

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

Навчально-науковий інститут енергетичної, інформаційної та
транспортної інфраструктури

Кафедра альтернативної електроенергетики та електротехніки

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до дипломного проєкту (роботи)
бакалавра
на тему:
«АВТОНОМНЕ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ФЕРМЕРСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА ХАРКІВСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ ЗООВЕТЕРИНАРНОЇ
АКАДЕМІЇ»

Виконав: студент 3 курсу,
групи НВДЕ 2022–1
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
(Нетрадиційні та відновлювальні джерела
енергії)



О.С. Ільїнський

Керівник



М.Л. Глебова

Рецензент



О.Б. Єгоров

Харків – 2026

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА імені О.М. БЕКЕТОВА

ННІ Енергетичної, інформаційної та транспортної інфраструктури
Кафедра Альтернативної електроенергетики та електротехніки
Освітньо-кваліфікаційний рівень Бакалавр
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
завідувач кафедри АЕЕ



доц. О.Б. Єгоров

“ 14 ” червня 2026 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ
Ільїнському Олександрю Сергійовичу

1. Тема проєкту: Автономне електропостачання фермерського господарства
Харківської державної зооветеринарної академії

керівник проєкту (роботи) Глебова Марина Леонідівна, канд. техн. наук, доцент
затверджені наказом вищого навчального закладу 22.05.2026 року № 440-03.

2. Строк подання студентом проєкту 14 червня 2026 року.

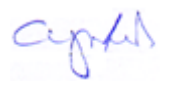
3. Вихідні дані до проєкту (роботи): Загальна характеристика господарства,
кліматичні особливості довкілля.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Характеристики господарства, структура електричного навантаження. Вибір типу вітрової установки. Розрахунок вітрової турбіни та головних розмірів електричного генератора. Вибір серійної вітрової установки та її комплектуючих. Аналіз небезпечних і шкідливих факторів під час монтажу вітрової установки. Розробка заходів з охорони праці, розрахунок заземлення.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1) Швидкості вітру за місяцями та характеристика навантаження.
2) Залежність швидкості вітру від висоти, вибір типу ВЕУ, структурна схема та

добове електричне навантаження. 3). Шаблони профілів перерізів лопаті.
4). Серійна вітрова установка. 5.План пристрою заземлення та вузли з'єднань.

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розрахункова частина	Глебова М. Л., доцент каф. АЕЕ		
Охорона праці	Серіков Я.О., доцент каф. ОП та БЖД		

7. Дата видачі завдання 25 травня 2026 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Характеристика тваринницької ферми та структура її електричного навантаження	25.05.2026-29.05.2026	
2	Розрахунок вітрової турбіни та головних розмірів електричного генератора	30.05.2026-01.06.2026	
3	Підбір серійної вітрової установки та її комплектуючих	02.06.2026-06.06.2026	
4	Розробка заходів з охорони праці	07.06.2026-10.06.2026	
5	Підготовка та подання дипломної роботи до захисту.	11.06.2026-14.06.2026	

Студент  Олександр Ільїнський

Керівник  Марина Глебова

РЕФЕРАТ

Дипломна робота бакалавра: 88 сторінок пояснювальної записки, 5 розділів, 28 рисунків, 17 таблиць, 4 аркуші графічної частини, 27 використаних джерел інформації.

Мета роботи полягає в розробці автономної системи електропостачання фермерського господарства Харківської державної зооветеринарної академії розташованого в селищі Мала Данилівка. Аналіз кліматичних умов довкілля з середньою швидкістю вітру близько 4 м/с та навантаження ферми показав можливість застосування вітроенергетичної установки потужністю 8 кВт. Для такої установки немає необхідності в складному проектуванні та правовому забезпеченні будівництва.

Розраховані параметри вітрової установки з горизонтальною віссю обертання в якій застосовується симетричний профіль лопаті NACA 0015, побудовані шаблони перерізів лопатей.

Для генерації електроенергії передбачений синхронний генератор для збудження якого застосовуються постійні магніти.

Підібрана серійна вітрова установка G-Series RX-10KG 10 кВт в комплект якої входять мережевий контролер FKJ-GT 10 кВт та трифазний інвертор потужністю 10 кВт на напругу 380 В, розрахована потужність та кількість акумуляторних батарей.

Розділ охорони праці присвячений аналізу шкідливих та небезпечних факторів при виконанні монтажу ВЕУ та забезпеченню виключення їх впливу на монтажний персонал. Спроектований та розрахований пристрій заземлення установки.

