

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(назва факультету)

Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: **Розробка системи електроводопостачання віддалених
споживачів з використанням енергії вітру**

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕТс-41

напряму підготовки (спеціальності)

**141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»**

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

	<hr/>	Біровець І.І. (прізвище та ініціали)
Керівник	<hr/>	Козак К.М. (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	<hr/>	Вакуленко О.О. (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	<hr/>	Тарасенко М.Г. (прізвище та ініціали)
Рецензент	<hr/>	Габрусєва І.Ю. (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2021

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Тарасенко М.Г.

« 08 » лютого 2021 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва)

студенту Біровцю Івану Івановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка системи електроводопостачання віддалених споживачів з допомогою енергії вітру

Керівник роботи Козак Катерина Миколаївна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом по університету від 26 січня 2021 року № 4/7-47

2. Термін подання студентом роботи 18 червня 2021 р.

3. Вихідні дані до роботи Технічна характеристика вітрогенератора ECO Wind.

Технічна характеристика акумуляторних батарей 12СТ-85P.

Технічна характеристика трифазного лінійного генератора.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітичний розділ.

2. Проектно-конструкторський розділ.

3. Розрахунковий розділ.

4. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Принципова функціонально-кінематична схема комбінованої електроводопостачальної вітроустановки. 2. Будова вітродвигуна КЕВВУ. 3. Будова насоса КЕВВУ. 4. Принципова функціонально-кінематична схема КЕВВУ з двома групами акумуляторних батарей і датчиками верхнього та нижнього рівня води. 5. Принципова схема системи живлення електроспоживачів КЕВВУ з двома групами акумуляторних батарей.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності та основи охорони праці</i>	<i>к.т.н., доц. кафедри МТ Гурик О.Я.</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>ст. викл. кафедри ЕІ Вакуленко О.О.</i>		

7. Дата видачі завдання

08 лютого 2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Літературний огляд за напрямком кваліфікаційної роботи	08.02.21 – 18.03.21	
2	Підготовка основної частини пояснювальної записки кваліфікаційної роботи	19.03.21 – 22.05.21	
3	Підготовка розділу «Безпека життєдіяльності та основи ОП»	23.05.21 – 01.06.21	
4	Складання переліку використаних літературних джерел	02.06.21 – 07.06.21	
5	Підготовка вступу, висновків, змісту, реферату	08.06.21 – 12.06.21	
6	Отримання відгуку та рецензії на кваліфікаційну роботу, підготовка доповіді на захист	12.06.21 – 18.06.21	

Студент

(підпис)

Біровець І.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Козак К.М.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕТс – 41. - Т. : ТНТУ, 2021.

Обсяг кваліфікаційної роботи становить 68 сторінок. В роботі міститься 30 рисунків, 11 таблиць, 27 літературних джерел, виконано 17 аркушів презентації.

Кваліфікаційна робота бакалавра виконана на підставі завдання на тему: « Розробка системи електроводопостачання віддалених споживачів з використанням енергії вітру».

Метою роботи є забезпечення електричною енергією та водою віддалених індивідуальних споживачів шляхом розробки вітроелектронасосної установки.

Запропоноване технічне рішення дозволить у періоди відсутності вітру, за потреби, використовувати акумуляторні батареї у режимі електродвигуна для приводу водяного насоса.

Перелік ключових слів:

ВІТРОДВИГУН, МАГНІТОЕЛЕКТРИЧНИЙ ЛІНІЙНИЙ ГЕНЕРАТОР, КОМБІНОВАНА ЕЛЕКТРОВОДОПОСТАЧАЛЬНА ВІТРОУСТАНОВКА, ЕФЕКТИВНІСТЬ, ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНА СИСТЕМА.

ЗМІСТ

	с.
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	6
ВСТУП	7
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Оцінка науково-методичної бази досліджень вітроелектронасосних і вітронасосних установок та визначення шляхів підвищення енергоефективності їх функціонування	9
1.2 Постановка задачі до проектування	18
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	19
2.1 Розробка функціональної схеми та опис основних вузлів КЕВВУ	19
2.2 Необхідність використання акумуляторних батарей у КЕВВУ	23
2.3 Проектування ефективної конструкції магнітоелектричного лінійного генератора	27
2.4 Алгоритм керування магнітоелектричним лінійним генератором	32
2.5 Обґрунтування показників енергоефективності структурних елементів КЕВВУ	33
2.6 Висновки до розділу 2	36

3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	37
3.1 Визначення тривалості безперервного процесу автономного живлення електроспоживачів від акумуляторних батарей КЕВВУ	37
3.2 Дослідження енергетичних характеристик магнітоелектричного лінійного генератора зворотно-поступального руху	47
3.3 Розрахунок техніко-економічної ефективності впровадження КЕВВУ	54
3.4 Висновки до розділу 3	56
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	57
4.1 Правила безпеки при експлуатації електроводопостачальних систем	57
4.2 Правила безпеки при експлуатації акумуляторних батарей	59
4.3 Захист персоналу та навколишнього середовища від шумів та вібрацій при роботі вітроенергетичних установок	61
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	64
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	66

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АБ	Акумуляторна батарея
АГ	Асинхронний генератор
БН	Баластне навантаження
ВЕУ	Вітроелектрична установка
ВК	Вітрове колесо
ВП	Випрямляючий пристрій
ЕМП	Електромагнітне поле
КЕВВУ	Комбінована електроводопостачальна вітроустановка
ККД	Коефіцієнт корисної дії
МЕЛГ	Магнітоелектричний лінійний генератор
ЩТО	Щоденне технічне обслуговування

ВСТУП

Актуальність теми роботи. На сучасному етапі розвитку віддалених від централізованих мереж регіонів, індивідуальних господарств, приватних підприємств, існує проблема електро-водопостачання, що супроводжується складністю ефективного забезпечення електроенергією та водою. Засобом подоланням існуючих складностей є застосування вітроелектричних, вітронасосних і вітроелектронасосних установок, що як відомо є найбільш економічно доцільними з точки зору захисту навколишнього середовища від шкідливих наслідків застосування теплоенергетичних установок та економії органічного палива.

Актуальність забезпечення водою та електроенергією споживачів у регіонах, зумовлена великою їх розосередженістю при незначному споживанні електроенергії та води на 1 м² території, розвитком фермерських господарств, дачного будівництва та наявністю великої кількості малопотужних споживачів.

Головним призначенням широкого вибору вітроелектричних і вітронасосних установок є забезпечення електричною енергією та водою індивідуальних споживачів при відсутності централізованої мережі, а також з метою зниження витрат на користування електроенергією та водою і покращення якості електроводозабезпечення. У ряді країн світу створені і успішно працюють вітроелектронасосні та вітронасосні установки для заміни дизельних електронасосних систем [1]. У таких системах дизельні електронасосні системи працюють у час, коли вітер відсутній. Аналіз вітроустановок малої потужності свідчить, що в основному виробники орієнтуються на відносно низьку одиничну вартість агрегату, їх механічну простоту, повну автономність і універсальність в роботі, при мінімальних затратах праці на технічне обслуговування.

Але використання існуючих технічних рішень в одному випадку пов'язане із відсутністю можливості генерувати електричну енергію і недостатнім завантаженням вітродвигуна (стосується вітронасосних установок), а іншому – складністю конструкції та низькою ефективністю перетворення кінетичної енергії повітряного потоку (стосується вітроелектронасосних установок). Для

забезпечення потреб господарства в установках малої потужності немає доцільності встановлювати дві вітроустановки: електричну і насосну. Також не раціонально збільшувати номінальну потужність вітроелектроустановки з метою живлення додаткового електронасосного обладнання.

Тому, розвиток віротехніки і серійний випуск вітроенергетичних установок для підвищення ефективності функціонування електронасосних і насосних вітроустановок потребує вдосконалення конструкцій і розробки нових, більш ефективних і в той же час простих та надійних машин і механізмів, що перетворюють кінетичну енергію повітряного потоку в механічну роботу, або електричну енергію, що набуває значної актуальності.

Метою кваліфікаційної роботи є забезпечення електричною енергією та водою віддалених індивідуальних споживачів шляхом розробки вітроелектронасосної установки.

Структура роботи. Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, чотирьох розділів, висновків та переліку посилань.

Обсяг роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 68 арк. формату А4, графічна частина – 17 аркушів презентації.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Оцінка науково-методичної бази досліджень вітроелектронасосних і вітронасосних установок та визначення шляхів підвищення енергоефективності їх функціонування

В основному, автори у галузі вітроенергетики малої потужності використовуючи методи моделювання достатньо добре вивчили особливості роботи як окремих складових вітроустановок традиційної конструкції, так і цілих систем, як єдине ціле з генераторами постійного струму, синхронними і асинхронними генераторами [8].

Характерними для попередніх досліджень була розробка моделей електромеханічної системи вітроелектричних установок на основі: теорії математичного моделювання електромашинно-вентильних систем (використання даної теорії знайшло широке застосування при дослідженні різних класів електромеханічних систем та електромеханічних пристроїв, так як вона базується на теорії електричних машин, напівпровідникових перетворювачів, систем електроприводу та автоматичного керування, і дозволяє враховувати взаємний вплив структурних елементів, оскільки з'єднання математичних моделей елементів здійснюється на основі законів Кірхгофа, структурні елементи описані диференціальними рівняннями, що враховують всі визначаючі фактори); на основі моделей структурних елементів як в фазних координатах, так і в обертових d, q, θ і методу амплітуд гармонічних складових розроблені математичні моделі структурних елементів вітроелектричних установок та спосіб складання моделей електромашинно-вентильних систем.

Розв'язані задачі із системами типу: "Вітроколесо - синхронна машина – тиристорний перетворювач частоти з ланкою постійного струму – енергосистема (автономне навантаження) – система автоматичного керування" [5], "Синхронна машина – інвертор – випрямляч – електрична мережа – система автоматичного керування" [7], у роботі [6] виконано математичне моделювання системи "Вітротурбіна – асинхронізований синхронний генератор" шляхом спільного розв'язання системи нелінійних диференціальних і трансцендентних рівнянь

вітротурбіни і генератора, обчислювальна модель має вид структурно-графічного відображення рівнянь, виконаного в програмному середовищі Simulink; виконані розрахунки для одномасової та двомасової електромеханічної системи із торсіоном [6], досліджена робота приводу синхронного генератора вітроенергетичної установки роторного типу [6], моделювання перехідних процесів в асинхронному генераторі вітроелектричної установки на електронно-обчислювальній техніці [8, 9] та ін.

У складі методів математичного аналізу автономних енергоустановок на базі синхронних генераторів використовувались матрична і векторна алгебра, диференціальні розрахунки, методи розрахунку поля в електричних машинах, теорія електричних кіл та числові методи [9].

Ефективним дослідженням роботи електричних машин у складі автономної установки є використання електромашинно-вентильних систем за допомогою апарату дискретної математики і локального перетворення Фур'є та теорії узагальненого електромеханічного перетворювача, основою якого є математичне обґрунтування єдності диференціальних індуктивностей, введення поняття електромагнітних параметрів як матриці, що складається із індуктивностей і коефіцієнтів електрорушійної сили руху, загального алгоритму визначення електромагнітних параметрів [9].

Відомо, що порядок розрахунку перехідних процесів формується наступною послідовністю: на першому етапі складається схема заміщення магнітного кола електричної машини і визначаються її параметри, вебер-амперні характеристики нелінійних елементів апроксимуються кусочно-лінійними функціями, розраховуються криві залежностей провідності взаємоіндукції і апроксимуються їх кубічними сплайнами, формуються матриці структур обмоток, розраховуються початкові значення потокозчеплень електричних кіл; на другому етапі виконується числове рішення рівнянь змінних стану електричних кіл і рівнянь динаміки на кожному кроці інтегрування схеми заміщення магнітного поля. Головний недолік розрахунку перехідних процесів за поданим алгоритмом – значні витрати часу при роботі з матрицями.

Магнітоелектричні генератори в режимах змінних швидкостей і навантажень досліджувались аналітичними методами, диференціального та інтегрального розрахунку, математичного пакету MathCAD та пакету електронних таблиць MS Excel [9].

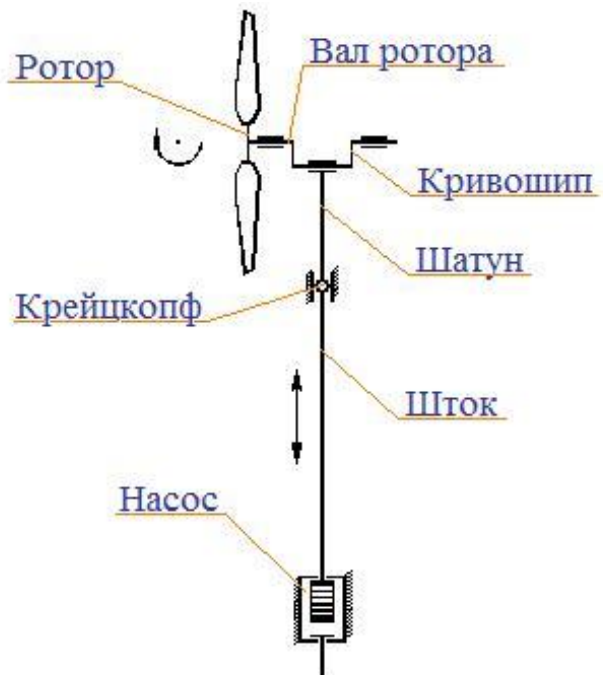
Аналіз існуючих науково-методичних матеріалів та науково-дослідних робіт довів, що розробка науково-методичного апарату стосувалася лише вітроелектричних установок із електрогенераторами обертального руху та застосуванням водяних насосів з електроприводом, або вітронасосних установок без можливості вироблення електроенергії. Однією з причин відсутності технічної реалізації запропонованих КЕВБУ з МЕЛГ та насосним обладнанням у вітроенергетиці є відсутність розроблених технічних рішень та відповідної для їх дослідження науково-методичної бази. Цей факт свідчить про те, що у галузі науки і практики, пов'язаної з електротехнічними комплексами і системами, виникла потреба у дослідженні комбінованих вітроенергетичних систем на базі МЕЛГ і стандартних насосних установок, обґрунтуванні принципів їх побудови, встановленні енергетичних взаємозв'язків між їх структурними елементами, споживачами та наявності техніко-економічних рішень енергоефективного використання вітродвигунів у таких системах.

У кваліфікаційній роботі особлива увага приділена вітродвигунам із горизонтальною віссю обертання ($\xi < 0,48$) [11], через малу ефективність вітродвигунів з вертикальною віссю обертання ($\xi < 0,18$), великих габаритних розмірів, тихохідності та інших недоліків [12]. Використання вітродвигунів з вертикальною віссю обертання для вітронасосних установок є недоцільним, адже потребує додаткового зовнішнього джерела потужності або зовнішнього приводу для виходу на робочий режим [13], що в свою чергу зменшує надійність загальної установки і збільшує об'єм технічного обслуговування.

Зовнішній вигляд вітронасосної установки (рис. 1.1а) німецької фірми Molzan Windkraftpumpe ілюструє просте конструктивне виконання агрегату, малу матеріалоємність, а кінематична схема (рис. 1.1б) високий ККД, за раху-



а



б

Рис. 1.1. Зовнішній вигляд вітронасосної установки серії MW виробництва Molzan Windkraftpumpe (Німеччина) (а) та кінематична схема вітронасосної установки з штанговим насосом (б).

нок відсутності складних кінематичних ланок (напр.: мультиплікатора, редуктора та ін.) Комплектація вітроустановки об'ємним насосом, привід якого здійснюється від кривошипного валу, на якому закріплений швидкохідний ротор вітродвигуна збільшує продуктивність та загальний ККД установки [14, 15], але недоліком такої вітронасосної установки є недозавантажений вітродвигун [12]. Докладний опис та аналіз роботи вітронасосних установок вичерпно відображений у працях [12, 14, 15]. Прийнята в залежності від типу застосування електричних машин, існуюча класифікація систем генерування електроенергії автономного класу (рис. 1.2, 1.3) обумовлена задачею дослідження, обраною відповідно до теми. Докладні описи роботи генераторів постійного струму, синхронних і асинхронних генераторів наведено у літературі [8, 14, 16].

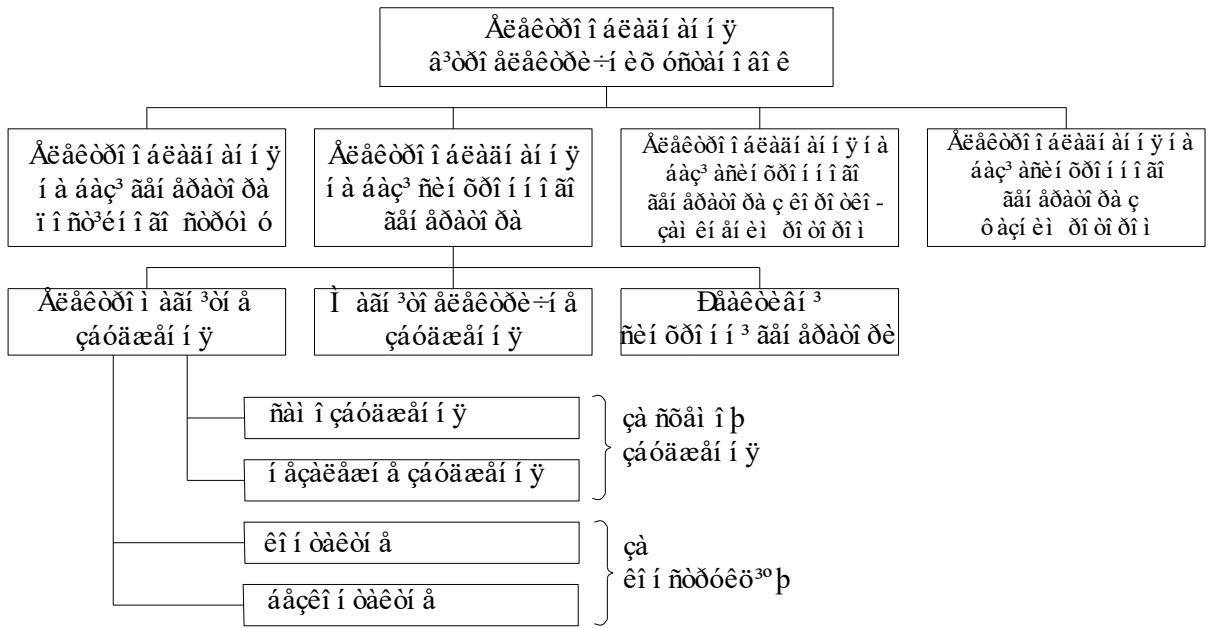


Рис. 1.2. Класифікація вітроелектричних установок за типом застосування електричних машин.

Причинами обмеженого застосування генераторів постійного струму є висока вартість, низька надійність, потреба у ретельному технічному обслуговуванні та складність використання в агрегатах із швидкохідними роторами у зв’язку з великим початковим моментом опору.

Асинхронні генератори з короткозамкнутою обмоткою ротора в більшості випадків призначені для паралельної роботи з мережею, в автономних вітроелектричних установках використовуються рідко, через складність дотримання електричних характеристик при зміні $\cos \varphi$ навантаження.

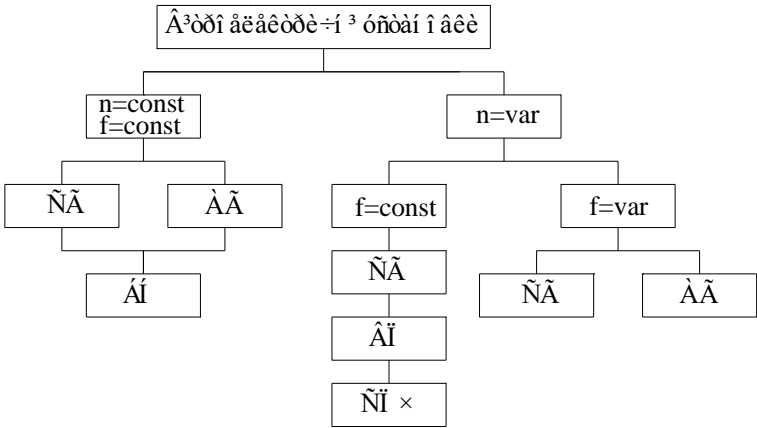


Рис. 1.3. Класифікація автономного класу генераторних комплексів вітроелектроустановок в залежності від постійної чи змінної частоти обертання:

ВЕУ – вітроелектрична установка, СГ – синхронний генератор, АГ – асинхронний генератор, БН – баластне навантаження, ВП – випрямляючий пристрій, СПЧ – статичний перетворювач частоти, n – швидкість обертання ротора, f – генерована частота.

