виходячи з первинної вартості і терміну корисного їх використання (але не більше) або терміну деятельности підприємства.

Норма зносу нематеріальних активів визначається виходячи з первинної вартості і встановленого терміну їх використання (але не більше десяти років) або терміну діяльності підприємства і затверджується приказом керівника підприємства. Нарахування зносу починаються 1-го числа місяця, подальшого за місяцем зарахування на баланс підприємства, або по об'єктах, которые вибули, закінчується з 1-го числа

місяця, последующего за місяцем вибуття. Нарахування зносу по отдельным об'єктах нематеріальних активів проводяться впродовж терміну їх використання у межах первонаочальной вартості. Не нараховується знос на ноу-хау, гудвіли фірми, знаки для товарів і послуг, вартість которых не зменшується в процесі їх використання.

6.3 Розрахунок повної собівартості системи керування мережею споживання енергії вітрогенераторної станції

Собівартість продукту - це виражені в грошовій формі поточні витрати підприємства на його виробництво і збут. Витрати на виробництво формують виробничу собівартість, а витрати на виробництво і збут - повну собівартість. Розрахунок собівартості продукту за статтями витрат називається калькуляцією. Калькуляція собівартості програмного продукту здійснюється відповідно «Типовому положенню з планування, обліку і калькуляції собівартості продукції (робіт, послуг) в промисловості». /Ссылка на літературу: Типове положення з планування, обліку і калькуляції собівартості продукції. Затверджено КМ. України від 26 квітня 1996 № 473 // Бізнес. - № 32-35/.

Витрати, пов'язані з виробництвом і збутом (реалізацією) продукту групуються за наступними статтями:

1. Матеріали і комплектуючі вироби.
2. Основна заробітна плата.
3. Додаткова заробітна плата.
4. Відрахування на соціальні заходи.
5. Витрати на утримання і експлуатацію устаткування.
6. Загальновиробничі витрати.
7. Адміністративні витрати.
8. Витрати на збут.

6.3.1 Матеріали і комплектуючі вироби.

Розглядаються виходячи з відомостей на матеріали, сировину, що комплектують, операцію з розрахунку на 1 одиницю випуску.

Таблиця 10. Матеріали і комплектуючі вироби

Найменування	Кількість	Вартість, грн.
--------------	-----------	----------------

Контроллер	1	4000
Провідники	10 м	500
Сумарна вартість купувальних виробів (Сп)		4500

6.3.2 *Витрати на основну заробітну плату (З_о):*

$$Z_o = t \cdot ЧКА = 3 \cdot 50 \cdot 1 \cdot 2 = 300 \text{ грн}, \quad (6.1)$$

де Т - сумарна трудомісткість розробки продукту (година). Визначається експертним шляхом виходячи з фактично витраченого часу на виробництво і наладку продукту;

Ч - середня годинна тарифна ставка 1 робочого, який задіяний у виробництві продукту, грн./час;

К - коефіцієнт трудової участі (розрядності);

А - кількість працівників задіяних у виробництві.

6.3.3 *Додаткова заробітна плата (10?30% від З_о):*

$$Z_d = Z_o \cdot \frac{K_d}{100} = 300 \cdot \frac{20}{100} = 60 \text{ грн}, \quad (6.2)$$

де К_д - відсоток додаткової заробітної плати.

6.3.4 *Відрахування на соціальні заходи містять відрахування від суми основної і додаткової зарплати по встановлених ставках*

- на обов'язкове державне пенсійне страхування - 33,2%;
- на державне страхування від нещасних випадків - 0,9%;
- на обов'язкове державне соціальне страхування на випадок безробіття - 1,3%;

- у зв'язку з тимчасовою втратою працездатності і витратами, обумовленими народженням дитини і похованням, - 1,5%)

$$H_{см} = (3o + 3d) \cdot \frac{36,9}{100} = (300 + 60) \cdot \frac{36,9}{100} = 132,84 \text{ грн} \quad (6.3)$$

6.3.5 Витрати на утримання і експлуатацію устаткування:

Якщо устаткування знаходиться на балансі підприємства.

Витрати на зміст і експлуатацію устаткування (РСЕО) = основна зарплата * %РСЭО, визначається з відомостей за аналізом повної собівартості продукту (в середньому 120-150%).

$$Z_{ue} = 3o \cdot 150\% = 300 \cdot 150\% = 450 \text{ грн} \quad (6.4)$$

6.3.6 Загальновиробничі витрати.