Ключові слова: КЛІМАТ, ВІТРОВА УСТАНОВКА, ЕЛЕКТРИЧНИЙ ГЕНЕРАТОР, МОНТАЖ ВЕЖІ, ОХОРОНА ПРАЦІ, ЗАЗЕМЛЕННЯ.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	7
ВСТУП	8
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТВАРИННИЦЬКОЇ ФЕРМИ ТА СТРУКТУРА ЇЇ ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ	10
1 Кліматична особливості місця розташування та виробничої діяльності	10
1.2. Вибір типу джерела електропостачання та розрахунок необхідної потужності	16
1.3 Огляд типів вітрових установок і їх правового статусу	18
Висновки за розділом 1	22
2 РОЗРАХУНОК ВІТРОВОЇ ТУРБІНИ	23
2.1 Визначення параметрів вітру та діаметру вітрового колеса	23
2.2 Розрахунок параметрів вітрового колеса	26
2.2.1 Вибір профілю лопатей та аеродинамічний розрахунок вітроколеса	27
2.2.2 Перевірка довжини лопаті та визначення товщини її перерізів	33
2.2.2.1 Розрахунок товщини перерізів лопаті	23
2.2.3 Розрахунок коефіцієнтів швидкохідності, числа відносних модулів, та коефіцієнтів сумарної напруженості перерізу лопаті	34
2.2.4 Розрахунок кутів встановлення лопатей	35
2.2.5 Розрахунок координат профілів перерізів	38
Висновки за розділом 2	43
3 РОЗРАХУНОК ГОЛОВНИХ РОЗМІРІВ ЕЛЕКТРИЧНОГО ГЕНЕРАТОРА	44
3.1 Вибір типу електрогенератора	44
3.2 Розрахунок головних розмірів статора	48
3.3 Розрахунок розмірів ротора	50
Висновки за розділом 3	51
4 ПІДБІР СЕРІЙНОЇ ВІТРОВОЇ УСТАНОВКИ ТА ЇЇ КОМПЛЕКТУЮЧИХ	52
Висновки за розділом 4	57

5 ОХОРОНА ПРАЦІ _____	58
5.1 Охорона праці та її законодавче забезпечення в Україні _____	58
5.2 Характеристика вітрової установки та місця її розташування _____	61
5.3 Опис робіт зі спорудження ВЕУ та виявлення небезпечних і шкідливих факторів під час їх виконання _____	62
5.4 Організаційні та технічні заходи з охорони праці при монтажу ВЕУ _____	66
5.4.1 Вимоги безпеки при збиранні та установці щогли _____	69
5.5 Пожежна та вибухова небезпечність об'єкта _____	71
5.6 Надання першої допомоги при травмуваннях _____	73
5.6.1 Характеристика окремих видів травм та принципи надання першої допомоги _____	73
5.7 Розробка та розрахунок пристрою заземлення ВЕУ _____	77
Висновки за розділом 5 _____	83
ВИСНОВКИ _____	84
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ _____	85

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ВЕУ – вітроенергетична установка;
АБ – акумуляторна батарея;
ВДЕ – відновлювані джерела енергії;
ДГУ – дизельна генераторна установка;
БГУ – бензинова генераторна установка;
СЕС – сонячна електростанція;
ВЕС – вітрова електростанція;
ВЕУ – вітрова енергетична установка;
ККД – коефіцієнт корисної дії;
ВК – вітрове колесо;
ЕДГ – електродинамічне гальмо;
МГ – гальмівний момент;
ЕРС – електрорушійна сила;
ГПМ – генераторами з постійними магнітами;
АКБ – акумуляторна батарея;
СГПМ – синхронний генератор із збудженням від постійних магнітів;
ЛЕП – лінія електропередачі;
НПАОП – Нормативно-правові акти з охорони праці;
ПУЕ – Правила улаштування електроустановок.

ВСТУП

Традиційно енергія вітру в Україні використовувалася головним чином для помелу зерна дерев'яними чотирилопатевиими вітряками, які мали в середньому потужність близько 4 кВт. Діаметр вітроколеса найбільших млинів досягав 20 - 24 м, а їх потужність становила 10 – 15 кВт. Вітряки були місцевого напівкустарного виробництва, їх спорудження ґрунтувалося на тривалому практичному досвіді.

Загалом енергія вітру відома людству багато тисячоліть, але її використання для отримання електричної енергії набуло бурхливого розвитку тільки в останні десятиліття. На сьогодні в світі встановлено понад 20 000 вітроелектричних агрегатів, загальною потужністю понад 16 млн. кВт.

Сучасні вітроенергетичні установки (ВЕУ) мають потужність від сотень ват до декількох мегават і дають можливість ефективно використовувати енергію вітру, наприклад, для приводу насосів, заряджання акумуляторних батарей (АБ), енергопостачання різних об'єктів виробничого та комунально-побутового напрямків і таке інше, та навіть для подачі електроенергії в централізовану мережу електропостачання. Підвищений інтерес до використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) ґрунтується на необхідності скорочення небаченого раніше споживання викопного палива. Крім виснаження запасів органічного палива використання його в дедалі більших обсягах є причиною загального забруднення довкілля. Річне виділення вуглекислого газу на одного жителя, досягло в Європі 12 тон. Значний об'єм становлять також викиди двоокису сірки.

Неминуче скорочення споживання органічного палива вимагає застосування інших джерел енергії, в першу чергу ВДЕ, оскільки це не порушує природного балансу енергії планети. Найближчим часом слід очікувати значного збільшення використання ВДЕ, яке на поточний період в енергобалансі Європи становить лише близько 12%.

Наразі найбільший ринком вітроенергетики в Європі є Німеччина, де функціонує близько 30 000 наземних вітрових турбін, але ж Україна має значно більший потенціал наземної вітроенергетики оскільки має більшу площу суходолу. Крім того, є величезні можливості використання морської вітроенергетики в Чорному та Азовському морях. Цей потенціал сягає близько 50 ГВт (20 ГВт – плавучі морські вітрові електростанції та 30 ГВт – морські вітрові електростанції з нерухомим дном).