При роботі асинхронних генераторів в автономних вітроелектро-установках головною проблемою є збудження. На відміну від синхронних генераторів, що виробляють реактивну потужність індуктивного характеру, асинхронні генератори споживають її, а тому повинні мати власне джерело реактивної енергії, внаслідок чого виконуються із самозбудженням (конденсаторним або напівпровідниковим).

В якості генераторів автономних вітроелектричних установок застосовуються в основному синхронні безконтактні генератори та їх модифікації (індукторні, з кігтеподібними полюсами, електромагнітним, магнітоелектричним збудженням та ін.). Найбільш розповсюджені тихохідні синхронні генератори із збудженням від постійних магнітів. Такі генератори не мають струмоз'ємних кілець, працюють при змінній частоті обертання сумісно з перетворювачем частоти в широкому діапазоні її зміни. Найбільш розповсюджений матеріал для виготовлення магнітів з високими енергетичними показниками при малій масі і габаритах є неодим-залізо-бор (NdFeB).

Сучасні технічні рішення дозволяють поєднувати вітроелектричні установки із електронасосами шляхом застосування однієї із двох схем (рис. 1.4, 1.5). Прикладом схемно-технічного рішення (рис. 1.4) є російський вітроенергетичний агрегат УВЭУ-(1-4)-6 з заглибним електронасосом ЭЦВ4-4-45 виробництва істринського філіалу ВНИИЭМ [16] та вітроенергетична система виробництва США компанії Bergey Windpower Co.

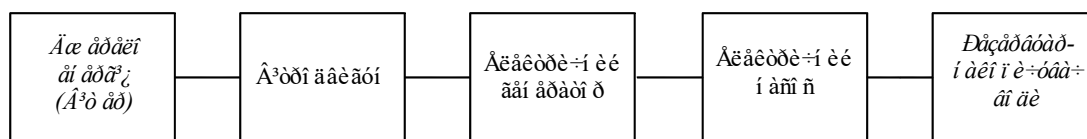


Рис. 1.4. Функціональна блок-схема вітрової електричної установки з електронасосом.

Недоліками такого технічного рішення є: генератор і насос працюють при швидкості обертання, що змінюється від 0,4 до 1,5 номінального значення; завантаження двигуна значно впливає на режим роботи електричної системи (генератора, електричного двигуна насоса) вітроустановки; генератор приводиться в дію від швидкохідного ротора з малим початковим моментом, внаслідок чого умови пуску агрегату при малих швидкостях вітру погіршені; при постійному з'єднанні з генератором необхідне застосування регуляторів напруги, або ввімкнення електронасоса на задане значення напруги; робота електронасоса неможлива при відсутності вітру; загальний ККД електричної системи таких вітроустановок малої потужності становить 0,17..0,22.

Поліпшену ефективність мають вітроелектричні установки, де електронасос з'єднаний із генератором з використанням акумуляторної батареї та інвертора напруги (рис. 1.5). Прикладом такого технічного рішення є вітрова електронасосна система компанії США SOUTHWEST WINDPOWER Inc. «Whisper 200 for Grundfos SQFlex Water Pumping Systems».

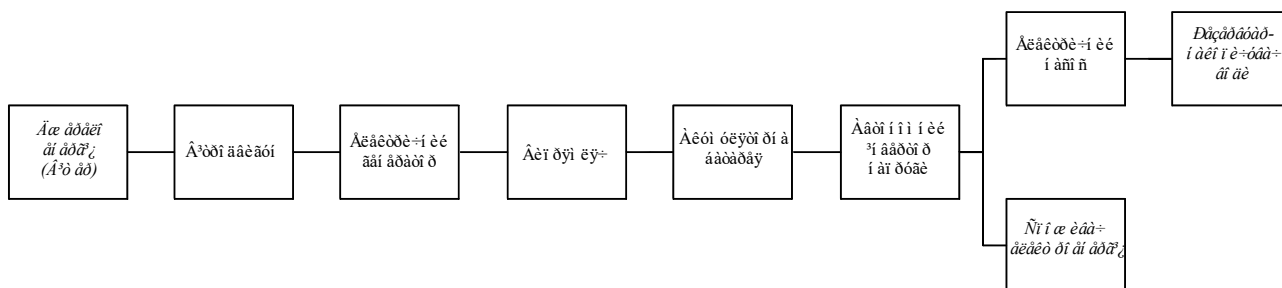


Рис. 1.5. Функціональна блок-схема з'єднання вітрової електричної установки із електронасосом з використанням акумуляторної батареї та інвертора напруги.

Характерними технічними недоліками даної системи (рис.1.5) є: низький коефіцієнт потужності електронасоса, що ускладнює його використання з електроживленням від інверторів сумірної потужності; вимагає підвищення потужності джерела енергії для електронасосної системи шляхом можливого застосування перетворювача напруги з 12 В до 150..220 В і комутатора струму з конденсаторним накопичувачем енергії для підвищення продуктивності насоса до

номінальних значень; для роботи електронасоса, що отримує живлення від джерела постійного струму напругою 12 В , встановлена потужність інвертора повинна перевищувати потужність електронасоса в $2,5..3$ рази; порівняно низький загальний ККД установки.

Значний вплив вітру на опорну конструкцію та гондолу в якій розташоване коштовне та важке електрогенеруюче обладнання висуває підвищені вимоги до несучої опорної конструкції. При підвищенні продуктивності вітроагрегату – збільшується навантаження на опору. Ускладнюють конструкцію існуючих вітроелектроустановок наявність мультиплікатора, підшипникових блоків, необхідність струмознімачів, що з'єднують електрогенератор у гондолі із розподільчим пристроєм розташованим внизу стійки. Вплив відхилення вітрового потоку не дозволяє вигідно експлуатувати вітроелектроустановки без визначення рози вітрів на місці встановлення. У разі використання двох окремих за призначенням вітроустановок: електричної та насосної - зона відчуження зростає. Всі перелічені технічні особливості зменшують надійність та збільшують кількість технічних обслуговувань за період експлуатації.

Аналіз існуючих технічних рішень вітроелектричних установок довів можливість відмовитися від застосування мультиплікатора, що виключає необхідність в регулярній заміні мастила, але дане рішення стосується вітроагрегатів потужністю до 4 кВт [17].

Недоліки традиційних електро-, та водопостачальних вітроустановок, створюють суттєве протиріччя, що полягає у виникненні потреби підвищення їх енергоефективності функціонування, шляхом удосконалення традиційної конструкції, з одного боку, та неспроможності існуючих вітроелектронасосних і вітронасосних установок забезпечити таке підвищення, з іншого боку.

У такому випадку найбільш раціональним рішенням буде використання комбінованої електроводопостачальної вітроустановки, але внаслідок того, що промисловість такі вітроустановки не випускає, виникає потреба в її створенні та обґрунтуванні.

Аналіз шляхів розв'язання задачі створення комбінованої електроводопостачальної установки та підвищення її енергоефективності довів необхідність

розвитку теорії побудови вітроенергетичних систем з магнітоелектричними лінійними генераторами зворотно-поступального руху.

Запропоноване технічне рішення дозволить у періоди відсутності вітру, за потреби, використовувати МЕЛГ у режимі електродвигуна для приводу водяного насоса. Важливим фактором такої системи є високий ККД поршневих та плунжерних (об'ємних) насосів: до 80 % і вище [15].

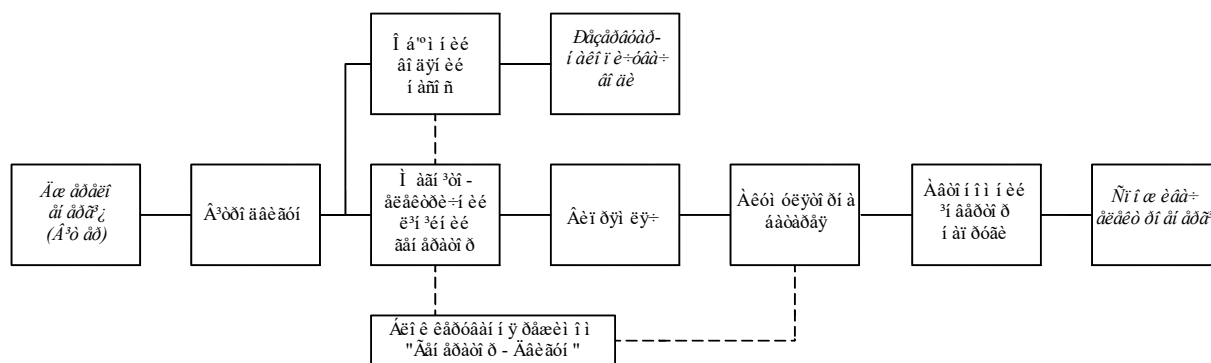


Рис. 1.6. Функціональна блок-схема КЕВВУ

Особливістю електромеханічної системи вітроустановок на відміну від інших є непрогнозоване і некероване надходження первинної енергії стохастичного повітряного потоку, внаслідок цього вітроустановка працює з постійною або змінною частотою обертання ротора вітродвигуна, тому її необхідно розглядати як стохастичне джерело енергії із змінною потужністю. Вихідні параметри (напруга і частота струму) при цьому коливаються в широкому діапазоні. Для усунення недоліку змінного генерування електричної потужності і гарантованого електрозабезпечення споживачів, генерована МЕЛГ таким способом електроенергія використовуватиметься для заряду акумуляторної батареї. Відповідно, розробка методики аналізу характеристик функціонування акумуляторних батарей (АБ) у складі електротехнічної системи КЕВВУ з розрахунком тривалості безперервного автономного живлення електроспоживачів від АБ у періоди відсутності вітру є обов'язковою вимогою.

Отже, проведений аналіз існуючих технічних рішень у галузі вітро-енергетики свідчить, що станом на сьогоднішній день не розроблені науково-технічні принципи побудови комбінованих вітроенергетичних систем на базі магнітоелектричних лінійних генераторів і стандартних насосних установок, не

встановлені енергетичні взаємозв'язки між їх структурними елементами, відсутні техніко-економічні рішення енергоефективного використання вітродвигунів таких систем.

Таким чином, розробка та дослідження процесів функціонування комбінованих електроводопостачальних вітроустановок (КЕВВУ) на базі магнітоелектричних лінійних генераторів зворотно-поступального руху (МЕЛГ), пов'язані з підвищенням енергоефективності таких систем, є актуальними.

1.2 Постановка задачі до проектування

Аналіз актуальності проблемної ситуації, що полягає у виникненні потреби підвищення енергоефективності функціонування вітроелектронасосних і вітронасосних установок, шляхом удосконалення їх традиційної конструкції та розробки комбінованої електроводопостачальної вітроустановки.

Задачі проектування:

1. Аналізу відомих типів та конструкцій вітроелектронасосних і вітронасосних установок та визначення шляхів підвищення їх енерго-ефективності.
2. Узгодження розподілу потужностей між основними структурними складовими електроводопостачальної вітроустановки та споживачами.
3. Встановлення закономірностей впливу стохастичного надходження енергії вітру на енергоефективність функціонування комбінованої електроводопостачальної вітроустановки.
4. Визначення залежностей енергетичних параметрів магнітоелектричного генератора з урахуванням зміни навантаження електроспоживачів.
5. Удосконалення традиційної конструкції електроводопостачальної вітроустановки.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Розробка функціональної схеми та опис основних вузлів КЕВВУ

Основним рішенням запропонованим у кваліфікаційній роботі є створення комбінованої електроводопостачальної вітроустановки (КЕВВУ) із застосуванням генератора зворотно-поступального руху (МЕЛГ), рухомий магнітний індуктор якого приводиться в зворотно-поступальний рух разом з штоком поршня (плунжера) об'ємного водяного насоса через кривошипно-шатунний механізм від вітродвигуна. Це дозволить не тільки піднімати воду, але і заряджати акумуляторні батареї з допомогою генерованої електричної енергії, на максимальних швидкостях вітру насос дозволить максимально завантажити вітроустановку.

Зміна режимів функціонування КЕВВУ дозволить підвищити енергоефективність використання механічної енергії вітродвигуна, та відмовитися від використання двох вітроустановок: електричної та насосної, що призведе до зменшення площі монтажної площадки (зони відчуження). Крім того, застосування дороговартісного обладнання в опорі на зручній для обслуговування висоті, дозволить спростити конструкцію вітроустановки.

Особливістю є усунення недоліку традиційних вітроустановок (горизонтально-осьової вітроенергетичної установки, вертикально-осьової вітроенергетичної установки, вітроелектричної і вітронасосної установки), а саме неспроможність окремо кожної з них одночасно виробляти електроенергію та піднімати воду з джерела, використовуючи механічну енергію вітродвигуна. КЕВВУ містить: вітродвигун 1, будову якого показано на рисунку 2.2, вал якого з'єднано з колінчастим валом 2 кривошипно-шатунного механізму 3. Колінчастий вал 2, встановлений корінними шийками його цапф у вальниці кронштейнів 4 гондоли 5 вітроустановки, шарнірно з'єднано шатуном 6 з розташованим в направляючому циліндрі трубчастої стійки 7 крейцкопфом 8, який через опорно-поворотний механізм 9 жорстко з'єднано за допомогою штока 10 і з'єднувальної муфти 11 з індуктором 12 магнітоелектричного лінійного генератора 13, що закріплений в трубчастій стійці 7 вітроустановки. Індуктор 12 лінійного

Будова КЕВВУ має електротехнічні та механічні складові частини, що визначає види використовуваної ними енергії. Як видно із принципової функціонально-кінематичної схеми, рисунок 2.1.

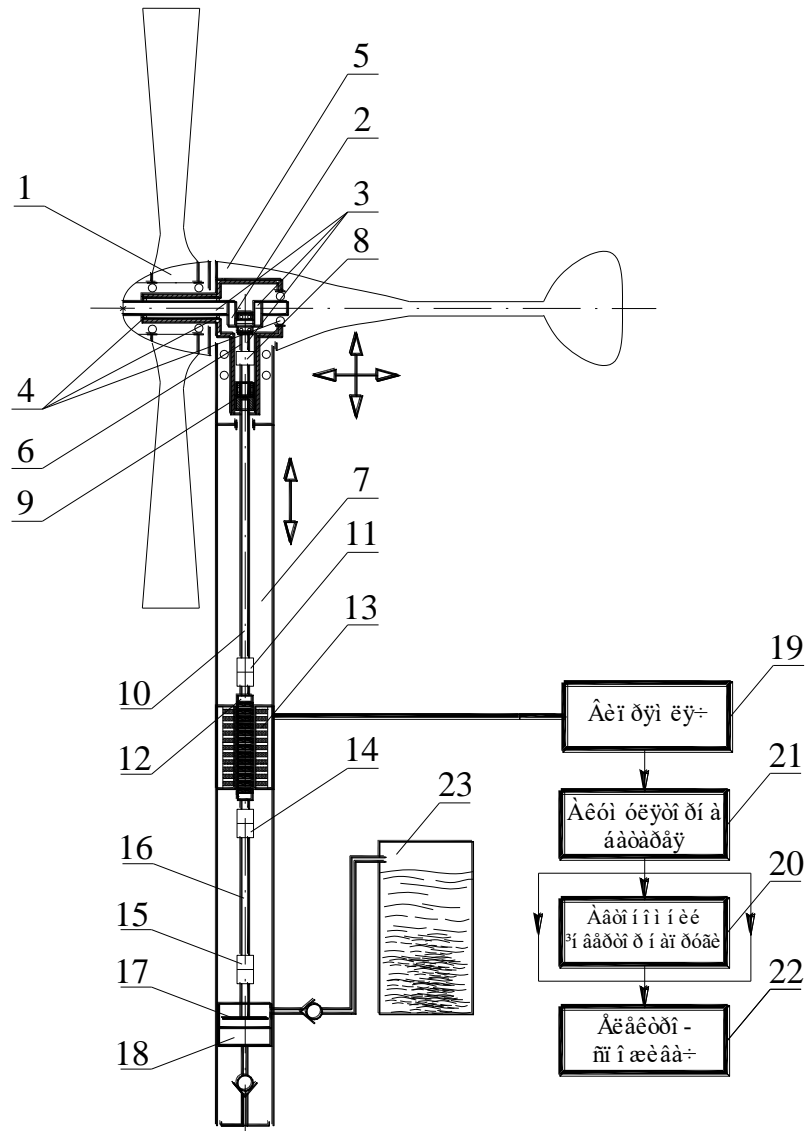


Рисунок 2.1 – Принципова функціонально-кінематична схема комбінованої електроводопостачальної вітроустановки.

електрогенератора 13 за допомогою з'єднувально-роз'єднувальних муфт 14, 15 жорстко з'єднано штоком 16 з поршнем 17 водяного насоса 18 який зображено на рисунку 2.3. Системи електроживлення, до якої входять: МЕЛГ 13, випрямляч 19, автономний інвертор напруги з системою регулювання 20, акумуляторні батареї 21 та електроспоживачі 22; резервуар-накопичувач для води 23.

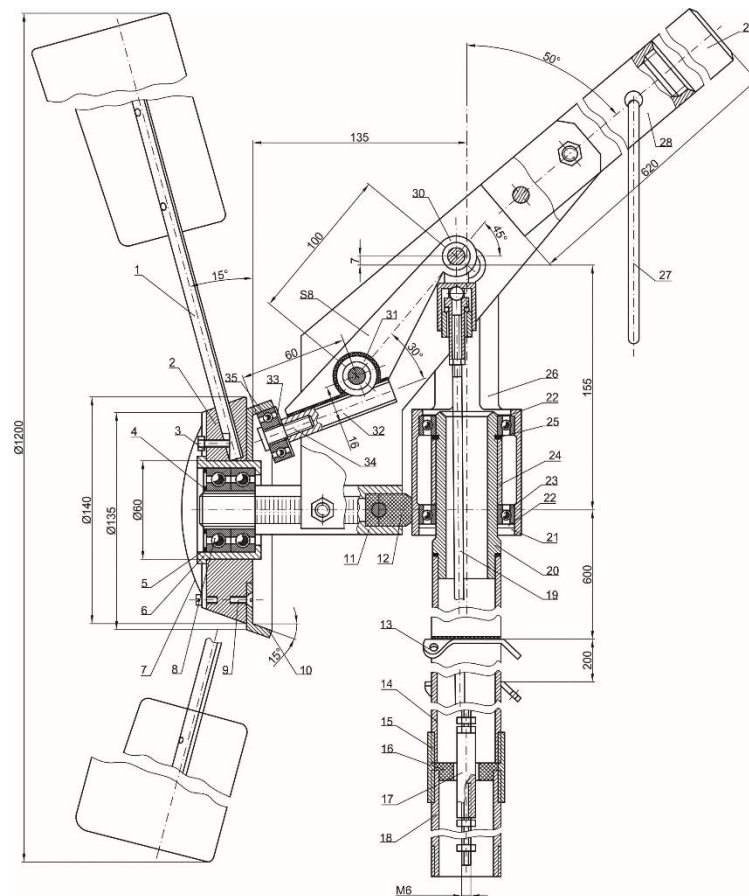


Рисунок 2.2 – Будова вітродвигуна КЕВВУ.