Є витратами, пов'язаними з управлінням підрозділом, витратами на службові відрядження співробітників підрозділу (цехи), амортизаційні відрахування від вартості основних фондів загальцехового призначення і так далі

Визначаються у розмірі 130-250% від основної зарплати.

$$Z_{обц} = 3o \cdot 250\% = 300 \cdot 250\% = 750 \text{ грн} \quad (6.5)$$

6.3.7 Виробнича собівартість продукту.

$$P_c = c_n + 3o + 3d + H_{см} + Z_{ue} + Z_{обц} = 4500 + 300 + 60 + 132,84 + 450 + 750 = 6192,84 \text{ грн} \quad (6.6)$$

6.3.8 Адміністративні витрати.

Можуть включати:

- витрати, пов'язані з управлінням підприємства;
- витрати на службові відрядження адміністрації підприємства;
- витрати на пожежну і сторожову охорону;

- витрати, пов'язані з підготовкою (навчанням) і перепідготовкою кадрів;
- витрати на перевезення працівників до місця роботи і назад;
- витрати на сплату відсотків за фінансові кредити, а також відсотків за товарні і комерційні кредити; витрати, пов'язані із сплатою відсотків за користування матеріальними цінностями, узятими в оренду (лізинг);
- витрати, пов'язані з оплатою послуг комерційних банків і інших кредитно-фінансових установ;
- податки, відрахування.

Визначаються у розмірі 140-200% від основної зарплати.

$$Za = zo \cdot 200\% = 300 \cdot 200\% = 600 \text{ грн} \quad (6.7)$$

6.3.9 Витрати на збут.

Включають витрати на рекламу і передпродажну підготовку продукту. Орієнтування ці витрати визначаються у розмірі 5-10% від виробничої собівартості.

$$Zc = nc \cdot 10\% = 6192,84 \cdot 10\% = 619,28 \text{ грн} \quad (6.8)$$

6.3.10 Повна собівартість продукту.

$$C = nc + za + zc = 6192,84 + 600 + 619,28 = 7412,12 \text{ грн} \quad (6.9)$$

6.3.11 Калькуляція собівартості продукту зводиться в таблицю

Таблиця 11. Калькуляція собівартості системи керування мережею споживання енергії вітрогенераторної станції

Найменування статей калькуляції	Величина, грн
Матеріали і комплектуючі вироби.	4500
Основна заробітна плата	300
Додаткова заробітна плата	60
Відрахування на соціальні заходи	132,84
Витрати на утримання і експлуатацію устаткування	450
Загальновиробничі витрати	750

Адміністративні витрати	600
Витрати на збут	619,28
Повна собівартість продукту	7412,12

6.4. Розрахунок ціни системи керування мережею споживання енергії вітрогенераторної станції

У ринковій економіці існують різні методи ціноутворення: с/с плюс прибуток, забезпечення фіксованого об'єму прибули, залежно від рівня попиту .

Розрахунок оптової ціни продукту проведемо по схемі «собівартість плюс прибуток».

$$C_{opt} = C + P \quad (6.10)$$

де C - собівартість програмного продукту

P - величина прибули.

Прибуток визначається виходячи з нормативу (показника) рентабельності виробництва продукції встановлюваного підприємством:

$$R = \frac{P}{C} \cdot 100\%, \quad (6.11)$$

де R - рентабельність продукції (продукту), приймається в розмірі до 35%.

Тоді оптова ціна програмного продукту визначається:

$$C_{opt} = C + \frac{R \cdot C}{100} = 7412,12 + \frac{35\% \cdot 7412,12}{100} = 10006,36 \text{ грн}, \quad (6.12)$$

Позитивні сторони даної методики полягають в її простоті, комплексній очевидності такої функції ціни як відшкодування витрат на виробництво і забезпечення прибутковості від створення і реалізації продукту. Недолік даної методики полягає в тому, що вона майже не враховує ринкові чинники ціноутворення і перш за все попит. Проте в умовах ринкової економіки існують ситуації, якщо підприємствам доцільно її

застосовувати: в умовах відсутності конкуренції (монополії), при обмеженні рентабельності продукції з боку держави, виконанні одноразових замовлень, виготовленні оригінальної продукції.

Необхідно відзначити, що для встановлення реальної ціни яка б відповідала умовам існуючого ринку програмних продуктів, необхідні відповідні маркетингові дослідження.

$$C_{розн} = c_{опт} \cdot 1,2 = 10006,36 \cdot 1,2 = 12007,63 \text{ грн} \quad (6.13)$$

де 20% ПДВ

Вивід. При визначенні повної собівартості системи ми визначили, що вона рівна 7412,12 грн

ВИСНОВКИ

У цій роботі розглянуто систему керування мережею споживання вітрогенераторної станції. Пропонується використання подвійного регулювання напруги електричною пружиною, щоб керувати обома критичним та некритичним навантаженням змінного та невизначеного джерела відновлювальної енергії, яким є вітрогенераторна станція.