Для України перехід на ВДЕ є життєво важливим, оскільки дозволить створювати автономні (тобто відділені від пошкодженої централізованої системи) малі та середні системи електропостачання. Технічно можливе створення гібридних енергосистем побудованих на використанні ВЕУ сумісно з іншими джерелами (дизелями, сонячними модулями, малими ГЕС, тощо). На багатьох об'єктах досить ефективним може бути використання ВЕУ разом з резервним дизель - генератором. При використанні системи управління, інверторного обладнання та акумуляторних батарей для накопичення надлишкової енергії, яку генерує вітровий агрегат при достатніх швидкостях вітру та для живлення навантаження у разі відсутності або при невеликих швидкостях вітру. У періоди затишшя, при зменшенні заряду АБ нижче певного рівня, для електропостачання споживачів автоматично (або вручну) запускається дизель-генератор.

Застосування ВЕУ може бути вкрай вигідним для живлення невеликих споживачів, розташованих на відчутній відстані від мереж централізованої енергосистеми.

В даній дипломній роботі розробляються питання електропостачання фермерського господарства тваринницького напрямку розташованого в районі селища Мала Данилівка Харківської області.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТВАРИННИЦЬКОЇ ФЕРМИ ТА СТРУКТУРА ЇЇ ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

1.1 Кліматична особливості місця розташування та виробничої діяльності

Фермерське господарство Харківської державної зооветеринарної академії розташоване в селищі Мала Данилівка, яке входить до складу Харківського району Харківської області. Головними напрямками діяльності, крім навчального процесу, є вирощування зернових та технічних культур таких як ячмінь ярий, кукурудза, пшениця озима, соя, соняшник, а також сфера тваринництва пов'язана з утриманням великої рогатої худоби, виробництвом молока, конярством, кролівництвом та вівчарством. [1]

Господарство, як і весь район, знаходиться в північній частині Харківської області в типових для зони лісостепу кліматичних умовах. Помірно-континентальний клімат території формується під впливом взаємодії основних кліматичних факторів, включаючи сонячну радіацію, віддаленість від великих водних просторів та рівнинний рельєф з досить теплим літом і тривалою, морозною зимою. [2, 3]

Температура взимку зазвичай коливається від -8°C зрідка спадаючи нижче -19°C . Середня температура в найхолоднішому місяці року (січні) становить близько -7°C . [2, 3]

Літо загалом тепле, а найтеплішим місяцем є липень, температура в якому зрідка підіймається вище $+33^{\circ}\text{C}$. Середня ж температура цього місяця становить близько $+21^{\circ}\text{C}$. [2, 3]

Середня річна температура повітря – близько $+8,1^{\circ}\text{C}$, а середньорічна вологість – 74%. [2, 3]

Розподіл опадів в перебігу року нерівномірний, з середньорічною кількістю приблизно 515 мм – переважна кількість припадає на літо (у вигляді дощу) та зиму (здебільше у вигляді снігу). В окремі роки спостерігається посуха. Взагалі літо поділяється на вологий період (травень – червень) і сухий

(липень – вересень). Під час вологого періоду погода тепла, волога, джерелом опадів є переважно повітряні маси з Атлантичного океану. В сухий період опади рідкісні, їх основним джерелом є дуже сильні грози. В першу половину літа переважає хмарна, похмура погода, в другу – ясна. Спекотно найчастіше в липні та серпні.

Середня погодинна швидкість вітру зазнає значних сезонних коливань. Більш вітряна частина року, із середньою швидкістю понад 16,2 км/год, припадає на період з 8 листопада по 14 квітня та триває 5,2 місяця. Найбільш вітряний місяць лютий із середньою швидкістю вітру 19,0 км/год.

Спокійніша пора року триває 6,8 місяця, з 14 квітня по 8 листопада. Найтихіший місяць – липень із середньою швидкістю вітру 13,2 км/год.

Переважний напрямок вітру змінюється протягом року. З 12 лютого до 13 червня вітер найчастіше східний, з 13 червня до 29 серпня – північний, з 29 серпня по 9 листопада та з 1 грудня до 12 лютого – західний.

Графік розподілу найбільших швидкостей вітру (м/с) за місяцями наведений на рис. 1.1.

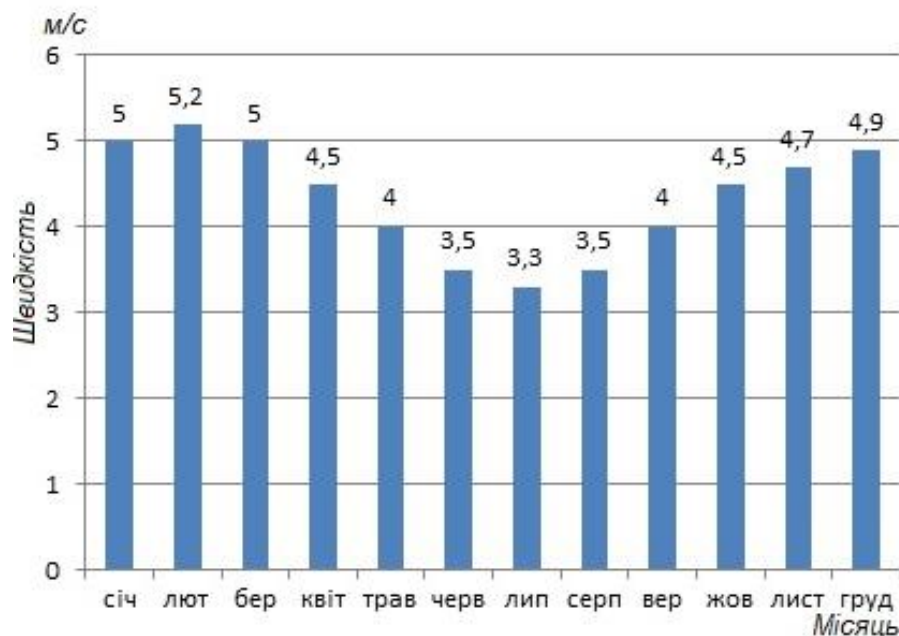


Рисунок 1.1 – Найбільші швидкості вітру за місяцями

Розподіл найменших швидкостей вітру в ті ж самі місяці показаний на рис. 1.2.