1 - стержень з лопатями, 2 - ступиця, 3 - болт М6, 4,5 - кільця, 6 - втулка, 7 - кришка, 8 - вальниця №60205, 9 - гвинт, 10 - тарілка, 11 - вісь Ø30мм, 12 - буфер (рези́на Ø20 мм), 13 - фланець, 14 - труба, 15 - муфта, 16 - втулка, 17 - муфта, 18 - труба, 19 - тяга (Ø6 мм), 20 - вісь, 21,22 - кільця, 23 - вальниця №1000908, 24 - труба, 25 - кільце, 26 - корпус, 27 - вертлюг, 28 - гайка, 29 - кільце (Ø1,6 мм), 30 - вальниця, 31 - шари́к Ø10 мм, 32 - ско́ба (Ø6 мм), 33 - труба L 420 мм, 34 - вантаж, 35 - ричаг, 36 - втулка, 37 - вісь Ø16 мм, 38 - шайба, 39 - болт М12, 40 - вальниця №60201, 41,42 – втулка, 43 - вісь, 44 - гайка М10, 45 - пружинна шайба, 46 - кільце, 47 - корпус вертлюга, 48 - кільце, 49 - втулка, 50 - шпилька М10, 51,54 - щоки, 52 - шпилька М10, 53 - вісь. 1 - пробка, 2 - сітка, 3 - кільце, 4 - всмоктуючий рукав, 5 - ніпель, 6 - діафрагма, 7 - корпус, 8 - всмоктуючий клапан, 9 - гвинт М5, 10 - гайка М5, 11, 14 - пружинні шайби, 12 - болт М6, 13 - гайка М6, 15 - днище, 16 - прокладка, 17, 21, 24 - кільце, 18 - тарілка, 19 - нагнітаючий клапан, 20 - пружина, 21 - конус, 23 – вісь, 25 - шланг.

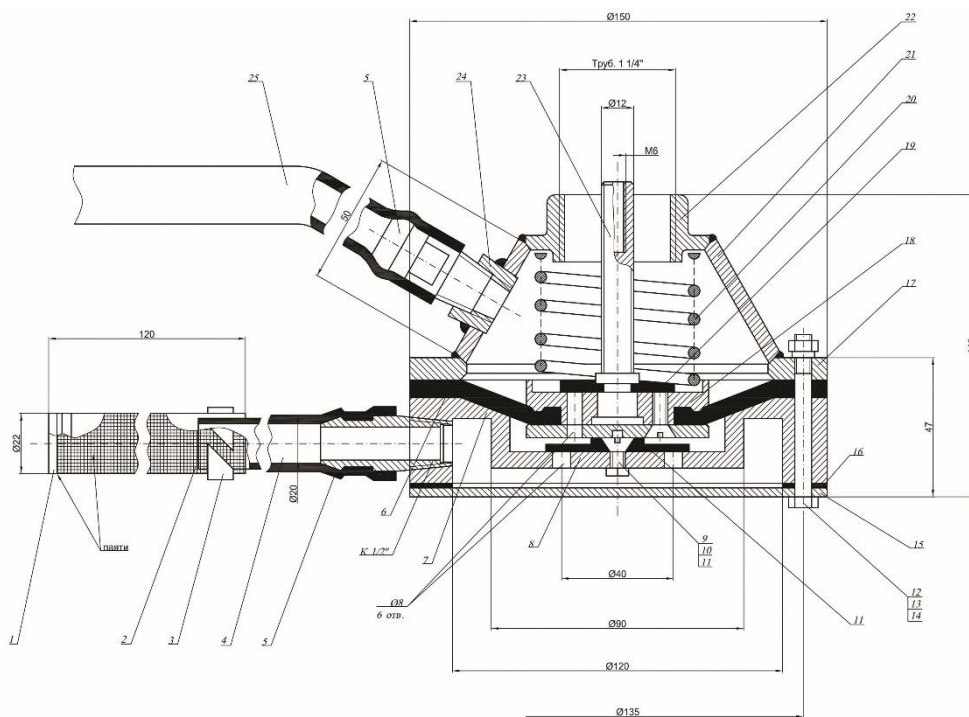


Рисунок 2.3 – Будова насоса КЕВВУ.

Насос, будова якого наведена на рисунку 2.3 є самовсмоктувальний, з горизонтальною проточною гумової діафрагмою, має три порожнини. Приймальна порожнина з'єднана з всмоктувальним рукавом, поддіафрагменна з'єднана з приймальною через шість отворів, перекритих всмоктувальним клапаном, наддіафрагменна порожнина знизу з'єднується з поддіафрагменною також шістьма отворами, перекритими нагнітальним клапаном, а зверху - із зливним шлангом і порожниною опори. Останнє захищає вітроагрегат від поломки при випадкових пережиманнях зливного шланга.

Механічна (конструктивна) ефективність КЕВВУ визначається одночасною передачею розвинутої ротором вітродвигуна корисної потужності до МЕЛГ і гідравлічного насоса. Конструктивне об'єднання з кривошипно-шатунним механізмом гідравлічного насоса та магнітоелектричного лінійного генератора забезпечує сумарний ефект, який полягає в суттєвому спрощенні конструкції та розширенні функціональних можливостей.

До переваг КЕВВУ над традиційними електричними і насосними вітроустановками відносяться наступні особливості технічної пропозиції:

- здатність КЕВВУ одночасно виробляти електроенергію та піднімати воду, використовуючи механічну енергію вітродвигуна;

- збільшений коефіцієнт використання встановленої потужності вітронасосної установки, внаслідок дозавантаження вітродвигуна МЕЛГ під час зростання швидкості вітру;
- насос та генератор приводяться від тихохідного ротора вітродвигуна з великим пусковим моментом, внаслідок чого покращені умови пуску вітроустановки при малих швидкостях вітру;
- використання механічної енергії вітродвигуна для приводу поршневого або плунжерного насоса дозволяє вилучити втрати в системі живлення електронасоса, що в свою чергу підвищує коефіцієнт корисної дії КЕВВУ;
- спрощення конструкції гондоли вітроустановки, зменшення її ваги та площі, розміщення коштовного, важкого, генеруючого електрообладнання у легкодоступному місці трубчастої стійки, а як наслідок зменшення впливу вітру на вітроустановку і навантаження на опору;
- робота насоса можлива при відсутності вітру, за рахунок використання МЕЛГ у режимі електродвигуна, що отримує живлення від акумуляторної батареї;
- підвищена надійність електрообладнання, внаслідок відсутності обертових частин у електрогенераторі, відсутність мультиплікатора, а також відсутність струмознімача, що має недостатню надійність та з'єднує електрогенератор у гондолі із розподільним пристроєм розташованим внизу стійки;
- відсутність потреби у необхідності визначення рози вітрів на місці встановлення КЕВВУ, за рахунок можливості обертання гондоли вітродвигуна на 360° ;
- полегшено технічне обслуговування, внаслідок розміщення електрогенеруючого обладнання у трубчастій стійці на зручній для обслуговування висоті.

2.2 Необхідність використання акумуляторних батарей у КЕВВУ

Необхідність використання акумуляторних батарей (АБ) у вітроенергетичних системах зумовлена стохастичним характером енергії вітру, а також його тимчасовою відсутністю. Отже, забезпечення безперервного живлення

споживачів електроенергією належної якості при зниженні швидкості вітру нижче мінімально-допустимої величини, або тимчасової його відсутності є актуальною технічною задачею.

В роботі АБ важливою умовою є подовження терміну їх експлуатації. Однією із причин зниження строку служби електрохімічних акумуляюючих пристроїв, є їх розрядження нижче мінімально-допустимого рівня, що призводить до виникнення незворотних хімічних процесів руйнування АБ. Такий степінь розряду можна спостерігати, коли АБ розряджена нижче 70% від номінальної ємності, а електричні приймачі потребують подальшого живлення від джерела енергії і працюють не відключаючись.

В той же час, одна група АБ при її повній зарядженості спроможна забезпечити живлення електроспоживачів протягом певного часу. Проте, враховуючи, що при змінній швидкості вітру випрямлена напруга електрогенератора може знижуватися нижче напруги акумуляторних батарей, вони будуть періодично розряджатися, і на момент відсутності вітру можуть мати далеко не повний запас ємності необхідний для автономного живлення споживачів.

В якості прикладу, розглянуто варіант КЕВВУ з акумуляторними батареями марки 12СТ-85Р, загальний вигляд яких показано на рисунку 2.4, які при номінальній ємності 85 А·год та напрузі 24 В з'єднано в групу послідовно-паралельно на напругу 48 В. Аналіз особливостей функціонування акумуляторних батарей марки 12СТ-85Р у комплексі КЕВВУ свідчить про те, що для забезпечення автономного живлення електроспоживачів від акумуляторних батарей під час відсутності



Рисунок 2.4 – Загальний вигляд акумуляторної батареї марки 12СТ-85Р

вітру, необхідно мати дві таких групи АБ, одна із яких повинна бути повністю зарядженою в готовності до автономного живлення споживачів при відсутності вітру, тобто бути у якості резервного накопичувача електроенергії. Для цього кожен групу АБ по чергово під'єднують через інвертор напруги до електроспоживачів та через випрямляч до електрогенератора змінного струму таким чином, що одна група, під'єднана через випрямляч до електрогенератора, заряджається і завжди в цей час має максимальну степінь зарядженості ($\approx 100\%$), а інша група АБ, під'єднана через інвертор напруги паралельно з випрямлячем розряджається при періодичних зниженнях випрямленої напруги. Принципова схема живлення показана на рисунку 2.5.

Як видно із принципової схеми системи електроживлення, система має блок керування (СК), що здійснює по чергове перемикавання контактів.

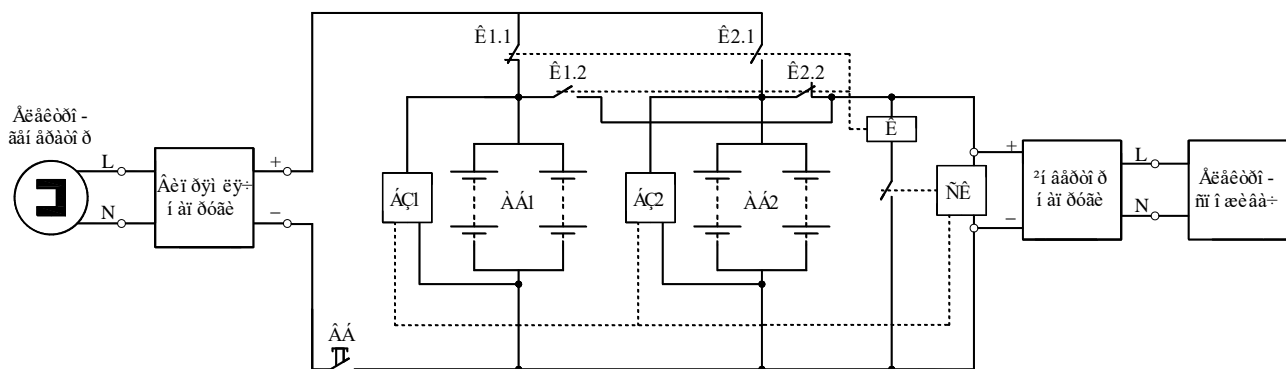


Рисунок 2.5 - Принципова схема системи живлення електроспоживачів комбінованої електроводопостачальної вітроустановки з двома групами акумуляторних батарей.

Як видно із принципової схеми системи електроживлення, система має блок керування (СК), що здійснює по чергове перемикавання контактів, які під'єднують відповідні групи акумуляторних батарей (АБ1 або АБ2) до випрямляча напруги електрогенератора для заряджання та до інвертора напруги для живлення електроспоживачів по сигналу датчика розряду групи АБ (БЗ1 або БЗ2), яка була підключена через інвертор напруги до споживачів для їх живлення паралельно з лінійним генератором. При такій системі КЕВВУ буде завжди мати принаймні одну повністю заряджену групу АБ для живлення

електроспоживачів під час відсутності вітру, коли електрогенератор не працює, а в кращому випадку – ще й частково заряджену другу групу АБ, яка залишиться підключеною через інвертор напруги до споживачів для їх живлення до досягнення мінімально-допустимого ступеня розрядженості АБ.

Принцип роботи запропонованого технічного рішення полягає в тому, що КЕ ВВУ, замість однієї групи акумуляторних батарей споряджена двома групами акумуляторних батарей, які по чергово підключаються до випрямляча напруги для повного заряду, випрямленим струмом електрогенератора та до інвертора напруги для безперервного живлення електроспоживачів із підвищеною надійністю. При цьому одна група акумуляторних батарей «АБ1» з метою повного заряджання підключена через розмикаючий контакт «К1.1» силового контактора «К» до затискачів випрямляча напруги, а друга група акумуляторних батарей «АБ2» після повного заряду за допомогою розмикаючого контакту «К3.2» силового контактора «К» підключена до затискачів інвертора напруги і забезпечує через нього разом з випрямлячем живлення електроспоживачів.

Система керування «СК», отримавши сигнал від датчиків блоку захисту «Б32» про досягнення гранично допустимого рівня розряду групи акумуляторних батарей «АБ2», здійснює переключення контактів «К1.1, К1.2» та «К3.1, К3.2», вимикаючи повністю заряджену групу акумуляторних батарей «АБ1» від випрямляча напруги з одночасним підключенням цієї групи до інвертора напруги для живлення електроспоживачів та підключаючи розряджену групу акумуляторних батарей «АБ2» до затискачів випрямляча напруги для заряджання. При досягненні граничнодопустимого рівня параметрів перезаряду датчик блоку захисту «Б31» подає сигнал системі керування «СК» на здійснення вище описаних перемикань, не чекаючи сигналу датчика розряду від «Б32». Ввімкнення випрямляча напруги лінійного електрогенератора до системи живлення електроспоживачів здійснюється через имикач батарей «ВБ».

Таким чином, для живлення споживачів КЕВВУ під час відсутності вітру необхідно мати дві 48-вольтових групи АБ, які по чергово під'єднуються через інвертор напруги до електроспоживачів для їх живлення та до випрямляча напруги електро-генератора для повного заряджання АБ. Кількість АБ в кожній групі визначається необхідною ємністю групи для забезпечення потрібної тривалості автономного живлення електроспоживачів при мінімальній температурі елек-

троліту та степені їх зарядженості.

2.3 Проектування ефективної конструкції магнітоелектричного лінійного генератора

Відсутність серійного виробництва лінійних електрогенераторів зумовили необхідність проектування ефективної конструкції магнітоелектричного лінійного генератора зворотно-поступального руху для КЕВВУ.

Для КЕВВУ запропоновано конструкцію магнітної системи трифазного циліндричного магнітоелектричного генератора зворотно-поступального руху, рисунок 2.6, де 1 – немагнітний стержень, 2 – феромагнітні елементи, 3 – постійні магніти із сплаву NdFeB ТУ 48-4-543-90 (неодим-залізо-бор) з розмірами $40 \times 20 \times 9,8$ мм, 4 – статор з електричними котушками, які утворюють трифазну систему (фаза – А, фаза – В, фаза – С), кожна з яких розміщена у замкненому магнітопроводі.

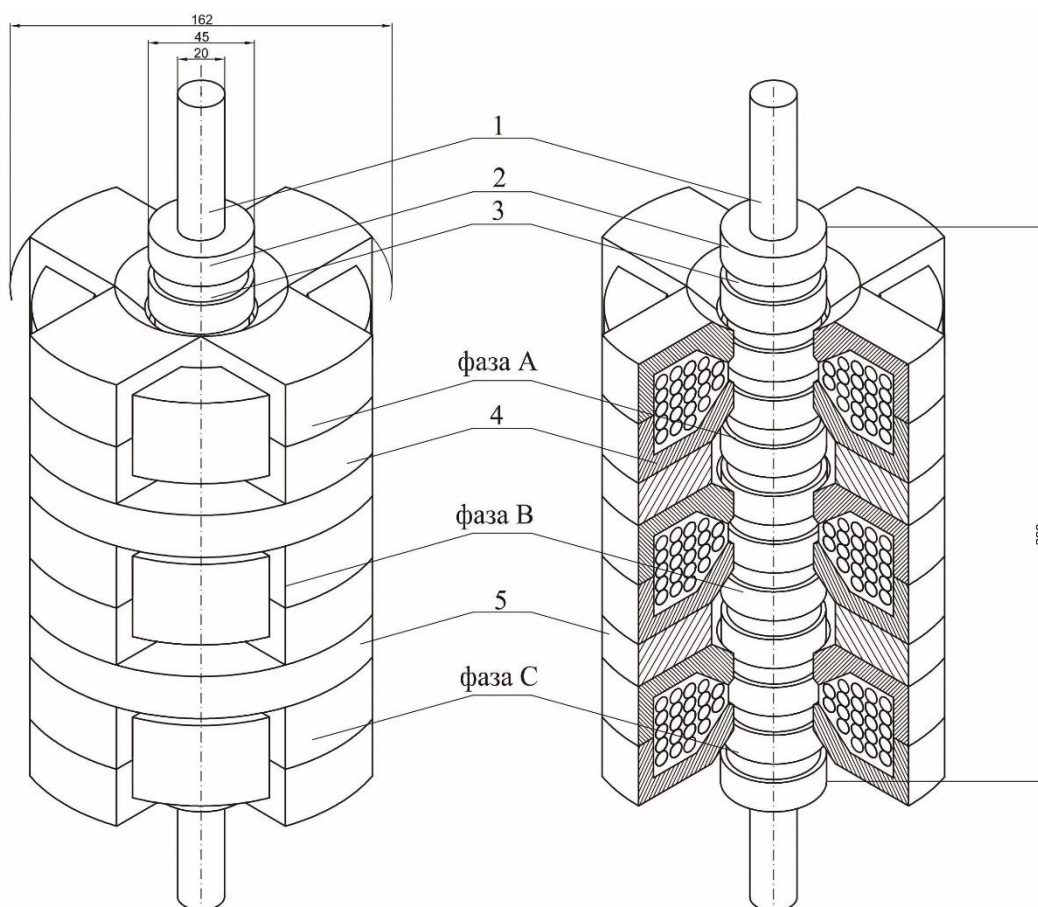


Рисунок 2.6 – Конструкція магнітної системи трифазного циліндричного магнітоелектричного лінійного генератора.

При проектуванні враховано створення природного охолодження електричних котушок генератора та зниження матеріаломісткості, що характеризується рівновеликою товщиною елементів магнітопроводу (зубець, ярмо) на протязі своїх довжин і призводить до заниження магнітних навантажень в елементах магнітопроводу, віддалених від активної поверхні та максимального розсіювання магнітного потоку, що в результаті впливає на енергетичні показники статора.

Поставлена задача вирішується тим, що в статорі МЕЛГ, що має внутрішню активну поверхню і складається з набору модулів, кожен з яких має обмотку, оточену магнітопроводом, модулі послідовно встановлені вздовж повздовжньої осі статора і віддалені один від одного немагнітними елементами, магнітопровід виконаний у вигляді багатопроменевої зірки, промені якої виходять з активної поверхні статора по радіусу до неї, при цьому сумарна площа перерізу променів на довільній відстані від їх початку не менше активної площі магнітопроводу на діаметрі розточки.

Як показано на рисунку 2.7 магнітопровід МЕЛГ виконаний у вигляді зірки, зірка має багатопроменевий вид, промені зірки виходять з активної поверхні статора, промені направлені від активної поверхні по радіусу, сумарна площа перерізу променів не менша площі магнітопроводу на діаметрі розточки, співвідношення сумарної площі перерізу променів і площі магнітопроводу на діаметрі розточки однакове на довільній відстані від початку утворення променів.

Електричні обмотки котушок мають доступ до повітря для охолодження, а через вільні від електротехнічної сталі проміжки магнітопроводу можуть бути виведені назвні конструкції кінці фазних обмоток. За рахунок виконання магнітопроводу у вигляді багатопроменевої зірки, значно зменшується матеріаломісткість магнітопроводу.

Конструкція магнітопроводу статора дозволить знизити загальну вагу трифазного циліндричного МЕЛГ, що покращить габаритні показники та мобільність.