У випадку падіння напруги звичайна електрична пружина зменшує напругу некритичного навантаження для підвищення напруги критичного навантаження. Незважаючи на те, що некритичні навантаження можуть допускати певне відхилення напруги, але вони не можуть працювати при будь-якому відхиленні напруги, особливо двигуни. Тому підходить вдосконалений принцип керування електричною пружиною, який регулює критичну напругу на фіксованому рівні, а некритична напруга коливається в певних межах (наприклад, від 0,8 до 1,2 умовних одиниць). Обмеження залежать від експлуатаційних меж навантаження. Електрична пружина підтримує напругу як у випадку підвищення, так і в напрямку зменшення величини, щоб скоригувати її для обох навантажень. Крім того, із запропонованою стратегією керування необхідний акумулятор або джерело постійного струму для електричної пружини дуже незначної потужності. Експериментальні дані для різних випадків показують, що електрична пружина може ефективно коригувати коефіцієнт потужності мережі, одночасно керуючи відгуком системи.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Алхасов А. Б Возобновляемая энергетика: вид-во: «Физматлит» – 2010. – 257 с.
2. Вітрова енергетика [Електроний ресурс] – Режим доступу: <https://www.sae.gov.ua/uk/ae/windenergy>.
3. Понятов А. Вступив в эпоху електричества // Наука и жизнь. – 2020. – № 1. – с. 16.
4. Лукутин Б. В., Муравлев И. О., Плотников И. А. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями : навч. посібник. Томск : вид-во Томського політехнічного університета, – 2015. – 120 с.
5. Безруких П. П. Ветроэнергетика. Вымыслы и факты. Ответы на 100 вопросов. М. : Институт устойчивого развития, – 2014. – 74 с.
6. Позняк б. А., Юршо Е. Л. «Обзор современных ветровых установок», Актуальные проблемы энергетики, СНТК72, –2016. –227-230 с.
7. Кашкаров А. П. Ветрогенераторы, солнечные батареи и другие полезные конструкции. Саратов : Профобразование. –2017. – 144 с.
8. Ветрянные электростанции. Режим доступу: <https://energo.house/veter/vetryanye-elektrostantsii.html>
9. Будзко И.А. и др. Электроснабжение сельского хозяйства. – М.: Колос, –2000. –536с.
10. Книга 5. Электроэнергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі [Електроний ресурс] – Режим доступу: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-5>
11. Альтернативная энергия [Електроний ресурс] – Режим доступу: <https://alternative-energy.com.ua/vocabulary>.
12. Выбор и эксплуатация аккумуляторов и автономное бесперебойное резервное электроснабжение [Електроний ресурс] – Режим доступу: <http://www.invertor.ru/akb.html>
13. Инверторы для ветро-солнечных систем [Електроний ресурс] – Режим доступу: <http://alt-energy.com.ua/category/153/>
14. Схема работы ветрогенератора [Електроний ресурс] – Режим доступу: <https://elenergi.ru/sxema-raboty-vetrogeneratora.html>

15. P. P. Varaiya, F. F. Wu, and J. W. Bialek, "Smart operation of smart grid: Risk-limiting dispatch," *Proc. IEEE*, vol. 99, no. 1, pp. 40–57, 2011
16. M. Askarpoura, J. Aghaeia, M. H. Khoobanb, M. Shafie-khahc, J. P.S. Catalão, "Voltage control of critical and non-critical loads in distribution networks with electric spring", *Electric Power Systems Research*, vol. 177, December 2019
17. Soni and S. K. Panda, "Electric spring for voltage and power stability and power factor correction," *IEEE Trans. Industry Application*, vol. 53, no. 4, pp. 3871–3879, Mar. 2017.
18. C. K. Lee, N. R. Chaudhuri, B. Chaudhuri and S. Y. R. Hui, "Droop Control of distributed electric springs for stabilizing future power grid," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 4, no. 3, pp. 1558–1566, Sep. 2013.
19. C. K. Lee and S. Y. R. Hui, "Reduction of energy storage requirements in future smart grid using electric springs," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 4, no. 3, pp. 1282–1288, April. 2013.
20. Економіка підприємства: Навчальний посібник / Під общ. ред д. э. н., проф. Л. Р. Мірошника. – Суми: ІТД «Університетська книга», 2002. – 632 с.