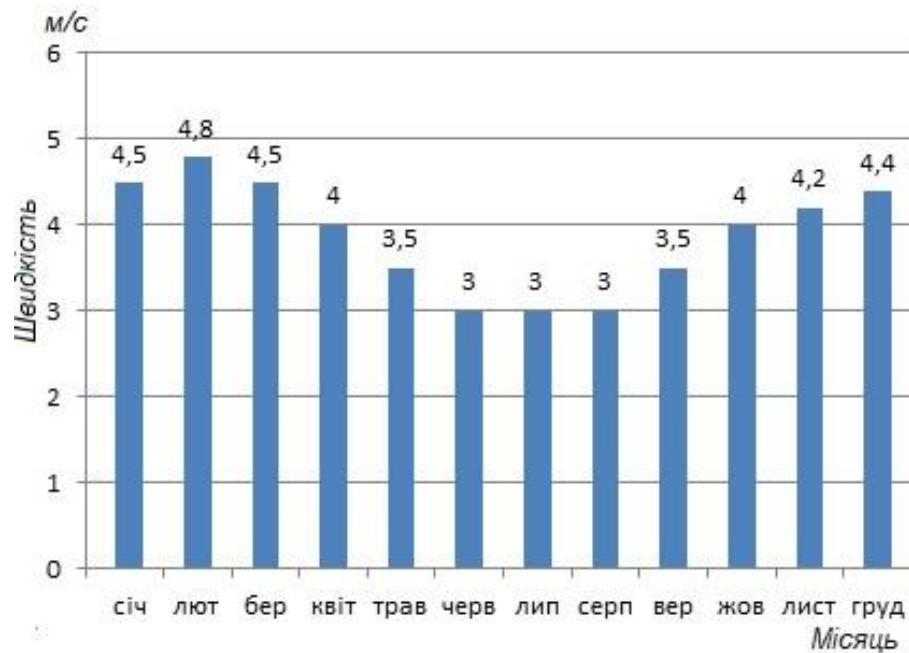


Рисунок 1.2 – Найменші швидкості вітру за місяцями

Середні швидкості вітру за місяцями протягом року представлені на рис. 1.3, а середня річна швидкість складає 4,1 м/с.

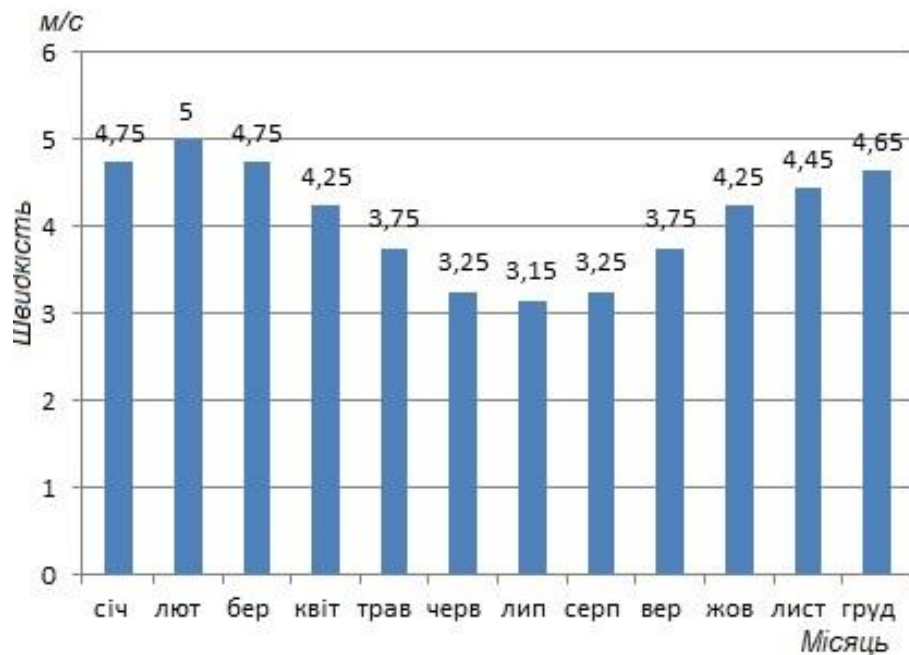


Рисунок 1.3 – Середні швидкості вітру за місяцями

Загалом кліматична ситуація в районі розташування господарства досить сприятлива для сільського господарства, але в літні місяці спостерігаються періоди недостатньої зволоженості.

Одним із напрямків діяльності господарства є вівчарство. Наразі овеча ферма невелика – близько 25 голів.

На ній прийнята стійлово-пасовищна система утримання тварин, яка є характерною для районів з розвиненим виробництвом кормів і відсутністю зимових пасовищ. Вівці взимку утримуються в кошарі, біля якої обладнаний вигульно-кормовий майданчик, а влітку – на пасовищі, куди вони переводяться навесні. Зимове випасання не практикується.

Електричне живлення ферми забезпечувалось від централізованої мережі трифазною лінією 0,4 кВ яка була пошкоджена. Враховуючи віддалене розташування ферми та складності з постачанням електроенергії виправданим варіантом може бути забезпечення живленням від автономного джерела.