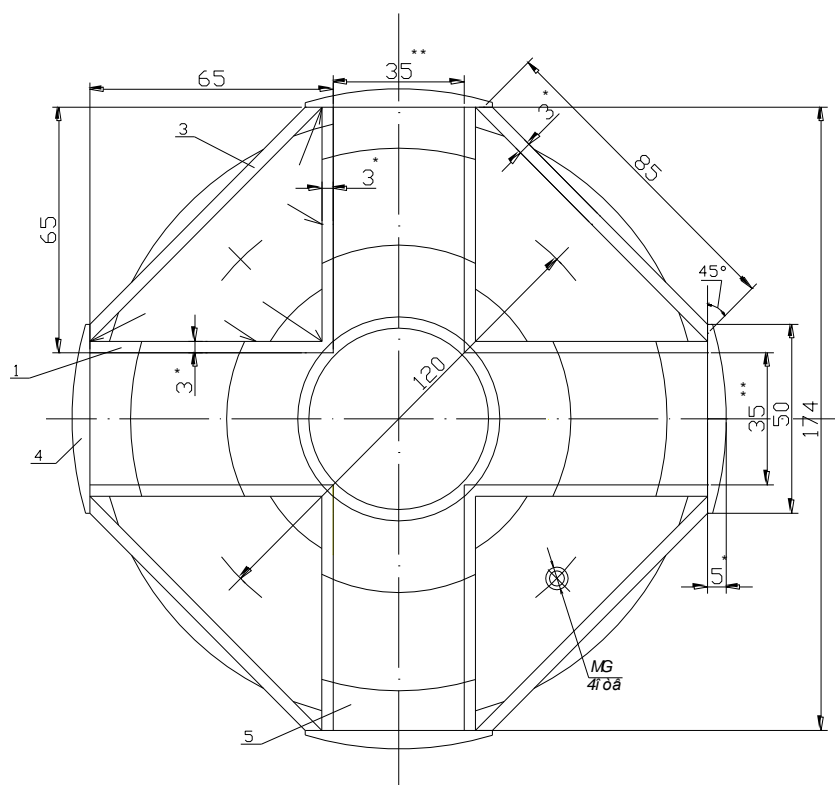


Рисунок 2.7 – Осердя магнітопроводу МЕЛГ.

Фотографії деталей МЕЛГ, а також зовнішній вид генератора зображено на рис. 2.8, 2.9, 2.10, 2.11.



а

б

в

Рисунок 2.8 – Осердя магнітопроводу МЕЛГ: а, б – модулі осердя магнітопроводу, в - магнітопровід у зібраному вигляді для однієї фази.



а

б

Рисунок 2.9 – Електричні котушки: а – електрична котушка, б – електрична котушка вложена у модуль магнітопроводу.

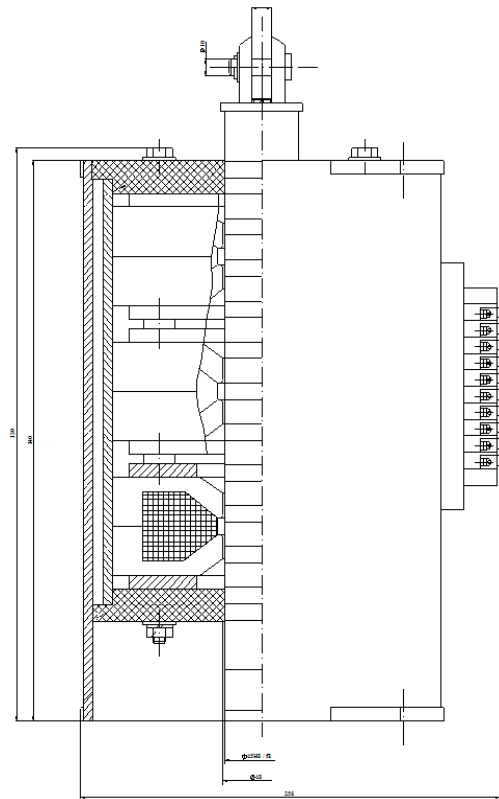


Рисунок 2.10 – Зовнішній вигляд трифазного циліндричного МЕЛГ.

Приводом такого магнітоелектричного лінійного генератора згідно рисунку 2.1 є вітрова двигун, що перетворює кінетичну енергію вітрового потоку у механічну, яка в свою чергу перетворюється із обертового руху через кривошипно-шатунний механізм у зворотно-поступальний для приводу індуктора рухомої магнітної системи МЕЛГ.

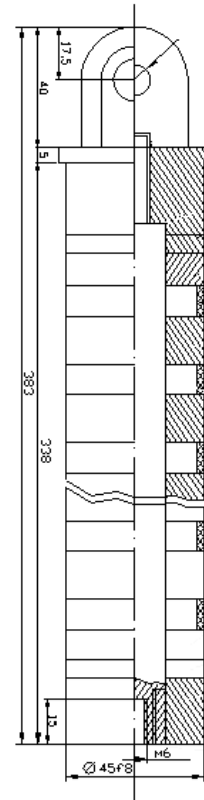


Рис. 2.11. Рухома магнітна система (індуктор).

Габаритні та електричні параметри трифазного циліндричного магнітоелектричного лінійного генератора подані у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Маса основних вузлів і елементів генератора

№ п/п	Найменування елементів	Маса, кг	Кількість у виробі, шт	Сумарна маса, кг
1	Рухома магнітна система	4,16	1	4,16
2	Осердя магнітопроводу	2,71	6	16,26
3	Котушка (обмотувальний дрід Ø 0,9 мм марки ПЭТ-155, площею перерізу 0,635 мм ² , число витків - 1300)	2,555	3	7,665
4	Корпус	16,73	1	16,73
5	Інші елементи			1,185
Загальна вага генератора				46,00

2.4 Алгоритм керування магнітоелектричним лінійним генератором

Зовнішній вигляд конструкції магнітної системи зображено на рис. 2.12а. Для керування трифазною магнітоелектричною лінійною машиною в режимі електродвигуна запропоновано алгоритм рис. 2.12б, що дозволяє рухомому елементу здійснювати зворотно-поступальні рухи. На рис. 2.12б окрім алгоритму, зображені статичні характеристики електромагнітного зусилля для заданої густини струму в електричних обмотках $\delta = 5 \text{ A/мм}^2$ при ввімкненні трьох фаз одночасно та кожної фази окремо в залежності від переміщення рухомого елемента. Аналіз графічних залежностей електромагнітного зусилля від переміщення рухомого елемента рис. 2.12б доводить ефективність використання електричної машини саме в трифазному виконанні, де середнє

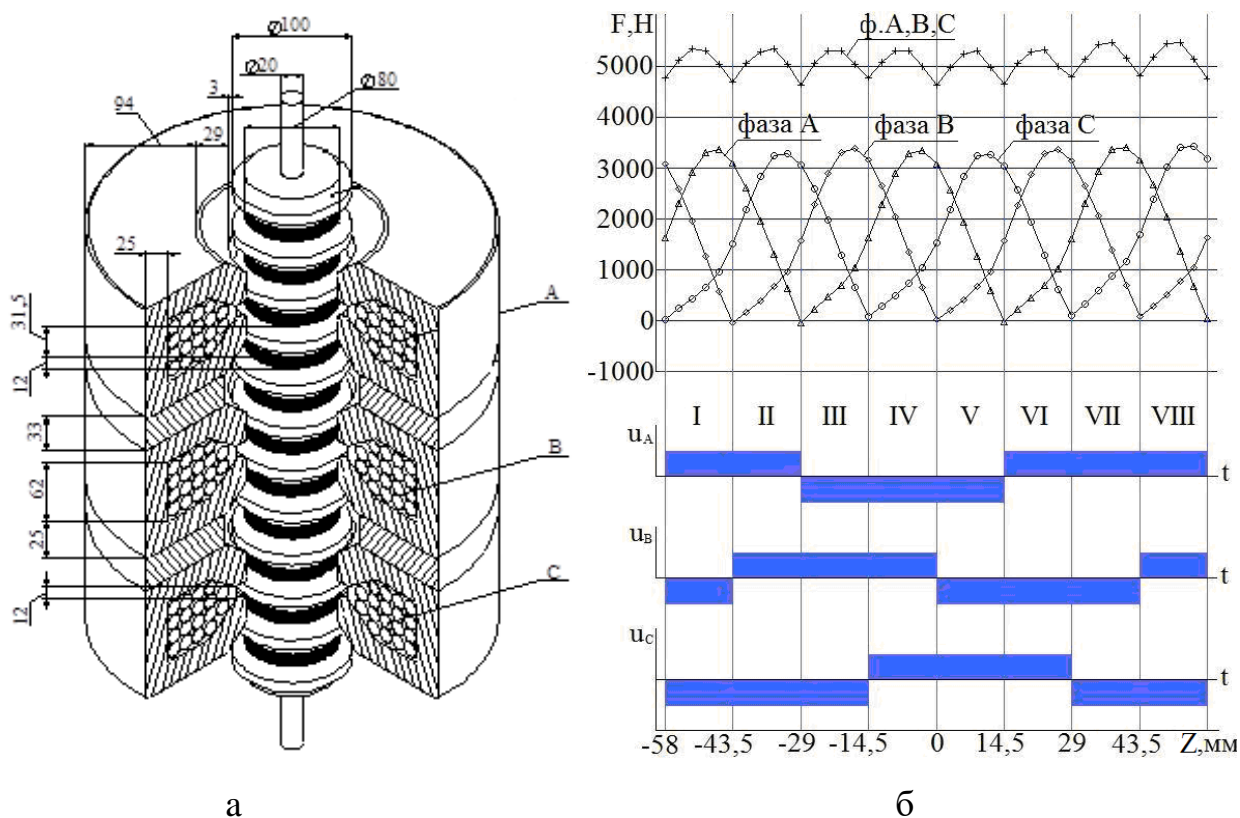


Рисунок 2.12. а – ескіз розробленої конструкції магнітоелектричного лінійного генератора; б – алгоритм керування трифазною магнітоелектричною лінійною машиною в режимі двигуна із зображенням статичних характеристик електромагнітного зусилля.

значення зусилля знаходиться у межах $4,6..5,45$ кН. У випадку роботи двигуна в однофазному режимі величина зусилля може коливатися у межах від $0,015$ кН до $3,4$ кН.

Розроблений варіант конфігурації магнітної системи дозволяє отримати синусоїдальну форму зусилля, яке діє на рухомий елемент, що важливо при використанні такої електричної машини в режимі генератора. Крім того, незначна величина зусилля, що діє на рухомий елемент, при відсутності струмів в обмотках дозволяє суттєво зменшити гальмівні (паразитні) електромагнітні зусилля як в режимі електродвигуна, так і в режимі електрогенератора, а значить збільшити ККД перетворення енергії.

2.5 Обґрунтування показників енергоефективності структурних елементів КЕВВУ

Під час порівняння коефіцієнтів корисної дії, як показника енергоефективності структурних елементів, двох електротехнічних систем, традиційної та запропонованої вітроустановок враховувались максимальні значення ККД використаних елементів у системах. При чому перший варіант системи (вітроелектроустановка з електронасосом) представлений трьома значеннями ККД електронасосного обладнання, що обумовлено існуванням різних типів електронасосів. Використані коефіцієнти корисної дії елементів, що входять до вітроустановок, які порівнюються, отримані із паспортних даних, взяті з літературних джерел та отримані в результаті розрахунків і зведені у таблицю 2.2.

До цього часу виконувалось наближене порівняння ККД вітроелектричних систем, що працюють з електронасосами.

Підставивши у рівняння 2.1 величини з таблиці 2.2 згідно рис. 2.13 отримаємо результати розрахунків ККД для вітроелектроустановок, що

працюють із електронасосами:

$$\eta_{BEV} = \eta_{TP} \cdot \eta_{ГЕН} \cdot \eta_B \cdot \eta_{АН} \cdot \eta_{ЕН}, \quad (2.1)$$

де η_{TP} - ККД трансмісії вітродвигуна; $\eta_{ГЕН}$ - ККД електрогенератора; η_B - ККД випрямляча напруги; $\eta_{АН}$ - ККД автономного інвертора напруги; $\eta_{ЕН}$ - ККД електронасоса.

Таблиця 2.2 – Коефіцієнти корисної дії елементів електротехнічної системи вітроустановок

№ п/п	Назва елементів системи	Електронасосна вітроустановка, %	КЕВВУ, %
		величина	величина
1	Трансмісія вітродвигуна	96,1	94,1
2	Електричний генератор	90	78,2
3	Випрямляч напруги	85	85
4	Автономний інвертор напруги	90	90
5	Електричний насос:		
	1) вібраційний електронасос	22,6	
	2) відцентровий електронасос	41	
	3) відцентровий заглибний електронасос	51	
	Насос		81

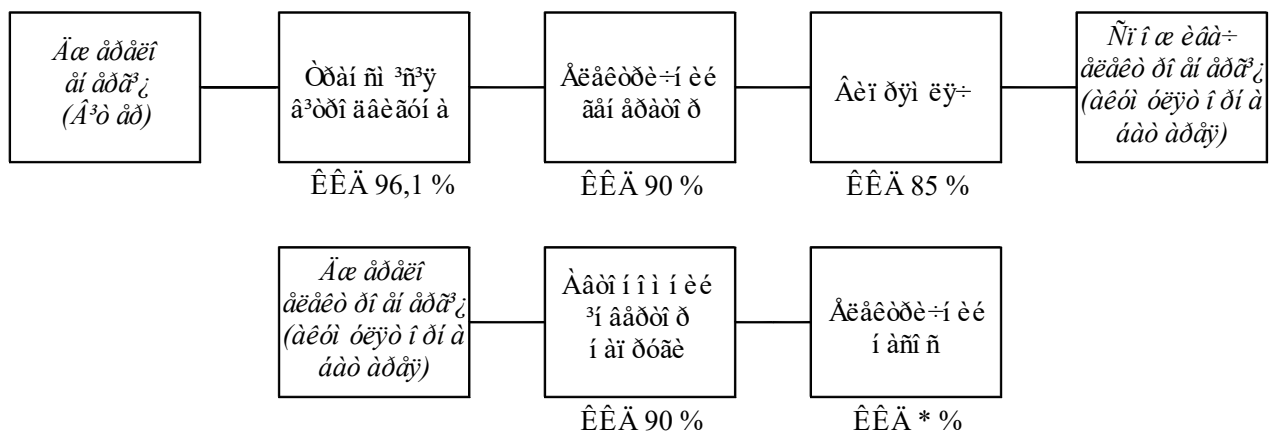


Рисунок 2.13 – Структурна блок-схема вітроелектроустановки із електронасосом.

Для розрахунку ККД комбінованої електроводопостачальної вітро-установки використаємо формулу:

$$\eta_{КЕВВУ} \approx \frac{\eta_{TP} \eta_{МЕЛГ} \eta_B \eta_{АН} \eta_H (P_{СП} + QP_H)}{P_{СП} \eta_H + QP_H \eta_{МЕЛГ} \eta_B \eta_{АН}} \quad (2.2)$$

де $P_{ст}$ - потужність споживачів, $кВт$; Q - дійсна подача насоса, $м^3/с$; p_H - тиск що створює насос, $Па$; $\eta_{МЕЛГ}$ - ККД генератора; η_H - ККД поршневого (плунжерного) насоса.

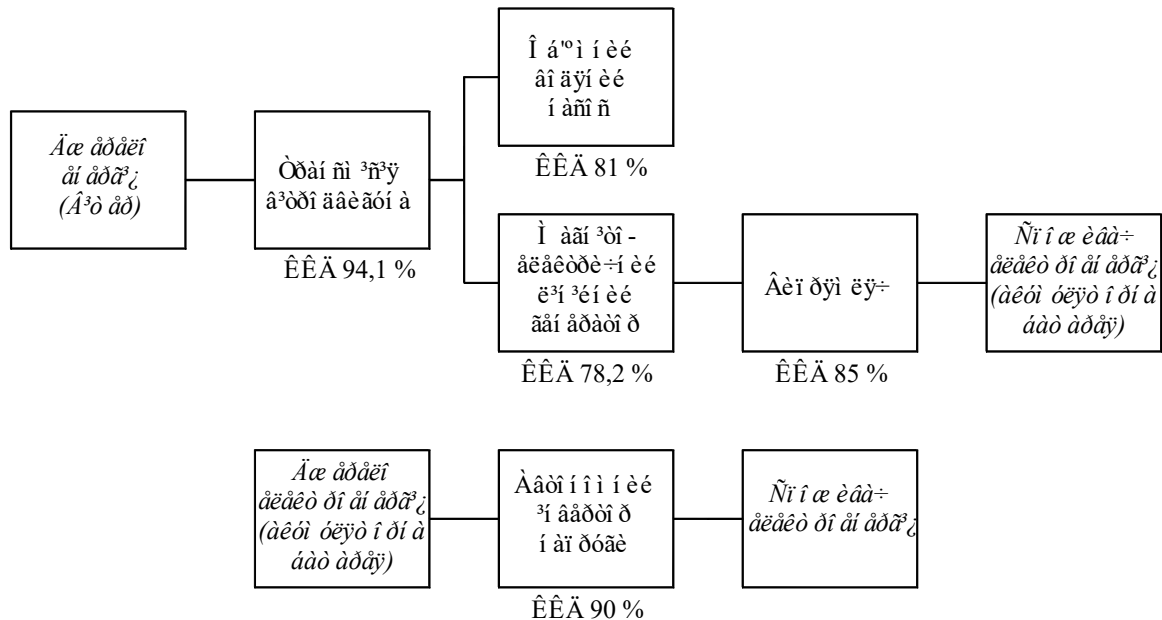


Рисунок 2.14 – Структурна блок-схема електроводопостачальної вітроустановки.

Розрахункове значення ККД електроводопостачальної установки рівне $\eta_{КЕВВУ} \approx 62,3\%$ для режиму подачі води $2 \cdot 10^{-3} м^3/с$ з тиском $0,29 \cdot 10^6 Па$ та генерованої електричної потужності $1 кВт$.

Результати розрахунків ККД для об'ох випадків, а також отримана ефективність роботи складових елементів системи від джерела до споживача зведені у таблицю 2.3.

З таблиці 2.3 для зображених блок-схем (рисунки 2.13 і 2.14) зрозуміло, що значення $\eta_{ВЕУ} \approx (15\%, 27,1\%, 33,7\%)$ для вітроелектроустановки з трьома варіантами застосування різних типів електронасосів і $\eta_{КЕВВУ} \approx 62,3\%$ КЕВВУ, де застосовуються об'ємні водяні насоси, визначають оцінку конструктивної ефективності для кожного з варіантів. Серед вітроустановок з вітродвигунами сумірної потужності та однаковою кількістю елементів, варіант КЕВВУ є конструктивно ефективнішим.

Таблиця 2.3 – Коефіцієнти корисної дії електротехнічних систем вітроустановок

№ п/п	Назва електротехнічної системи	ККД, %	
		розрахункова величина	ефективність КЕВВУ
1	Вітроелектроустановка з електронасосом:		
	1)вібраційний електронасос	15,0	$62,3 - 15,0 \approx 47,3$
	2)відцентровий електронасос	27,1	$62,3 - 27,1 \approx 35,1$
	3)відцентровий заглибний електронасос	33,7	$62,3 - 33,7 \approx 28,6$
2	КЕВВУ з самовсмоктуючим насосом	62,3	-

Отже, отриманий з наближених розрахунків коефіцієнт корисної дії КЕВВУ $\eta_{KEBBV} \approx 62,3\%$ на $47,3\%$ перевищує аналогічний показник традиційної вітроелектроустановки сумірної потужності з використанням вібраційних електронасосів $\eta_{BEV} \approx 15\%$ та на $28,6\%$ – ККД вітроелектроустановки із відцентровими заглибними електронасосами $\eta_{BEV} \approx 33,7\%$.

2.6 Висновки до розділу 2

Із аналізу представлених у даному розділі кваліфікаційної роботи матеріалів можна зробити наступні висновки:

1. Аналіз запропонованого конструктивного рішення електроводопостачальної вітроустановки дозволив встановити технічні та функціональні переваги порівняно з вітроелектронасосними і вітронасосними установками, що дозволило спростити будову установки, підвищити її надійність та ефективність.
2. Запропоновано новий підхід до конструювання комплексів на базі вітроустановок із застосуванням МЕЛГ що дозволяє розділяти механічну енергію вітродвигуна на забезпечення подачі води та безперервну генерацію електричної енергії.