Для розрахунку його потужності необхідно визначити електричне навантаження вівчарні з урахуванням наступного розпорядку дня прийнятого для стійлового утримання:

- 7-8 год. – перше годування грубого корму;
- 9-11 год. – друге годування грубого корму або силосу;
- 11-12 год. – водопій;
- 12-13 год. годування всієї добової норми концентрованих кормів;
- 17-18 год. – останнє годування грубими кормами. [4]

Подрібнення кормів здійснюється за допомогою вітчизняного подрібнювача ПОФ 6 з продуктивністю подрібнення не менше 220 кг за годину. Запарювання кормів передбачається за допомогою електричного водонагрівача.

Для забезпечення водою неподалік від кошари влаштована водяна свердловина та змонтована насосна станція.

Видалення відходів виконується за допомогою транспортера з електричним приводом.

Передбачається періодичне провітрювання приміщення кошари за допомогою двох вентиляторів.

Освітлення, як внутрішнє так і зовнішнє, передбачене світильниками з світлодіодними лампами.

Повний перелік приймачів електроенергії та їх встановлена потужність представлений в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Приймачі електроенергії вівчарні

№ з/п	Найменування приймача	Потужність одиниці, кВт	Кількість приймачів, шт.	Загальна потужність, кВт
1	Насос водяної станції	0,55	1	0,55
2	Водонагрівач	1,6	1	1,6
3	Подрібнювач кормів	1,8	1	1,8
4	Вентилятор	0,5	2	1,0
5	Привід транспортеру	1,1	1	1,1
6	Внутрішнє освітлення	0,01	15	0,15
7	Освітлення зовнішнє	0,02	4	0,08
8	Холодильник	0,25	1	0,25
Сумарна встановлена потужність, кВт				6,53

Графік роботи електричного обладнання протягом доби приведений в табл. 1.3. За графіком визначається погодинне навантаження, наприклад: о першій годині споживають електроенергію насос водяної станції ($P_{НС}$), зовнішнє освітлення ($P_{ЗО}$), водонагрівач ($P_{ВН}$) і внутрішнє освітлення ($P_{ВО}$). Їх сумарна потужність $P_{сум1}$ становить:

$$P_{сум1} = P_{НС} + P_{ЗО} + P_{ВН} + P_{ВО} = 0,55 + 0,08 + 1,6 + 0,15 = 2,38 \text{ кВт.} \quad (1.1)$$

Розрахунок навантаження в інші години виконується аналогічно та зведений в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Погодинне навантаження вівчарні

Години доби	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Навантаження, кВт	2,38	0,48	1,03	2,28	2,03	2,28	0,15	2,05	1,8	1,25	1	2,4
Години доби	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Навантаження, кВт	2,15	1,85	1,88	2,28	3,13	2,58	1,23	0,48	0,23	0,8	2,15	1,85

За даними табл. 1.2 побудована добова діаграма навантаження, показана на рис. 1.4. Добове споживання електроенергії $W_{доб}$ визначається сумою добутків потужності на час і становить 46,28 кВт×год.

Таблиця 1.3 – Графік роботи електричного обладнання протягом доби

№ з/п	Найменування обладнання	Години доби																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	Насос водяної станції	+		+					+	+			+	+									+	+	
2	Водонагрівач	+											+	+	+									+	+
3	Подрібнювач кормів				+	+	+									+	+	+							
4	Вентилятор										+	+							+	+					
5	Привід транспортеру								+	+								+	+						
6	Внутрішнє освітлення	+	+	+	+	+	+	+	+	+							+	+	+	+	+	+			
7	Освітлення зовнішнє	+	+	+	+	+	+									+	+	+	+	+	+	+			
8	Холодильник		+		+		+		+		+		+		+		+		+		+		+		+

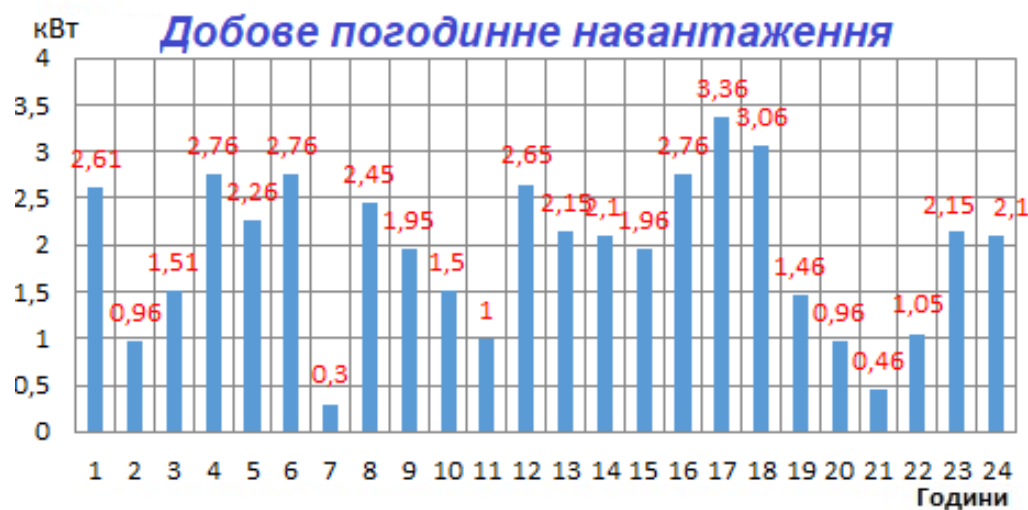


Рисунок 1.4 – Добовий графік навантаження вівчарні

За графіком період максимального навантаження припадає на 17 годину і становить 3,36 кВт, а мінімального – на 7 годину та становить 0,3 кВт.

Середнє навантаження ($P_{\text{ср}}$) визначається на основі розрахованого добового споживання електроенергії:

$$P_{\text{ср}} = \frac{W_{\text{доб}}}{24} = \frac{46,28}{24} \approx 1,93 \text{ кВт.} \quad (1.2)$$

Наведений аналіз режиму роботи обладнання, його потужність, кліматичні умови та місце розташування вівчарні вказують на можливість застосування для її живлення автономної енергетичної установки невеликої потужності. Це дозволить виключити залежність від зовнішньої мережі електропостачання і за наявності резерву забезпечити необхідну надійність.

1.2. Вибір типу джерела електропостачання та розрахунок необхідної потужності

Забезпечити автономне електропостачання об'єкту можливо генераторними установками, які залежно від їх приводу поділяються на дизельні (ДГУ) чи бензинові (БГУ), сонячними (СЕС) та вітровими (ВЕС) електростанціями. Резервним джерелом в усіх станціях передбачаються акумуляторні батареї, але вони є тільки відносно короткочасним резервуванням. При сумісному застосуванні джерела різних типів можуть забезпечувати взаємне резервування. [5]

Кожний тип енергетичної установки має як свої переваги так і недоліки. Перевага генераторних установок з двигунами внутрішнього згоряння полягає в тому, що вони можуть забезпечити живлення практично будь-якої потужності навантаження як трифазним так і однофазним струмом. ДГУ, як правило, потужніші ніж БГУ, надійніші, але більш шумні та дорогі. До недоліків обох типів слід віднести необхідність рідкого палива та мастила, досить складне

обслуговування, значний шум при роботі, екологічний вплив за рахунок вихлопних газів. Наявність горючих матеріалів створює пожежну небезпеку.

Екологічним та економічним варіантом у довгостроковій перспективі є СЕС, особливо в місцях із постійним сонячним випромінюванням. Для їх нормальної роботи обов'язковим складовими частинами є накопичувачі (акумулятори), контролери заряду та інвертори.

Недоліком СЕС є залежність від природних явищ таких як день-ніч чи хмарність, тому потрібна досить велика ємність накопичувачів.

ВЕС також залежні від природних умов (наявності вітру необхідної швидкості), тому для них обов'язкова наявність накопичувачів [6, 7].

При виборі типу енергетичної установки враховуємо, що ефективне використання СЕС характерне для літніх умов, але в цей період електричне навантаження ферми практично відсутнє, оскільки вівці навесні (квітень) переводяться на пасовище і знаходяться там до осені (жовтень).

Іншим чином виглядає ситуація з ВЕС – якраз в період стійлового утримання (листопад – березень), коли навантаження ферми найбільше, швидкість вітру у місці розташування ферми також вища ніж в інші місяці (див. рис. 1.1, 1.2, 1.3). Таким чином, застосування ВЕС є ефективним і виправданим, тому для електропостачання ферми передбачаємо вітрову енергетичну установку (ВЕУ).

Потужність електричного навантаження вівчарні є вихідним параметром для визначення потужності ВЕУ.

Середнє добове споживання електроенергії становить близько 47 кВт×год, а найбільша споживана потужність 3,36 кВт. Відповідно, потужність генератора ВЕУ ($P_{\text{ген}}$) повинна бути більшою, а в зв'язку з тим, що пускові струми окремого обладнання перевищують номінальні значення робочих струмів, передбачаємо запас потужності в розмірі 30%. Таким чином, потужність генератора повинна становити не менше: $P_{\text{ген}} = 3,36 \times 1,3 = 4,4$ кВт.

Вітрову потужність ВЕУ, $P_{\text{вітр}}$ розраховуємо ґрунтуючись на розрахованій потужності електричного генератора.

$$P_{\text{вітр}} = \frac{P_E}{\xi}, \quad (1.3)$$

де P_E – необхідна електрична потужність вітроустановки, Вт;

$\xi = \xi_{\text{мех}} \times \xi_{\text{ел}}$ – сумарний коефіцієнт корисної дії (ККД);

$\xi_{\text{мех}}$ – механічний ККД, $\xi_{\text{мех}} = 0,7$;

$\xi_{\text{ел}}$ – електричний ККД, $\xi_{\text{ел}} = 0,8$.

$$\xi = \xi_{\text{мех}} \times \xi_{\text{ел}} = 0,7 \times 0,8 = 0,56.$$

Тоді за (1.3) вітрова потужність повинна становити:

$$P_{\text{вітр}} = \frac{P_E}{\xi} = \frac{4,4}{0,56} \approx 7,9 \text{ кВт.}$$

Приймаємо необхідну потужність вітрової установки рівною 8,0 кВт.

1.3 Огляд типів вітрових установок і їх правового статусу

Сучасні ВЕУ, в основному, перетворюють енергію вітру на механічну енергію вітроколеса, що обертається, а потім в електричну енергію. Найпоширеніші на цей час дві основні конструкції вітрових агрегатів (рис. 1.5) – з горизонтальною (горизонтально-осьові) та вертикальною віссю обертання (вертикально-осьові). ККД обох типів ВЕУ приблизно однаковий, проте найбільшого поширення набули горизонтально-осьові вітроагрегати.