3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

3.1 Визначення тривалості безперервного процесу автономного живлення електроспоживачів від акумуляторних батарей КЕВВУ

Вольт-амперні характеристики групи АБ визначаються вольт-амперними характеристиками однієї АБ $U_{\delta 1} = f(I_{\text{ем1}})$, а також кількістю та характером з'єднання АБ у групі. При послідовному з'єднанні АБ величина струму та ємність групи не змінюється ($I_{\delta} = I_{\delta 1}$; $C_{\delta} = C_{\delta 1}$), а напруга зростає пропорційно кількості послідовно з'єднаних АБ $m_{\delta c}$ ($U_{\delta} = m_{\delta c} \cdot U_{\delta 1}$).

При паралельному з'єднанні АБ $m_{\delta n}$, їх напруга залишається незмінною ($U_{\delta} = U_{\delta 1}$), величина струму розряду однієї АБ зменшується обернено пропорційно кількості паралельно ввімкнених АБ ($I_{\delta 1} = \frac{I_{\delta}}{m_{\delta n}}$), а загальна ємність C_{δ} збільшується прямо пропорційно їх кількості ($C_{\delta} = m_{\delta n} \cdot C_{\delta 1}$).

Вольт-амперні характеристики АБ в загальному випадку носять нелінійний характер. Однак, в робочому діапазоні величин струмів (в інтервалі від $0,05I_{\text{кз}}$ до $1,05I_{\text{кз}}$) залежність напруги АБ від розрядного струму є лінійною. Тому для рішення практичних інженерних задач вольт-амперні характеристики акумуляторних батарей лінеаризуються: їх лінійна ділянка продовжується до пересічення з осями координат, яка відсікає на осі ординат відрізок, який чисельно дорівнює величині, що зветься напругою початку розряду АБ $U_{\delta 0}$, а на осі абсцис – відрізок, який чисельно дорівнює величині струму короткого замикання АБ $I_{\text{кз}}$.

Таким чином, лінеаризована вольт-амперна характеристика АБ визначається величинами її напруги початку розряду $U_{\delta 0}$ і струму короткого замикання $I_{\text{кз}}$, а також кутом нахилу α характеристики. Тангенс цього кута чисельно дорівнює внутрішньому опору АБ $R_{\delta 1} = \frac{U_{\delta 01}}{I_{\text{кз}1}} = \text{tg} \alpha_{\delta 1}$.

Вольт-амперна характеристика АБ може бути виражена рівнянням:

$$U_{\delta 1} = U_{\delta 01} - I_{\delta 1} R_{\delta 1} = U_{\delta 01} - I_{\delta 1} \frac{U_{\delta 01}}{I_{\text{кз}1}} = U_{\delta 01} \left(1 - \frac{I_{\delta 1}}{I_{\text{кз}1}} \right) \quad (3.1)$$

де $U_{\delta 01}$ – напруга початку розряду АБ, В; U_{δ} – напруга АБ, В; $I_{\delta 1}$ – величина

струму розряду АБ, A ; $I_{к\delta 1}$ – величина струму короткого замикання АБ, A ; $R_{\delta 1} = \frac{U_{\delta 01}}{I_{к\delta 1}}$

– внутрішній електричний опір АБ, Om .

Із зменшенням температури електроліту $t_{ел}$ та степеня заряду $C(\%)$ АБ, величини напруги початку розряду і струму короткого замикання АБ зменшуються, а їх внутрішній опір $R_{\delta 1}$ збільшується (кут нахилу вольт-амперної характеристики зростає).

Потужність однієї АБ, що визначається добутком величин струму розряду та відповідної напруги, дорівнює:

$$P_{\delta 1} = I_{\delta 1} U_{\delta 1} = I_{\delta 1} (U_{\delta 01} - I_{\delta 1} R_{\delta 1}) = I_{\delta 1} U_{\delta 01} \left(1 - \frac{I_{\delta 1}}{I_{к\delta 1}} \right) = I_{\delta 1} U_{\delta 01} - I_{\delta 1}^2 R_{\delta 1}, \text{ Вт.} \quad (3.2)$$

Максимальне значення потужності однієї АБ визначається дослідженням функції $P_{\delta 1} = f(I_{\delta 1})$ на максимум:

$$\frac{dP_{\delta 1}}{dI_{\delta 1}} = U_{\delta 01} - 2I_{\delta 1} R_{\delta 1} = 0, \text{ звідки } I_{\delta 1m} = \frac{U_{\delta 01}}{2R_{\delta 1}} = \frac{I_{к\delta 1}}{2}, U_{\delta 1m} = U_{\delta 01} - \frac{I_{к\delta 1}}{2} \cdot \frac{U_{\delta 01}}{I_{к\delta 1}} = \frac{U_{\delta 01}}{2}, \text{ тоді}$$

$$P_{\delta 1m} = I_{\delta 1m} U_{\delta 1m} = \frac{U_{\delta 01}}{2} \cdot \frac{I_{к\delta 1}}{2} = \frac{U_{\delta 01} I_{к\delta 1}}{4} = \frac{U_{\delta 01}^2}{4R_{\delta 1}}, \text{ Вт,} \quad (3.3)$$

$$\text{де } P_{\delta 1m} = \frac{U_{\delta 01}^2}{4R_{\delta 1}} = \frac{U_{\delta 01} I_{к\delta 1}}{4} - \text{максимальне значення потужності однієї АБ, Вт;}$$

$$U_{\delta 1m}, I_{\delta 1m} - \text{максимальне значення напруги і струму при } P_{\delta 1m}, \text{ В, А.}$$

Визначені числові значення величин напруги початку розряду та струму короткого замикання АБ марки 12СТ-85Р в залежності від температури електроліту та степеню їх зарядженості представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вольт-амперні характеристики акумуляторної батареї марки 12СТ-85Р

Символ параметра	$C_z, \%$	Параметри при температурі електроліту $t_{ел}, ^\circ C$				
		+20	+10	0	-10	-20
$U_{\delta 01}, \text{ В}$	100	24,4	24,1	23,9	23,6	23,3
	75	24,2	23,7	23,3	23,0	22,5
	50	24,0	23,2	22,6	22,0	21,3
$I_{к\delta 1}, \text{ А}$	100	2280	2080	1850	1630	1250
	75	2100	1950	1640	1410	1120
	50	1900	1750	1500	1220	980

Параметри групи АБ визначаються з урахуванням кількості батарей у групі, що з'єднані послідовно $m_{\delta c}$ і паралельно $m_{\delta n}$, або загальної кількості батарей $m_{\delta} = m_{\delta c} m_{\delta n}$. Тоді напруга та струм групи батарей будуть відповідно становити:

$$U_{\delta} = U_{\delta 1} m_{\delta c} = m_{\delta c} (U_{\delta 01} - I_{\delta 1} R_{\delta 1}), \text{ В та } I_{\delta} = I_{\delta 1} m_{\delta n}, \text{ А.} \quad (3.4)$$

Звідси, потужність групи акумуляторних батарей:

$$P_{\delta} = U_{\delta} I_{\delta} = U_{\delta 1} m_{\delta c} I_{\delta 1} m_{\delta n} = P_{\delta 1} m_{\delta} \text{ Вт.} \quad (3.5)$$

Величина ємності групи АБ рівна добутку номінальної ємності однієї батареї $C_{\delta n1}$ на кількість паралельно з'єднаних батарей $m_{\delta n}$:

$$C_{\delta} = C_{\delta 1} m_{\delta n} = I_{10} t_p m_{\delta n} \text{ Аг,} \quad (3.6)$$

де I_{10} – величина струму 10-годинного режиму розряду АБ, А; t_p – тривалість розряду, год.

Залежність величини потужності однієї батареї від величини розрядного струму виражається симетричною параболою, як показано на рисунку 3.1, що перетинає вісь абсцис в початку координат, при $I_{\delta} = 0$, та при струмі короткого замикання $I_{\delta \kappa}$. Ця залежність являє собою квадратне рівняння, яке може бути записане так:

$$P_{\delta 1} = A(I_{\delta 1} - I_{\delta 1}^*)(I_{\delta 1} - I_{\delta 2}^*) = A I_{\delta 1} (I_{\delta 1} - I_{\delta \kappa}) \text{ Вт,} \quad (3.7)$$

де $I_{\delta 1}^* = 0$ та $I_{\delta 2}^*$ – корені квадратного рівняння, А.

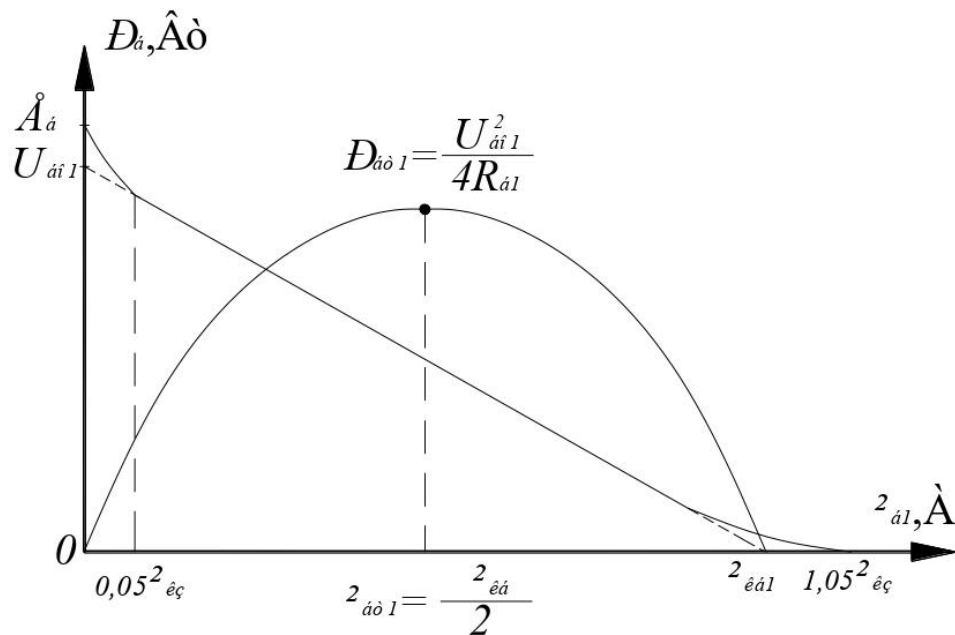


Рисунок 3.1 – Залежність потужності акумуляторної батареї від струму розряду.

Тоді, аналіз цього рівняння на максимум дає можливість визначити величину коефіцієнта $A = -\frac{4P_{\delta 1}}{I_{\kappa \delta 1}^2}$ та записати його в наступному вигляді:

$$P_{\delta 1} = P_{\delta 1} \frac{4I_{\delta 1}(I_{\kappa \delta 1} - I_{\delta 1})}{I_{\kappa \delta 1}^2} = P_{\delta 1} \frac{4I_{\delta 1}}{I_{\kappa \delta 1}} \left(1 - \frac{I_{\delta 1}}{I_{\kappa \delta 1}}\right) = P_{\delta 1} \eta_{\delta 1} \text{ Вт}, \quad (3.8)$$

де $\eta_{\delta 1} = \frac{4I_{\delta 1}}{I_{\kappa \delta 1}} \left(1 - \frac{I_{\delta 1}}{I_{\kappa \delta 1}}\right)$ – коефіцієнт корисної дії акумуляторної батареї.

Підставляючи значення величин напруги початку розряду АБ та струму короткого замикання в розглянуті вище рівняння параметрів АБ, можна отримати їх значення для будь-яких температурних умов та степені зарядженості від $+20^\circ\text{C}$ до -20°C та від $C_s = 50\%$ до $100\% C_{\delta 1}$.

Ці значення параметрів необхідні для розрахунку тривалості безперебійного живлення електроспоживачів КЕВВУ при відсутності вітру, коли АБ є єдиним джерелом живлення.

Визначення тривалості безперервного процесу автономного живлення електроспоживачів від АБ КЕВВУ полягає в розрахунку кількості годин часу, протягом якого повністю заряджені АБ першої групи, що була підключена до випрямляча напруги та автоматично переключена до інвертора напруги для живлення електроспоживачів при зникненні вітру, забезпечать надійне живлення електроспоживачів струмом розряду АБ, що відповідає потужності споживачів. При цьому, процес розряду триває до досягнення допустимого степеня розрядженості, рівного 70% від номінальної ємності, при якій блок системи керування (СК) за сигналом датчика розряду (БЗ) відключає цю групу від інвертора напруги. Для розрахунку тривалості процесу розряду батарей необхідно визначити величину струму розряду АБ, при якій забезпечується живлення електроспоживачів потрібною потужністю з урахуванням ККД інвертора напруги та напруги початку розряду групи АБ із заданою температурою електроліту та ємністю накопиченої в цій групі АБ електроенергії, яку АБ спроможні віддати електроспоживачам з урахуванням мінімально-допустимого степеня зарядженості.

Величина струму розряду акумуляторної батареї:

$$I_{\delta} = \frac{P_{cn} 10^{-3}}{\eta_{a1n} U_{\delta 01} m_{\delta c}} \text{ А}, \quad (3.9)$$

де P_{cn} – потужність електроспоживачів, ВА; $\eta_{ain} \approx 0,9$ – ККД автономного інвертора напруги; $U_{\delta 01}$ – напруга початку розряду АБ, В; $m_{\delta c}$ – кількість послідовно з'єднаних АБ, шт.

Ємність накопиченої електроенергії першої групи АБ, що може бути використана при живленні електроспоживачів, становить:

$$C_{\delta} = k_c C_{\delta 1} m_{\delta n} A \cdot 20d, \quad (3.10)$$

де $k_c = \frac{100\% - 30\%}{100\%} = 0,7$ – коефіцієнт допустимих втрат ємності АБ при розряді;

$C_{\delta 1}$ – номінальна ємність однієї акумуляторної батареї, А·год; $m_{\delta n}$ – кількість батарей групи, з'єднаних паралельно, шт.

При визначенні тривалості електроживлення у формулу (3.1) підставляються величини $U_{\delta 01}$ із таблиці 3.1 або графічної залежності рисунок 3.2. Значення величин $I_{k\delta 1}$ використовуються при визначенні максимальної

потужності АБ та внутрішнього опору згідно $P_{\delta 1m} = \frac{U_{\delta 01}^2}{4R_{\delta 1}}$, де $R_{\delta 1}$ – внутрішній електричний опір АБ для відповідних значень t_{el} та C_3 .

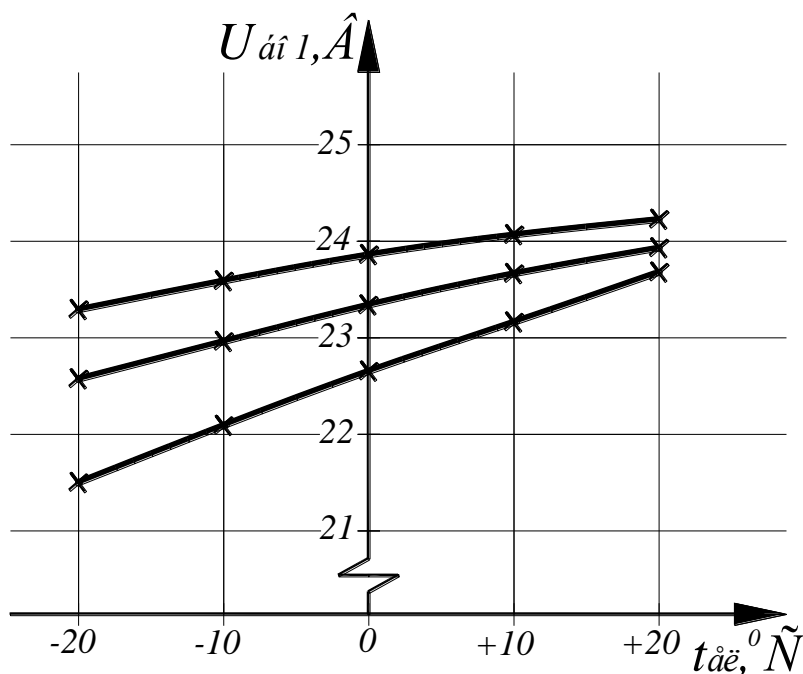


Рисунок 3.2 – Залежності напруги початку розряду акумуляторної батареї від температури електроліту.

Як відомо, номінальна ємність АБ $C_{\delta 1n}$ визначається при $t_{el} = +20 \text{ }^\circ\text{C}$ та її розряді струмом 10-годинного режиму розряду I_{10} . При збільшенні розрядного струму ємність АБ зменшується обернено пропорційно кореню кубічному від співвідношення діючого струму розряду I_{δ} до струму 10-годинного режиму розряду $I_{10} : \left(\sqrt[3]{\frac{I_{\delta}}{I_{10}}} \right)$. Крім того по мірі зниження температури електроліту на

$1K(1^\circ\text{C})$ номінальна ємність знижується в середньому на $1\% C_{\delta 1n}$, а тому ємність АБ при температурі T_i буде дорівнювати $C_{\delta i} = \frac{C_{\delta 1n}(1-0,01T_i)}{\sqrt[3]{\frac{I_{\delta}}{I_{10}}}}$. Тоді тривалість процесу

розряду першої групи АБ, при живленні електроспоживачів становитиме:

$$\tau_p = \frac{C_{\delta i}}{I_{\delta} k_p} = \frac{C_{\delta 1n} k_c m_{\delta n}}{I_{\delta} k_p} \text{ год}, \quad (3.11)$$

де $C_{\delta p} = C_{\delta 1n} k_c m_{\delta n}$ – ємність групи АБ, що може бути витрачена при розряді від $C_{\delta} = 100\%$ до $C_{\delta} = 70\%$ ($k_c = 0,7$) при ємності однієї АБ марки 12СТ-85Р $C_{\delta 1} = 85 \text{ А} \cdot \text{год}$;

$I_{\delta} = \frac{P_{cn} \cdot 10^3}{\eta_{ain} U_{\delta 01} m_{\delta c}}$, А – величина струму розряду групи АБ при живленні

електроспоживачів потужністю $P_{cn} 10^3$ та напрузі початку розряду $U_{\delta 01} m_{\delta c}$;

$k_p = \sqrt[3]{\frac{I_{\delta}}{I_{10} m_{\delta n}}}$ – коефіцієнт режиму розряду групи акумуляторних батарей при $I_{\delta} > I_{10}$.

Слід враховувати той факт, що під час зниження швидкості вітру до нуля ($U_z = 0$) АБ другої групи, яка була під'єднана до інвертора та функціонувала паралельно з випрямлячем електрогенератора при живленні споживачів, зберегли значну частку ємності, принаймні $70..75\% C_{ном}$, а тому вони забезпечать живлення електроспоживачів до досягнення допустимого ступеня розряду, рівному $70\% C_{ном}$, тобто додадуть до 70% ємності, що може віддати споживачам перша повністю заряджена група АБ, ще $5\% C_{ном}$. Тоді, можна прийняти коефіцієнт втрати ємності рівним $k_c = 0,75$.

Визначення тривалості безперебійного живлення електроспоживачів від акумуляторних батарей КЕВВУ при відсутності вітру та змінних зовнішніх

проводиться за формулою:

$$\tau_p = \frac{C_{\delta 1n} [1 - 0,01(293 - T_{елі})] m_{\delta n} k_c}{\frac{P_{cnj} \cdot 10^3}{\eta_{aін} U_{\delta 01} m_{\delta c}} \cdot \sqrt[3]{\frac{I_{\delta}}{I_{10} m_{\delta n}}}} = \frac{C_{\delta i}}{I_{\delta j} k_p} \text{ год}, \quad (3.12)$$

де $T_{елі}$ – i -й варіант абсолютної температури електроліту АБ, K ; P_{cnj} – j -й варіант загальної активної потужності електроспоживачів, kBm ; k_c – коефіцієнт витрати ємності АБ, рівний для двох груп АБ $k_c = 0,75$.

Використовуючи запропоновану методику, було виконано розрахунки необхідних розрахункових параметрів та визначено імовірну тривалість безперервного живлення споживачів від двох 48-вольтових груп АБ марки 12СТ-85Р ВЕУ при активній потужності електроспоживачів, рівній 20; 50; 100; 500; 750 і 1000 Bm та температурі електроліту АБ, рівній $+20^{\circ}C$; $+10^{\circ}C$; $0^{\circ}C$; $-10^{\circ}C$ і $-20^{\circ}C$. При цьому було розглянуто три варіанти кількісного складу груп АБ:

- 1) при загальній кількості АБ групи $m_{\delta} = 4$ ($m_{\delta n} = m_{\delta c} = 2$);
- 2) при $m_{\delta} = 6$ ($m_{\delta n} = 3$, $m_{\delta c} = 2$);
- 3) при $m_{\delta} = 8$ ($m_{\delta n} = 4$, $m_{\delta c} = 2$).