У вітроустановках застосовувалися також вітроколеса, які використовували силу тиску вітру (карусельного типу, Савоніуса та інші), однак у них невисокий ККД ($< 20\%$), тому для виробництва електроенергії застосовуються конструкції вказані вище – вони використовують підйомну силу вітру.

Взагалі вітрові генератори за потужністю умовно поділяють на дві групи:

1. Промислові ВЕС, до складу яких може входити окрема потужна вітрова установка чи група установок, устаткування і споруд, розташованих на одній території, пов'язаних між собою функціонально і є єдиним комплексом, для виробництва електроенергії.

2. Так звані малі вітряки, або домашні (для приватного використання), які можуть забезпечувати електроенергією один або кілька будинків чи невеликі промислові об'єкти.



а)



б)

Рисунок 1.5 – Вітрові установки: а) – з вертикальною віссю обертання;
б) – з горизонтальною віссю обертання

Такі вітроустановки прості й дешеві в монтажі та експлуатації (практично відсутня необхідність обслуговування чи періодичного налаштування). Перспективним є використання тихохідних багатолопатевих вітроустановок середньої потужності, що здатні забезпечувати виробництво електроенергії при невисоких середніх швидкостях вітру (в межах 3-5 м/с) [9]. Їх термін окупності залежно від розташування та потужності становить 3-8 років, а термін експлуатації триває до 20 років. Питомі капітальні витрати на будівництво установок малої потужності для різних потреб (генерація електроенергії, подачі

води і таке інше) становлять 800-2000 доларів за 1 кВт встановленої потужності. Витрати зменшуються при збільшенні потужності установки [9].

В той же час, при розробці автономної тихохідної вітроустановки необхідне вирішення двох завдань:

– перше, забезпечення умов роботи генератора при великих швидкостях вітру або його поривах водночас з малим, або зовсім відсутнім споживанням потужності;

– друге, забезпечення електропостачання споживачів при малій швидкості вітру або штилю.

Вирішення цих завдань можливе двома шляхами:

–підвищення ефективності використання генерованої потужності за рахунок застосування системи управління перетворювачем який має змінний рівень потужності, що може бути забезпечений ВЕУ в даний момент. Вказаний спосіб досить технічно складний та вимагає значних матеріальних затрат. хоча й дещо ефективніший;

– використання в колі передачі потужності від вітроколеса до споживача контуру зворотного зв'язку з елементом регулювання зворотного напрямлення потужності та акумулятора електричної (механічної) енергії. Потужність, відібрана від повітряного потоку з метою збереження балансу, здійснюється пружинним регулятором, який змінює кут повороту лопатей стосовно напрямку вітру. Структурна схема ВЕУ з електродинамічним гальмом і пружинним регулятором повороту лопатей зображена на рис. 1.6 [9].

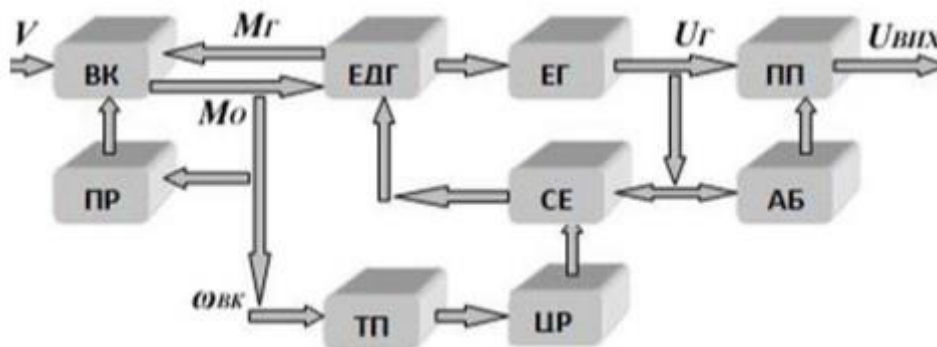


Рисунок 1.6 – Структурна схема ВЕУ [9].

Як видно зі структурної схеми, вітровий потік швидкістю V діє на вітроколесо ВК і створює обертовий момент $МО$, який через вал електродинамічного гальма ЕДГ подається на електричний генератор ЕГ. Генеровану електричну енергію проміжний перетворювач ПП формує в синусоїдну напругу $U_{вих}$ необхідної якості, що передається споживачам. Частина надлишкової потужності йде на заряджання акумуляторної батареї АБ, яка в разі відсутності генерації потужності є резервним джерелом.

Порушення балансу потужності, внаслідок якого перевищується нормоване значення вихідної напруги $U_{Г}$ генератора ЕГ, або зростає розрахункова швидкість обертання вітроколеса ВК $\omega_{ВК}$, з тахометра-перетворювача ТП та з генератора ЕГ, на центральний регулятор ЦР надходять сигнали під дією яких він створює сигнал керування для силового елемента СЕ. Частина вихідної потужності ЕГ через силовий елемент передається електродинамічному гальму ЕДГ, яке створює гальмівний момент $МГ$ на валу вітроколеса ВК, стабілізуючи швидкість обертання шляхом повертання лопатей проти опору пружинних елементів регулятора ПР [9].

Таким чином оптимізується відбір потужності потоку повітря залежно від навантаження споживача і, водночас, забезпечується відносна стабільність частоти обертання вітроколеса.