Таблиця 3.2 – Величина струму розряду акумуляторної батареї

$P_{cn},$ Bm	Величини струму розряду (I_{δ}, A), при температурі електроліту АБ ($t_{ел}, ^{\circ}C$)				
	$+20^{\circ}C$	$+10^{\circ}C$	$0^{\circ}C$	$-10^{\circ}C$	$-20^{\circ}C$
20	0,4591	0,4688	0,4769	0,4831	0,4938
50	1,1478	1,1721	1,1922	1,2077	1,2346
100	2,2957	2,3441	2,3844	2,4155	2,4691
500	11,4784	11,7206	11,9218	12,0773	12,3457
750	17,2176	17,5809	17,8827	18,1159	18,5185
1000	22,9568	23,4412	23,8436	24,1546	24,6914

В процесі розрахунку були визначені: величини загального струму розряду АБ $I_{\delta ij}$ в залежності від температури електроліту та потужності споживачів; величини витрат ємності АБ $C_{\delta ij}$ в залежності від тих же умов та величини можливого часу безперервного живлення споживачів при всіх варіантах складу групи АБ та витрат їх ємності. Числові значення основних розрахункових величин надано в таблицях 3.2, 3.3, 3.4.

Як видно із таблиці 3.2, величини струму розряду АБ значно перевищують величину струму 10-годинного режиму розряду ($I_{10} = 8,5 \text{ A}$), що веде до збільшення коефіцієнту k_p та зменшення витрат ємності АБ. Значення коефіцієнта зменшення витрат ємності k_p надано разом з величиною цих витрат ємності в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Величина витрат ємності акумуляторної батареї та k_p

$m_{\delta},$ <i>шт</i>	$P_{ен},$ <i>Вт</i>	Величини витрат ємності ($C_{\delta, A \cdot \text{год}}$) та k_p при температурі електроліту ($t_{ен}, ^\circ\text{C}$)									
		$+20^\circ\text{C}$		$+10^\circ\text{C}$		0°C		-10°C		-20°C	
		$C_{\delta, A \cdot \text{год}}$	k_p	$C_{\delta, A \cdot \text{год}}$	k_p	$C_{\delta, A \cdot \text{год}}$	k_p	$C_{\delta, A \cdot \text{год}}$	k_p	$C_{\delta, A \cdot \text{год}}$	k_p
$m_{\delta 1} = 4$ ($m_{\delta n} = 2$)	20	426	0,3	380	0,3	336	0,3	293	0,31	249	0,31
	50	314	0,41	280	0,41	248	0,41	216	0,41	184	0,42
	100	249	0,51	222	0,52	197	0,52	171	0,52	146	0,53
	500	146	0,88	130	0,88	115	0,89	100	0,89	85	0,9
	750	127	1,0	114	1,01	100	1,02	88	1,02	76	1,03
	1000	116	1,11	103	1,11	91	1,12	80	1,12	68	1,13
$m_{\delta 2} = 6$ ($m_{\delta n} = 3$)	20	731	0,26	653	0,26	577	0,27	503	0,27	428	0,27
	50	538	0,36	481	0,36	426	0,36	371	0,36	316	0,36
	100	427	0,45	382	0,45	338	0,45	294	0,46	251	0,46
	500	250	0,77	223	0,77	198	0,78	172	0,78	147	0,79
	750	218	0,88	195	0,88	173	0,89	150	0,89	128	0,9
	1000	198	0,97	177	0,97	157	0,98	137	0,98	116	0,99
$m_{\delta 3} = 8$ ($m_{\delta n} = 4$)	20	1072	0,24	959	0,24	847	0,24	739	0,24	629	0,24
	50	790	0,32	706	0,33	624	0,33	544	0,33	463	0,33
	100	627	0,41	561	0,41	496	0,41	432	0,41	368	0,42
	500	367	0,7	328	0,7	290	0,71	253	0,71	215	0,71
	750	320	0,8	286	0,8	253	0,81	221	0,81	188	0,82
	1000	291	0,88	260	0,88	230	0,89	200	0,89	171	0,9

Надані в таблицях 3.2 і 3.3 величини допустимих витрат ємності АБ, коефіцієнта k_p та струму їх розряду дають можливість визначити згідно рівняння (3.12) можливу тривалість розряду АБ τ_p при автономному живленні електроспоживачів. Отримані результати розрахунку тривалості розряду акумуляторних батарей надано в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Величина тривалості розряду акумуляторної батареї при живленні електроспоживачів

$P_{cn},$ Вт	$m_0,$ шт	Величини тривалості розряду ($\tau_p, год$) при температурі електроліту ($t_{el}, ^\circ C$)				
		$+20^\circ C$	$+10^\circ C$	$0^\circ C$	$-10^\circ C$	$-20^\circ C$
20	4	927	811	705	607	505
	6	1592	1393	1211	1042	867
	8	2336	2045	1777	1529	1273
50	4	273	239	208	179	149
	6	469	411	357	307	256
	8	688	603	524	451	375
100	4	108	95	82	71	59
	6	186	163	142	122	101
	8	273	239	208	179	149
500	4	13	11	10	8	7
	6	22	19	17	14	12
	8	32	28	24	21	17
750	4	7	6	6	5	4
	6	13	11	10	8	7
	8	19	16	14	12	10
1000	4	5	4	4	3	3
	6	9	8	7	6	5
	8	13	11	10	8	7

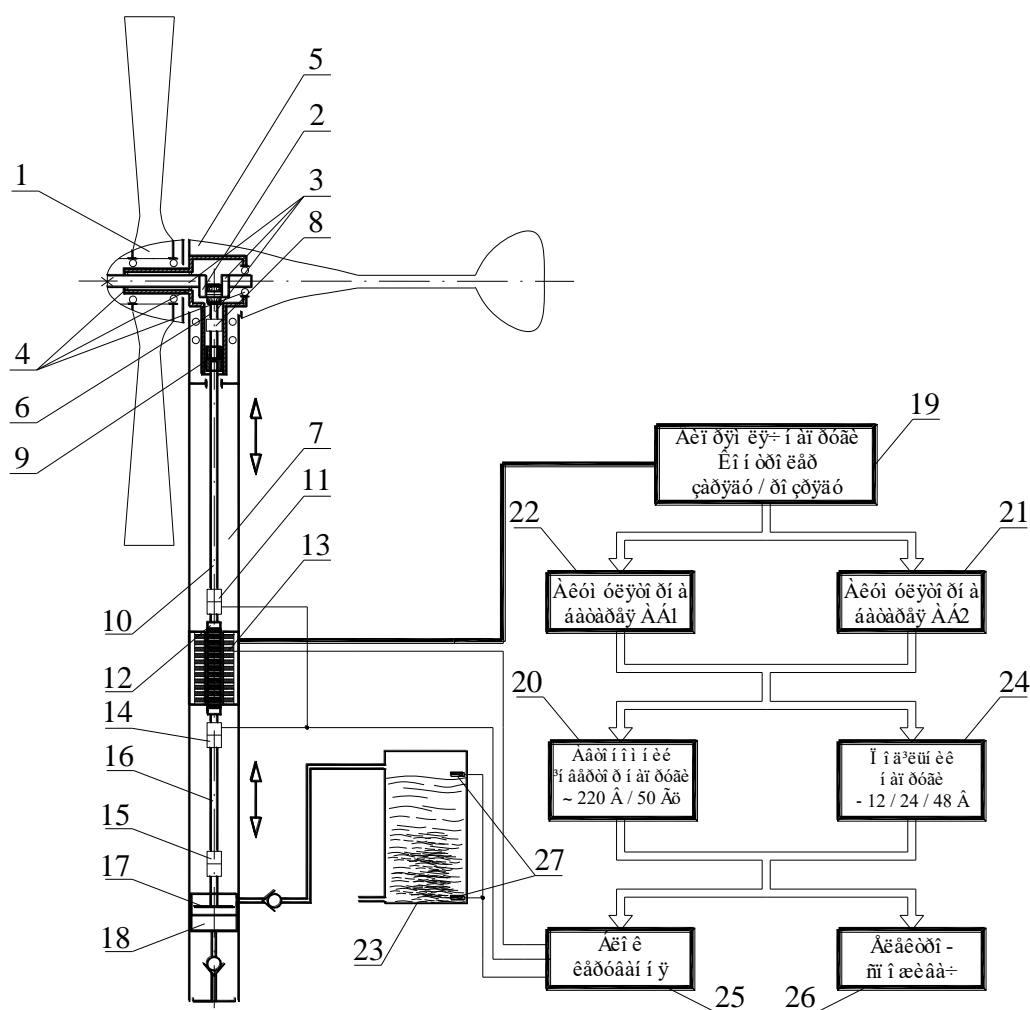
Аналіз результатів розрахунку тривалості розряду АБ КЕВВУ при живленні електроспоживачів при відсутності вітру показує, що акумуляторні батареї у комплексі КЕВВУ можуть забезпечити безперебійне живлення споживачів протягом тривалого часу при потужності споживачів не більше одного кіловата.

У зв'язку з обмеженням часу автономного живлення електроспоживачів, потужністю 1 кВт , часом від 3 до 13 годин, рекомендується для забезпечення безперебійного живлення електроспоживачів протягом заданого часу, під час відсутності вітру, підключати до АБ найбільш важливі електроспоживачі потужністю до 1 кВт , при одночасному збільшенні кількості АБ до $6..8$ шт.

Принцип використання двох груп акумуляторних батарей реалізовано на рисунку 3.3, де на принциповій функціонально-кінематичній схемі КЕВВУ, крім відомих блоків і позначень введено нові: 21, 22 – групи акумуляторних батарей АБ1 і АБ2; 24 – подільник напруги для електроспоживачів постійної напруги; 25 – блок керування електромагнітними муфтами 11, 14, що з'єднують індуктор МЕЛГ з

осердям кривошипно-шатунного механізму та штоком поршневого насоса; 27 – датчики верхнього і нижнього рівня води, що розташовані у резервуарі накопичувачі води 23.

Алгоритм керування подано на рисунку 3.4, в якому враховані наступні випадки роботи системи: 1 – при початку роботи АБ1 і АБ2 розряджені нижче 70 % номінальної ємності; 2 – при початку роботи АБ1 і АБ2 заряджені до 100 % номінальної ємності; 3 – при початку роботи АБ1 розряджена нижче 70 % номінальної ємності, а АБ2 заряджена до 100 % номінальної ємності; 4 – при початку роботи АБ2 розряджена нижче 70 % номінальної ємності, а АБ1 заряджена до 100 % номінальної ємності; 5 – при початку роботи резервуар-накопичувач води заповнений; 6 – при початку роботи резервуар-накопичувач води порожній.



Рисунки 3.3 – Принципова функціонально-кінематична схема КЕВВУ з двома групами акумуляторних батарей і датчиками верхнього та нижнього рівня води.

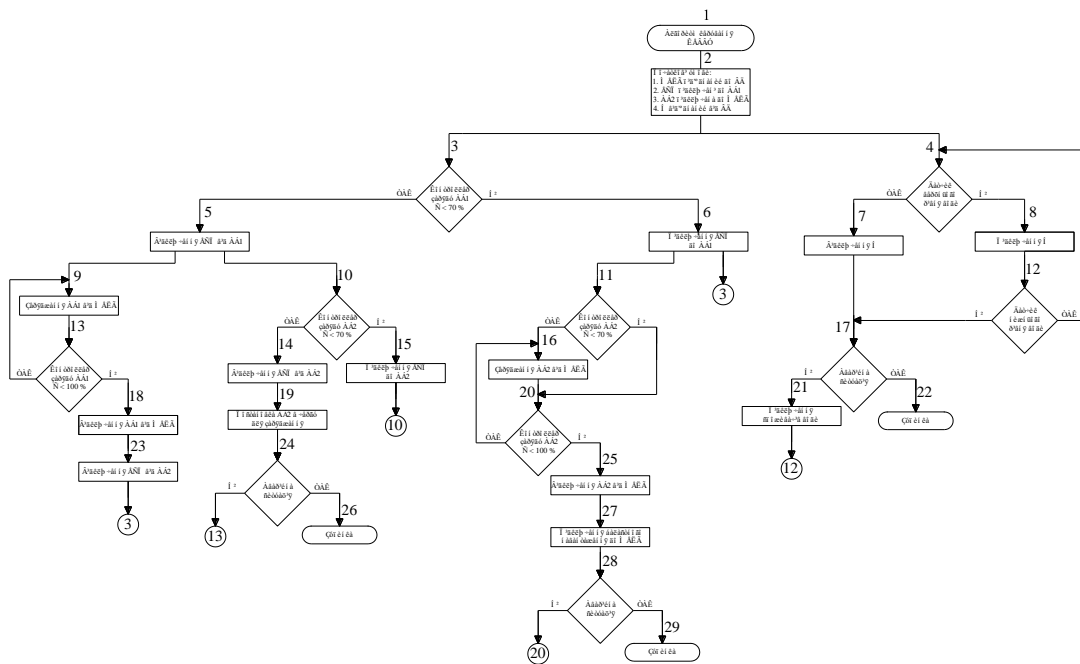


Рисунок 3.4 – Алгоритм автономного функціонування електротехнічної системи комбінованої електроводопостачальної вітроустановки.

3.2 Дослідження енергетичних характеристик магнітоелектричного лінійного генератора зворотно-поступального руху

Важливою частиною роботи є встановлення залежностей енергетичних параметрів магнітоелектричного лінійного генератора зворотно-поступального руху з урахуванням динамічних процесів електроспоживання. Отже, проведемо з використанням моделі МЕЛГ дослідження ефективності енерго-перетворення механічної енергії зворотно-поступального руху в електро-енергію.

Результати розрахунку напруги холостого ходу на виводах фазної обмотки статора (u_a, u_b, u_c), при коливанні індуктора із механічною частотою $f_r = 5 \text{ Гц}$ та амплітудою $A = \tau/2$, наведені на рисунку 3.5. Значення амплітуди коливань індуктора $A = \tau/2$ вибрано з врахуванням того, що за умови меншої амплітуди коливань індуктора $A < \tau/2$ відбувається зниження електрорушійної сили в обмотках електрогенератора через зменшення перепаду магнітного потоку, а у випадку великої амплітуди, коли $A > \tau/2$, має місце складний полігармонічний закон зміни форми напруги у часі із складом значної кількості гармонік, як високих так і низьких. Величина механічної частоти $f_r = 5 \text{ Гц}$ стосовно до комбінованої

електроводопостачальної вітроустановки визначається вибором малої розрахункової швидкості обертання валу вітродвигуна з наступним перетворенням у лінійну швидкість коливань індуктора електрогенератора.

Як видно із рисунка 3.5, форма напруги в обмотці фази A наближена до синусоїдальної. Характерною особливістю для даного випадку є те, що електрична частота напруги фази A рівна подвоєній механічній частоті $f_e = 2f_r = 10 \text{ Гц}$.

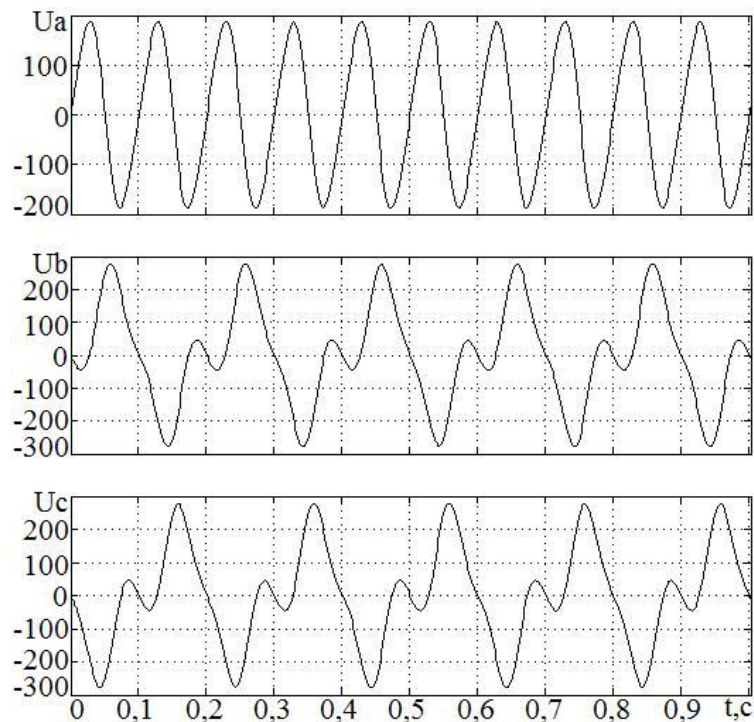


Рисунок 3.5 – Залежності напруги холостого ходу на виводах фазної обмотки статора (u_a, u_b, u_c), при коливанні індуктора із механічною частотою $f_r = 5 \text{ Гц}$ та амплітудою $A = \tau/2$.

Це викликано тим, що за час одного періоду механічних коливань індуктора $T_r = 1/f_r$, величина магнітного потоку, зчепленого з обмоткою статора, проходить послідовно через наступні значення: $\Phi_{max} - 0 - \Phi_{max} - 0 - \Phi_{max}$. Тобто, величина потоку за цей час двічі повторює одні і ті ж значення, що призводить до подвоєння електричної частоти напруги (по відношенню до механічної частоти коливань індуктора).

Напруга в обмотках фаз B та C характеризується електричною частотою, рівною механічній частоті коливань індуктора – $f_e = f_r = 5 \text{ Гц}$ і характеризується зсувом у просторі на величину $\frac{2\pi}{3}$ і $\frac{4\pi}{3}$ відносно фази A , відповідно. Рівність частот

для цього випадку обумовлена тією обставиною, що за час одного періоду механічних коливань індуктора $T_r = 1/f_r$, магнітний потік, що пронизує обмотку статора, проходить послідовно через наступні значення: $\Phi_0 - \Phi_{max} - \Phi_{min} - \Phi_0$, тобто період зміни потоку рівний періоду механічних коливань індуктора. Амплітудне значення напруги холостого ходу у цих фазах вище, ніж у фазі А, а їх значення співставляються як 300 В (для фаз В і С) та 200 В (для фази А).

Враховуючи, що реактивний опір досліджуваного електрогенератора великий, то для компенсації його реактивної потужності застосовано ємність – в якості прикладу розглянуто випадок ввімкнення ємності послідовно з навантаженням.

Отримана розрахункова залежність повної потужності трифазного електрогенератора $P = P_a + P_b + P_c$, що рівна сумі потужностей у трьох активних опорах навантаження, від величини компенсуючої ємності C/C_0 ($C_0 = 1/(\omega_r^2 L_0)$), де $\omega_r = 2\pi f_r$, показана на рисунку 3.6. Тут припускалося, що незважаючи на різну частоту напруги і струму у фазах, величина ємності у всіх фазах однакова і рівна C .

Із результатів рисунка 3.6 випливає, що оптимальне значення ємності становить $C^* = 0,245\text{ мФ}$.

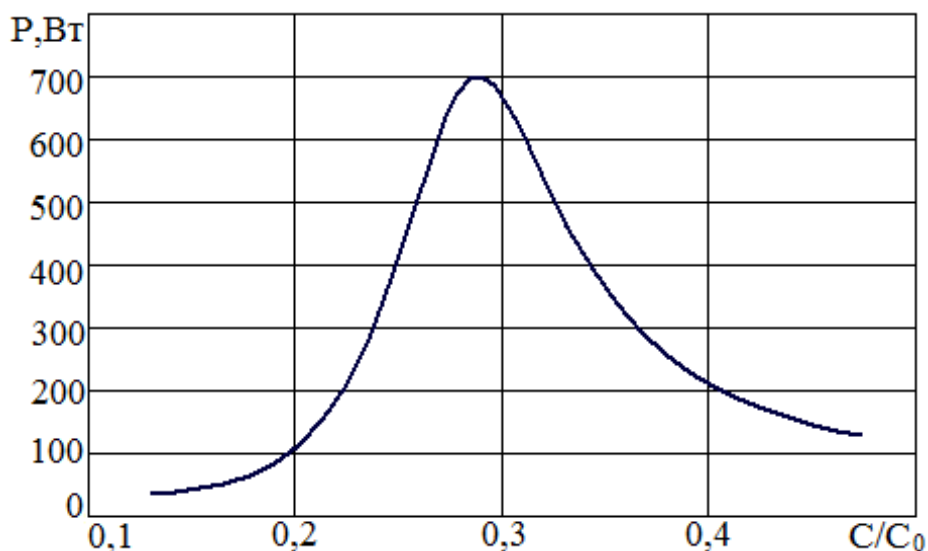


Рисунок 3.6 – Залежність повної потужності трифазного магніто-електричного лінійного генератора від величини компенсуючої ємності.

Зміна в часі потужності у навантаженні кожної фази наведена на рисунку 3.7.

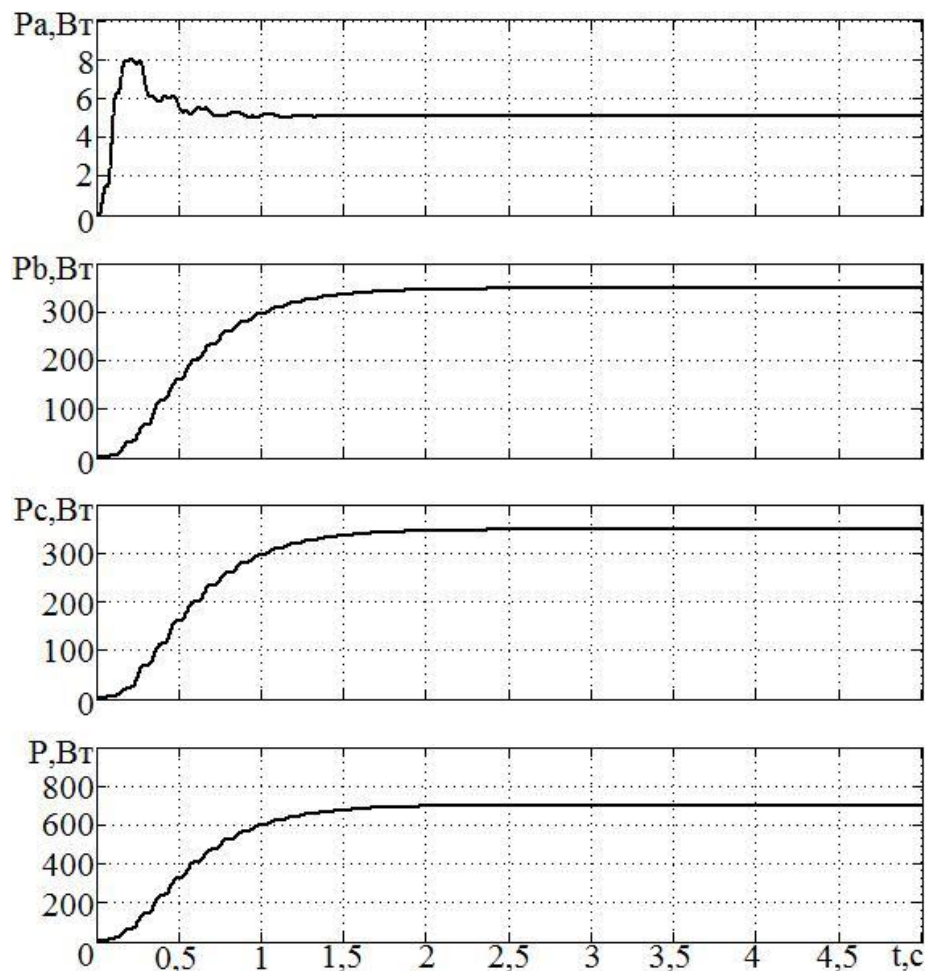


Рисунок 3.7 – Залежності повної потужності трифазного магнітоелектричного лінійного генератора кожної фази окремо та трьох фаз разом від зміни у часі.

Усереднена потужність у фазі B і C при виході на усталений режим становить $348,1 \text{ Вт}$ і значно перевищує потужність у навантаженні фази A , що становить лише $5,1 \text{ Вт}$. Повна потужність у трьох фазах при цьому рівна $P = 701,3 \text{ Вт}$. Мале значення потужності у навантаженні фази A обумовлено тим, що електрична частота в обмотці фази A рівна $f_e = 2f_r = 10 \text{ Гц}$ і відрізняється від електричної частоти обмоток фаз B і C , рівної $f_e = f_r = 5 \text{ Гц}$. Враховуючи описане, оптимальне значення ємності фази A повинно відрізнитися від ємності фаз B і C .

Враховуючи вищенаведений матеріал доцільно розглянути наступну задачу визначення оптимального значення ємності C_A , яку необхідно ввімкнути у фазу A для отримання максимальної потужності у навантаженні. При цьому вважається, що ємність у фазах B і C залишається без змін.

Отримана розрахункова залежність $P(C_A)$ наведена на рисунку 3.8. Тут величина базової C_0 розрахована як $C_0 = 1 / ((2\omega_r)^2 L_0)$ із-за ефекту подвоєння частоти у цій фазі.

Із рисунка 3.8 випливає, що оптимальна ємність фази A становить $C_A^* = 0,044$ мФ, у той час як оптимальна ємність в інших фазах рівна $C_B^* = C_C^* = 0,245$ мФ.

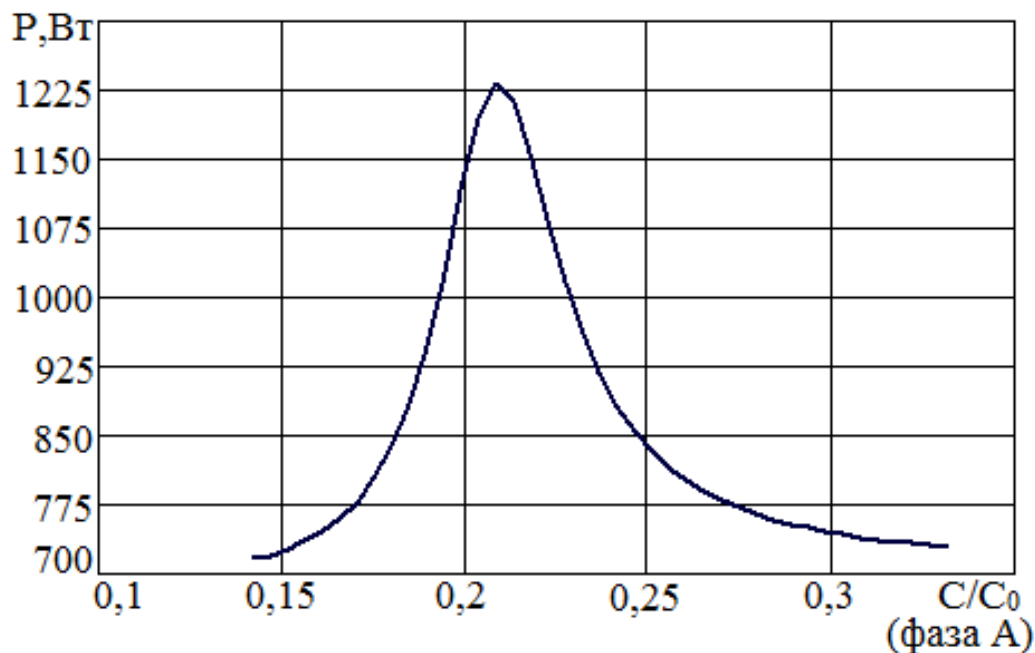


Рис. 3.8 – Залежність потужності фази A магнітоелектричного лінійного генератора від величини компенсуючої ємності.

Отримані розрахункові значення потужності в активному навантаженні кожної фази при оптимальних значеннях ємностей наведені на рисунку 3.9. Із результатів розрахунку слідує, що при такому підході, а саме коли використовуються різні ємності у кожній фазі, величина активної потужності у фазі A зростає до 359 Вт, при цьому потужності у фазах B і C рівні по $436,5$ Вт. Повна потужність, що виділяється у навантаженні, становить 1232 Вт.

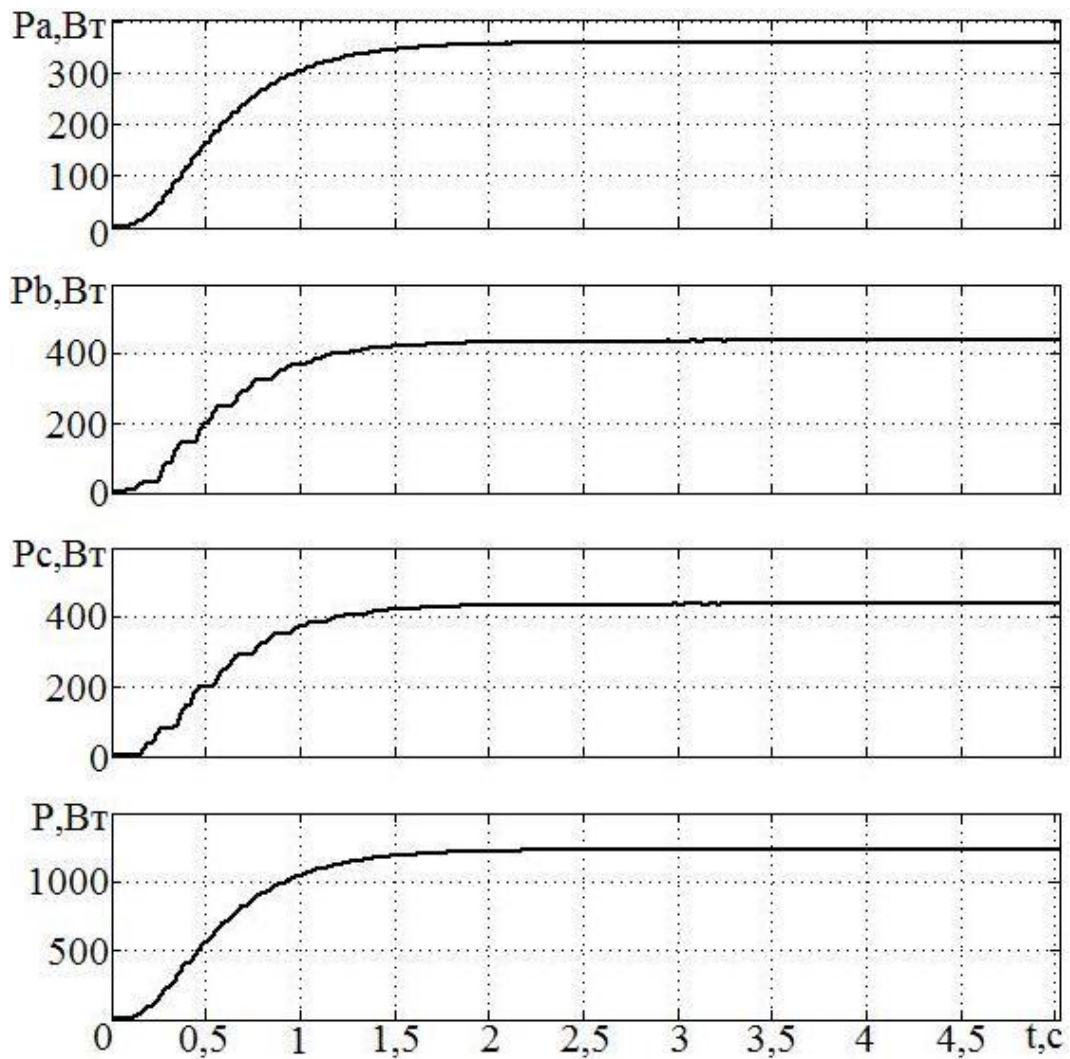


Рисунок 3.9 – Залежності повної потужності трифазного магнітоелектричного лінійного генератора кожної фази окремо та трьох фаз разом при оптимальному значенні ємності від зміни у часі.

Форма фазної напруги у режимі холостого ходу ($U_{ХХ}$) і під навантаженням (U_H), а також фазних струмів при ввімкненні оптимальних ємностей у фазах показані на рисунку 3.10. Амплітудні значення фазних напруг і струмів у цьому випадку наближено рівні 120 В і 10 А , відповідно.

Аналізуючи наведені розрахункові залежності однофазної і трифазної потужності, що віддається у навантаження магнітоелектричним лінійним генератором, потрібно зробити висновок про очевидну ефективність використання електрогенератора у трифазному виконанні.

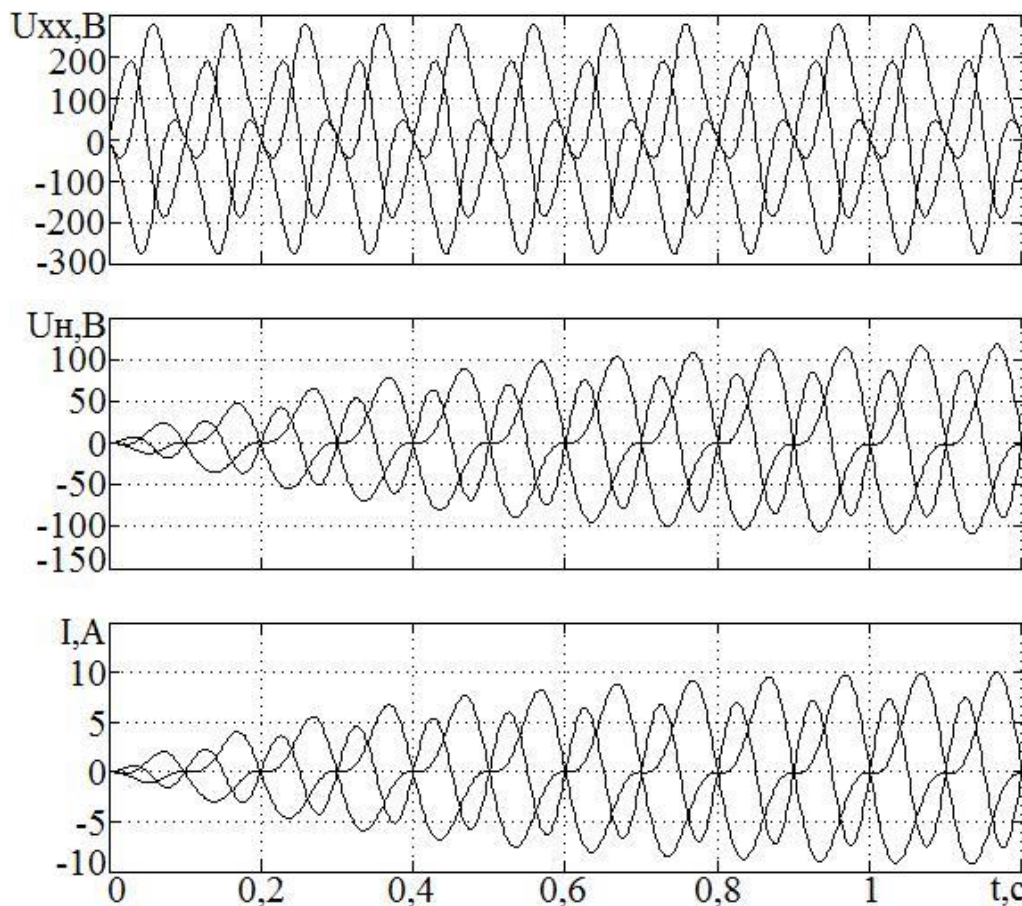


Рисунок 3.10 – Залежності напруги холостого ходу, напруги під навантаженням та струму трифазного магнітоелектричного лінійного генератора від зміни у часі.

Це обумовлено тим, що при однаковій механічній частоті коливань індуктора $f_r = 5 \text{ Гц}$, потужність однофазного і трифазного електрогенераторів співставляються, як 350 Вт і 1230 Вт , відповідно.

Також варто відмітити, що у випадку трифазного виконання магнітоелектричного лінійного генератора із-за розглянутої вище особливості, а саме, відмінності електричних частот і гармонічних складових у кожній фазі, існує необхідність визначення оптимального значення ємності для кожної фази окремо. При роботі електрогенератора із частотою механічних коливань індуктора, що змінюються у часі, необхідно здійснювати плавну або ступінчасту зміну величини ємності у кожній фазі окремо для того, щоб її значення наближалось до оптимального, розрахованого залежно від частоти.

3.3 Розрахунок техніко-економічної ефективності впровадження КЕВВУ

При порівнянні собівартості електроенергії необхідно мати базовий варіант електропостачання.

Порівняємо собівартість електроенергії за варіантом базової вітро-установки і за запропонованим варіантом розробленим у кваліфікаційній роботі.

Як базову розглядаємо вітроенергетичну установку малої потужності ВЕУ-075, призначену для безперебійного забезпечення електроенергією автономних споживачів потужністю до 1,2 кВт. Її основними функціями є накопичення енергії, що виробила ВЕУ, в акумуляторній батареї, контроль за станом АБ і дотримання режимів роботи, що забезпечують подовження термінів експлуатації АБ при зберіганні їх споживчих властивостей, перетворення нагромадженої в АБ енергії з постійного струму в змінний; підзарядка АБ від мережі за відсутності вітру. Базовий варіант ВЕУ-075, єдиний серед побутових вітроустановок в Україні, який успішно пройшов державні приймальні випробування, в тому числі за надійністю, енергетичними показниками, відповідає вимогам ССБП (система стандартів безпеки праці) щодо шуму, вібрації, інфра- та ультразвуку. Установка працює за швидкості вітру 3 м/с, номінальна потужність досягається при 7 м/с. Середнє вироблення електроенергії становить від 4000 Вт·год за добу, за рік близько 2000 кВт·год і залежить від висоти щогли, а також від реального вітропотенціалу.

У зв'язку з низькою середньорічною швидкістю вітру на території України, подача води вітронасосною установкою з тихохідним ротором повинна починатися при швидкості вітру від 2,3 м/с, але при наявності інтенсивних вітрових режимів такі установки працюють з низьким коефіцієнтом завантаження вітродвигуна, що дозволяє використати до 520 кВт·год/рік від технічно-досяжного потенціалу вітру. Для швидкості вітру від 4,5 м/с придатні більш швидкохідні вітродвигуни, що нездатні ефективно працювати при низьких швидкостях вітру.

Вихідні дані до розрахунку інвестицій та його результати зведені в таблиці 3.5, 3.6, 3.7. При розрахунку прийнятий коефіцієнт монтажу при базовому і запропонованому варіанті $k_m = 1,2$. Ціни на обладнання прийняті за даними рекламних проспектів, прайс-листів заводів виробників, періодичних комерційних

видань.

Таблиця 3.5 – Розрахунок вартості деталей і покупних виробів для реалізації проекту

Найменування елементів	Од. вим.	Кількість	Ціна одиниці, грн.	Загальна вартість, грн.
Вітродвигун в корпусі	1	1	3000	3000
Електричний генератор	шт	1	690	690
Блок керування			1000	1000
Акумулятор	шт	8	1045	8360
Трос	м	21	6,7	140,7
Кріпильні матеріали	шт	1	96	96
Контур заземлення	шт	1	363,3	363,3
Провід ВВГ	м	25	12	300
Провід ВВГнг	м	10	5	50
Разом				14000

Таблиця 3.6 – Розрахунок початкових інвестицій

Показники	Варіанти	
	базовий	пропонований
Вартість обладнання, грн.	18000	14000
Коефіцієнт монтажу	1,2	1,2
Капіталовкладення, грн.	21600	16,8

Таблиця 3.7 – Послідовність розрахунку експлуатаційних витрат і сумарні витрати

Показники	Варіанти	
	базовий	пропонований
Капіталовкладення, грн.	21600	16,8
Експлуатаційні витрати, грн.	2386,5	1212,5
Собівартість виробленої електроенергії, грн. кВт·год.	0,80	0,35

Таблиця 3.8 – Техніко-економічні показники проекту

Найменування показника	Варіант	
	базовий	пропонований
Капітальні вкладення, тис. грн.	21,6	16,8
Річні експлуатаційні витрати, тис. грн.	28,6	14,5
Собівартість виробництва електроенергії, грн / кВт·год	0,80	0,35
Середнє річне вироблення електричної енергії кВт·год/рік	3000	3620
Індекс прибутковості	-	1,4
Термін окупності, роки	-	8

3.4 Висновки до розділу 3

1. Розраховано тривалість безперервного живлення від акумуляторних батарей марки 12СТ-85Р електроспоживачів потужністю до 1 кВт в залежності від кількості АБ в групі та температури електроліту, зокрема при кількості АБ ($m_0 = 4 \text{ шт}$) тривалість живлення буде становити від 3 до 5 годин, при ($m_0 = 6 \text{ шт}$) – від 5 до 9 годин, а при ($m_0 = 8 \text{ шт}$) – від 7 до 13 годин.

2. Запропоновано методика аналізу балансу потужностей комбінованої електроводопостачальної вітроустановки на основі розрахунку величин вхідних та вихідних потужностей, її окремих функціональних вузлів та установки в цілому, може бути покладена в основу науково-методичної бази дослідження КЕВВУ та дозволить визначати її основні енергетичні параметри.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Правила безпеки при експлуатації електроводопостачальних систем

Перед пуском електроводопостачальної установки в роботу, необхідно перевірити справність захисних кожухів: шестерень, з'єднувальних муфт і насосних передач. Перевірити наявність мастила в редукторах, масляних ваннах, підшипникових коробках, переконатись в надійності кріплення насосів та двигунів до рам і фундаментів. Вітроустановка має бути надійно закріплена на опорах. Для безпечної експлуатації вітроустановки повинен забезпечуватись весь комплекс технічних умов по догляду за електротехнічною та механічною частинами, як у процесі роботи так і неробочі періоди.

Під час роботи електроводопостачальної вітроустановки не дозволяється усувати будь-які дефекти, знімати або надягати приводні ремені, проводити будь-які монтажні і обслуговуючі роботи.

До обслуговування трубчастих колодязів допускаються працівники, що мають спеціальну підготовку по монтажу і вміють поводитися з вантажно-підйомними пристроями та механізмами, всі монтажні-демонтажні роботи на глибоководних установках повинні проводитися під керівництвом досвідчених спеціалістів. Застосовані для монтажних робіт підйомні механізми, троси тощо за своєю вантажопідйомністю повинні відповідати вазі монтованих установок і завжди бути справними.

Перед початком монтажних робіт перевірити надійність всього вантажно-підйомного обладнання. Для цього провести пробне підймання обладнання на висоту 10-15 см, витримати у піднятому положенні 5-10 хв.

Монтажні хомути з'єднувальних муфт слід встановлювати так, щоб вони щільно охоплювали поверхню труби і були надійно затиснуті стягуючими болтами. Забороняється перебувати стороннім особам на монтажних площадках при проведенні робіт.

Під час експлуатації водопровідного обладнання, його періодично промивають. При необхідності одночасно з промиванням, водопроводи дезинфікують хлорним вапном з наступним промиванням проточною водою. Особливу увагу слід приділяти промиванню та дезинфікації ділянок водо-проводу з малою витратою води.

При переході на зимові умови експлуатації в першу чергу слід виконати роботи для запобігання замерзання трубопроводів, відкритих ділянок труб, а також ділянок, де трубопроводи покладені вище глибини промерзання ґрунту.

Технічні огляди за водопідйомного обладнанням проводять відповідно до вказівок та інструкцій. Капітальний ремонт проводять через 1,5-2 роки безперервної роботи обладнання.

Зовнішню водопровідну мережу оглядають періодично, а повітряні вантузи, запобіжні клапани, засувки – не менше двох разів на рік. Різьбові з'єднання на трубопроводах і кріпленнях перевіряють не рідше одного разу на рік.

Технічне обслуговування вітроустановки включає такі етапи:

ЩТО – проводиться щоденно огляд всіх вузлів, їх кріплення, перевірка наявності мастила у вузлах, при необхідності доливання мастила та затягування кріплень.

ТО-1 – вимагає операції ЩТО, а також заміну мастил у всіх вузлах та обов'язкове затягування вузлів головки установки і кріплень лопатей та вітроколеса.

СТО – сезонне технічне обслуговування яке проводиться при переході на зимову чи літню експлуатацію, слідкують за обладнанням і обледенінням, при цьому усувають його наявність, редуктори покривають чорною фарбою чи поновлюють її для забезпечення температурного режиму.

4.2 Правила безпеки при експлуатації акумуляторних батарей

Акумуляторне приміщення слід завжди замикати на замок. Особам, які оглядають ці приміщення і працюють в них, ключі видаються на загальних підставах на час роботи або огляду.

Працювати в акумуляторних приміщеннях дозволяється працівникам, які пройшли перевірку знань та інструктаж з безпечного поводження з кислотою, лугами і свинцем.

Забороняється палити в акумуляторному приміщенні, входити до нього з вогнем, користуватись електронагрівальними приладами, апаратами і інструментами, що можуть креснути іскрою. На дверях акумуляторного приміщення слід зробити написи: «Акумуляторна», «Вогненебезпечно», «Забороняється палити» і вивісити відповідні знаки безпеки про заборону користування відкритим вогнем. В акумуляторних приміщеннях, що мають припливно-витяжну вентиляцію, останню слід вмикати перед початком зарядки і вимикати після видалення газу, але не раніше ніж через 1,5 год. після закінчення заряджання. У кожному акумуляторному приміщенні мають бути:

- скляний або фарфоровий кухоль з носиком місткістю (1,5 – 2) л для приготування електроліту і доливання його в посудини;
- нейтралізувальний розчин питної соди (5%-ний) для кислотних батарей і борної кислоти або оцтової есенції (одна частина на вісім частин води) для лужних батарей.

На всіх посудинах з електролітом, дистильованою водою і нейтралізувальними розчинами слід зробити відповідні написи (вказати назву речовин). Кислоту слід зберігати в скляних бутлях з притертими пробками і бирками з її назвою. Бутлі з кислотою в кількості, необхідній для експлуатації батарей, і порожні бутлі повинні розміщуватися в окремому приміщенні біля приміщення акумуляторної батареї. Бутлі слід розміщувати на підлозі в корзинах або на дерев'яних латах. Під час транспортування скляні бутлі з кислотами і лугами повинні переносити два працівники. Бутлі разом з корзиною слід переносити в спеціальному дерев'яному ящику з ручками або на спеціальних носилках з отвором

посередині, а також латами, в які бутель має входити разом з корзиною на 2/3 його висоти. Забороняється переносити скляні бутлі з кислотами та лугами на спині, плечах та руках.

Для приготування електроліту кислоту слід повільно (для запобігання інтенсивному нагріванню розчину) вливати з кухля в фарфорову або іншу термостійку посудину з дистильованою водою. Електроліт в цьому разі потрібно весь час перемішувати стрижнем або скляною трубкою чи мішалкою з кислототривкої пластмаси. Забороняється, готуючи електроліт, вливати воду в кислоту. У готовий електроліт доливати воду дозволяється.

Під час робіт з кислотою і лугом необхідно застосовувати засоби індивідуального захисту: костюм (грубошерстий – для кислоти і бавовняний – для лугу), гумові чоботи (під штани) чи калоші, гумовий фартух, захисні окуляри і гумові рукавички. Грудки їдкою лугу слід подрібнювати в спеціально відведеному місці, попередньо загорнувши їх в мішковину.

П'яти пластини в акумуляторному приміщенні допускається за таких умов:

- роботи слід виконувати за нарядом;
- паяння дозволяється не раніше ніж через 2 години після закінчення зарядки;
- батареї, що працюють за методом постійної підзарядки, слід за 2 год. до початку робіт перевести в режим розрядження;
- до початку робіт приміщення слід провентилювати протягом 2 год.;
- під час паяння приміщення має безперервно вентилуватися;
- місце для паяння слід відгородити від решти батарей вогнестійкими щитами;
- для запобігання отруєнню свинцем та його сполуками слід взяти спеціальних застережних заходів і визначити режим роботи відповідно до інструкцій з експлуатації і ремонту акумуляторних батарей.

Обслуговування акумуляторних батарей повинні проводити спеціально підготовлені працівники з групою Ш.

4.3 Захист персоналу та навколишнього середовища від шумів та вібрацій при роботі вітроенергетичних установок

В дослідженнях шуму ВЕУ встановлено, що їх зовнішній шум генерується різними механічними, аеродинамічними та електромагнітними нестационарними процесами, з перемінними за часом спектральними та енергетичними параметрами.

При цьому виділяють чотири типи шуму, що може утворювати віротурбіна: тональний, широкопasmовий, низькочастотний та імпульсний.

Шум – це будь - який небажаний звук, який наносить шкоду здоров'ю людини, знижує його працездатність, а також може сприяти отриманню травми в наслідок зниження сприйняття. З фізичної точки зору – це хвильові коливання пружного середовища, що поширюються з певної швидкістю в газоподібній, рідкій або твердій фазі.

Звукові хвилі виникають при порушенні стаціонарного стану середовища в наслідок впливу на них сили збудження и поширюючись у ньому утворюють звукове поле. Джерелами цих порушень бути механічні коливання конструкцій або їх частин, нестационарні явища в газоподібних або рідких середовищах.

Основними характеристиками таких коливань служить амплітуда звукового тиску (p , Па), частота (f , Гц).

Звуковий тиск – це різниця між миттєвим значенням повного тиску у середовищі при наявності звуку та середнім тиском в цьому середовищі при відсутності звуку. Поширення звукового поля супроводжується переносом енергії, яка може бути визначена *інтенсивністю звуку*.

Захист працюючих від шуму може здійснюватися як колективними засобами і методами, так і індивідуальними засобами. В першу чергу треба використовувати колективні засоби, які по відношенню до джерела шуму поділяються на засоби, що знижують шум у джерелі його виникнення, і засоби, що знижують шум на шляху його поширення від джерела до об'єкта, що захищається.

Найбільш ефективні заходи, які ведуть до зниження шуму в джерелі його виникнення. Боротьба з шумом після його виникнення обходиться дорожче і часто є малоефективним.

Для зниження шуму використовують спеціальні шумопоглинальні елементи з криволінійними каналами. Знизити шум можна поліпшенням аеродинамічних характеристик машин. Однак цим зазвичай не досягається необхідний ефект, тому доводиться додатково застосовувати засоби звукоізоляції і встановлювати глушники.

Глушники шуму бувають абсорбційними, реактивні (рефлексним) і комбінованими. У абсорбційних глушниках затухання шуму відбувається в порах звукопоглинального матеріалу. Принцип роботи реактивних глушників заснований на ефекті відбиття звуку в результаті утворення «хвильової пробки» в елементах глушника. Вони зазвичай не містять звукопоглинального матеріалу. Реактивні глушники мають з'єднані між собою камери, розширення та звуження, резонансні поглиблення, екрани і т. п. У комбінованих глушниках відбувається як поглинання, так і відображення звуку. Зниження шуму машин та установок за допомогою засобів демпфування домагаються покриттям їх випромінюючої поверхні демпфуючими матеріалами, що мають велике внутрішнє тертя. Існує багато різних видів демпфуючих покриттів. Найбільш поширені жорсткі покриття з пружно-в'язких матеріалів (мастики, спеціальні види повсті, лінолеуму), які наносяться на поверхню наклеюванням, напиленням і ін.

Звукоізоляція є одним з найбільш ефективних і поширених методів зниження шуму на шляху його поширення. За допомогою звукоізолюючих перешкод легко знизити рівень шуму на 30 ... 40 дБ. Метод заснований на відбиванні звукової хвилі. Зниження шуму методом звукопоглинання засновано на переході енергії звукових коливань частинок повітря в теплоту внаслідок втрат на тертя в порах звукопоглинального матеріалу. Чим більше звукової енергії поглинається, тим менше її відбивається назад в приміщення. Тому для зниження шуму в приміщенні проводять його акустичну обробку, завдаючи звукопоглинальні матеріали на внутрішні поверхні, а також розміщаючи в приміщенні штучні звукопоглиначі.

Застосування засобів індивідуального захисту від шуму доцільно в тих випадках, коли засоби колективного захисту та інші засоби не забезпечують зниження шуму до допустимих рівнів. Засоби індивідуального захисту дозволяють

знизити рівень сприйманого звуку на 10 ... 45 дБ, причому найбільш значне глушіння шуму спостерігається в області високих частот, які найбільш небезпечні для людини. Засоби індивідуального захисту від шуму поділяються на проти шумні навушники, що закривають вушну раковину зовні; проти шумні вкладиші, що перекривають зовнішній слуховий прохід або прилеглі до нього; проти шумні шоломи і каски; проти шумні костюми. Протишумові вкладиші роблять з твердих, еластичних і волокнистих матеріалів. Вони бувають одноразового та багаторазового користування. Проти шумні шоломи закривають всю голову, вони застосовуються при дуже високих рівнях шуму в поєднанні з навушниками, а також проти шумні костюмами.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи було вирішено актуальне завдання, що полягає у розробці системи електроводопостачання віддалених споживачів з допомогою енергії вітру.

В кваліфікаційній роботі були вирішені такі завдання:

1. Запропоновано нове конструктивне рішення комбінованої електроводопостачальної вітроустановки, у якій вітродвигун, що має кривошипно-повзунковий механізм з об'ємним водяним насосом і магнітоелектричним лінійним генератором, що характеризується високим ККД та можливістю ефективного використання механічної енергії вітродвигуна для генерування електричної енергії та підняття води з джерела.

2. Запропоновано структурно-функціональну схему комбінованої електроводопостачальної вітроустановки, здійснено опис основних вузлів та наведено принцип роботи.

3. Розроблено ефективну конструкції та здійснено опис основних елементів та алгоритму роботи магнітоелектричного лінійного генератора.

4. Проведено розрахунки тривалості безперервного процесу автономного живлення електроспоживачів від акумуляторних батарей комбінованої електроводопостачальної вітроустановки у безвітряний період.

5. З допомогою запропонованої ефективної конструкції магнітоелектричного лінійного генератора проведено дослідження ефективності енергоперетворення механічної енергії зворотно-поступального руху в електро-енергію.

6. Проведено розрахунок техніко-економічної ефективності впровадження комбінованої електроводопостачальної вітроустановки.

Для технологічних виробництв розроблені заходи безпеки, збереження здоров'я, працездатності працівників під час виконання службових обов'язків, а також зменшення або запобігання впливу шкідливих факторів.

Отже, актуальність кваліфікаційної роботи полягає в тому, що матеріали та методики розрахунку параметрів комбінованої електроводопостачальної вітроустановки з магнітоелектричним лінійним генератором, дало змогу впровадити нові технічні рішення систем керування електроводоспоживанням на основі мікропроцесорних контролерів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ясенєцький В. Сучасне вітроенергетичне обладнання для сільсько-господарських підприємств і приватного сектора / Ясенєцький В., Клименко В. // Пропозиція. – 2002. – №7. – С. 96–99.
2. Указ Президента України № 159/96 від 02.03.1996 р. «Про будівництво вітрових електростанцій», Правові системи НАУ www.nau.ua, 01/10/2009. Режим доступу до сервера: http://zakon.nau.ua/doc/?doc_id=457021
3. Постанова Верховної Ради України № 191/96-ВР від 15.10.1996 р. "Про Національну енергетичну програму України до 2010 року", Правові системи НАУ www.nau.ua, 01/10/2009. Режим доступу до сервера: http://zakon.nau.ua/doc/?doc_id=386227
4. Постанова Кабінету Міністрів України № 731 від 10.07.1997 р. «Про Комплексні заходи щодо реалізації Національної енергетичної програми України до 2010 року», Правові системи НАУ www.nau.ua, 01/10/2009. Режим доступу до сервера: http://zakon.nau.ua/doc/?doc_id=366967
5. Жовтянський В. А. Удосконалення механізмів енергозбереження у розрізі ринкових перетворень в Україні / В. А. Жовтянський // Всесвітня Енергетична Рада, 16–19 травня 2000 р.: праці – Київ, 2000. – С. 123–133.
6. Комплексна державна програма енергозбереження України на виконання розпорядження Президента України від 15 квітня 1995 року №74/95-рп та постанови Кабінету Міністрів України від 15 листопада 1995 р. № 911. – Київ, 1996.
7. Щербина О. М. Енергія для всіх: Техн. Довідник. – Ужгород: Вид-во В. Падяка, 2000. – 192 с.
8. Креймер А. С. Теоретические положения создания систем автономного электроснабжения сельскохозяйственных потребителей с ВЭУ малой мощ-

ности: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.20.02 / А. С. Креймер. – Краснодар, 2003. – 22 с.

9. Экология. Экоэнергетика. Esoenergy.ru. Информационно-аналитический сайт. Источник: НПО «Агентство по возобновляемой энергетике». 11/07/2007. Режим доступа до сервера: <http://www.ecoenergy.ru/Sem/Sem7.html>.

10. Лось С. И. К вопросу о выборе схемы ветроагрегата для индивидуального электроснабжения / С. И. Лось // Энергетика та електрифікація. – 2006. – №10. – С. 18–21.

11. Шефтер Я. И. Использование энергии ветра / Яков Иосифович Шефтер. – Москва: Энергоатомиздат, 1983. – 200 с. – (Издание второе, переработанное и дополненное).

12. Шефтер Я. И. Изобретателю о ветродвигателях и ветроустановках/ Я. И. Шефтер, И. В. Рождественский. – Москва: Издательство министерства сельского хозяйства СССР, 1957. – 147 с.

13. Шефтер Я. И. Ветроэнергетические агрегаты/ Я. И. Шефтер. – Москва: Машиностроение, 1972. – 288 с.

14. Шефтер Я. И. Ветронасосные и ветроэлектрические агрегаты / Я. И. Шефтер, И. В. Рождественский. – Москва: Издательство «Колос», 1967. – 376 с.

15. Харитонов В. П. Автономные ветроэлектрические установки / В. П. Харитонов. – Москва: ГНУ ВИЭСХ, 2006. – 280с.

16. Выбор функциональных схем автономных ВЭУ малой мощности / М. П. Галкин, А. Н. Горин // Энергетическое строительство. – 1995. – №3. – С. 41–44.

17. Фатеев Е. М. Ветродвигатели и ветроустановки/ Е. М. Фатеев. – Москва: ОГИЗ – СЕЛЬХОЗГИЗ, 1948. – 546 с.

18. Закржевский Э. Р. Ветродвигатели для механизации животноводческих ферм / Э. Р. Закржевский. – Минск, 1959. – 199 с.

19. Ветроэнергетические станции / В. Н. Андрианов, Д. Н. Быстрицкий, К. П. Вашкевич, В. Р. Секторов – Москва: Госэнергоиздат, 1960. – 320 с.

20. Система автоматического регулирования ветроэнергетической установки с вентильным электроагрегатом / Н. Н. Блацкий, А. В. Пиковский, Т. В. Плотникова, М. В. Титова, Ю. Г. Шакарян, Е. Г. Плахтина // Электричество.

– 1991. – №4. – С.11

21. Практичний досвід використання вітроенергетичних систем / Ю. П. Фаворський, М. О. Шихайлов // Електрифікація та Автоматизація сільського господарства. – 2004. – С. 107–113.

22. Разработка САПР. В 10 кн. Кн. 1. Проблемы и принципы создания САПР: Пркт. пособие/ А. В. петров, В. М. Черненко; Под. ред. А. В. Петрова. – М.: Высш. шк., 1990. – 143 с.: ил.

23. Техничко-економическое обоснование дипломных проектов: Учеб. Пособие для вузов/ Л. А. Астреина, В. В. Балдесов, В. К. Беклешов и др.; Под ред. В. К. Беклешова. – М.: Высш. шк., 1991. – 176 с.: ил.

24. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці. - Львів: Афіша, 2002. - 320 с.

25. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості і небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу // Охорона праці. - 1998. - № 6.

26. Джигирей В. С., Сторожук В. М., Яцюк Р. А. Основи екології та охорона навколишнього природного середовища (Екологія та охорона природи). – Львів «Афіша», 2000 – 272 с.

27. Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів освіти України I-IV рівня акредитації / За ред. Е. П. Желібо, В. П. Пічі. – Київ «Каравела»; Львів «Новий Світ – 2000», 2001. – 320 с