Сфера вітроенергетики регулюється рядом Законів України, наприклад «Про альтернативні джерела енергії», «Про електроенергетику» і таке інше, а також підзаконними нормативно-правовими актами. Правовий порядок регулювання діяльності ВЕС залежно від їх потужності.

Вітрогенератори потужністю до 75 кВт прирівнюються до побутових електроприладів, тому для їх використання відсутня необхідність ліцензування чи отримання дозволу. Вимагається тільки дотримання правил установки стаціонарних малих архітектурних форм.

Стосовно приєднання до електричних мереж вітроелектростанцій потужністю понад 100 кВт прийняте спеціальне правове регулювання

відповідно до Правил, затверджених наказом Міністерства палива та енергетики України [10].

Висновки за розділом 1

Розташування фермерського господарства та кліматичні умови (середня швидкість вітру близько 4 м/с) однозначно вказують на те, що для електричного живлення вівчарні економічно та технічно виправданим є застосування багатолопатевої тихохідної вітрової установки. При цьому не потрібне складне проєктування та правове забезпечення монтажу та експлуатації БЕУ.

2 РОЗРАХУНОК ВІТРОВОЇ ТУРБІНИ

2.1 Визначення параметрів вітру та діаметру вітрового колеса

Розрахована в розділі 1.1 середня за рік швидкість вітру становить 4,1 м/с, але з травня по серпень включно швидкість вітру нижча 4 м/с за якої використання ВЕУ недоцільне. До того ж, в ці місяці тварини знаходяться на пасовищі, тому до уваги беремо тільки період від вересня до квітня. Середня швидкість вітру в цей період визначається як:

$$v_{\text{ср}} = \frac{\sum_1^8 v_{\text{нср}}}{n}, \quad (2.1)$$

де $v_{\text{нср}}$ – середня швидкість вітру за місяць, м/с (рис. 1.3);

n – кількість врахованих місяців, $n = 8$.

$$v_{\text{ср}} = \frac{4,75+5,0+4,75+4,25+3,75+4,25+4,45+4,65}{8} = 4,48 \text{ м/с}.$$

Середня швидкість розрахована на висоті флюгеру, тобто 10 м, але зі збільшенням висоти вона також збільшується. Розрахунок профілю вітру по висоті виконуємо за формулою Д.Т. Лайхтмана [11]:

$$V = V_1 \times \frac{\lg \frac{H}{H_0}}{\lg \frac{H_1}{H_0}}, \quad (2.2)$$

де V – швидкість вітру на визначеній висоті H , м/с;

V_1 – швидкість вітру на висоті флюгеру $H_1 = 10$ м; $V_1 = 4,48$ м/с;

H_0 – висота, на якій швидкість вітру дорівнює 0 (показник залежить від шорсткості поверхні).

В місці розташування вівчарні влітку присутній невисокий трав'яний покрив, а взимку – сніговий покрив. Відповідно до рекомендацій [11] при низькому трав'яному покриві $H_0 = 3,2$ см.

За (2.2) на висоті 20 м (прийнята висота щогли) середня швидкість вітру, V_{20} становить:

$$V_{20} = 4,48 \times \frac{\lg \frac{20}{0,032}}{\lg \frac{10}{0,032}} = 7,21 \text{ м/с.}$$

Результати розрахунку швидкості вітру зі зміною висоти від 10 м до 30 м наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Зміна швидкості вітру з висотою

Висота, Н, м	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Швидкість вітру, V, м/с	4,48	5,2	5,8	6,38	6,79	7,21	7,58	7,92	8,24	8,53	8,8

Залежність середньої швидкості вітру від висоти показана на рис. 2.1.

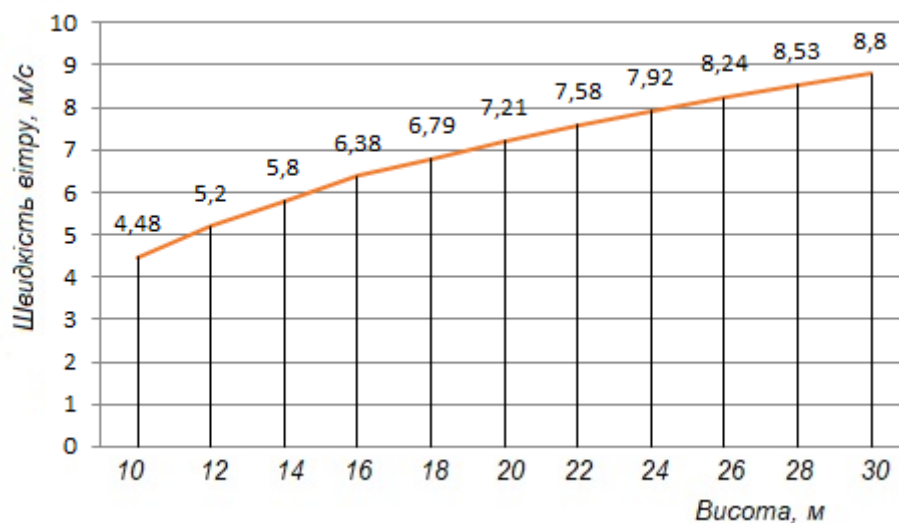


Рисунок 2.1 – Зміна швидкості вітрового потоку від висоти

Середня номінальна швидкість вітрового потоку для установки становить:

$$V_H = (1,25 \dots 2,0) V_{cp}, \quad (2.3)$$

$$V_H = 1,25 \times 4,48 = 5,6 \text{ м/с.}$$

Енергія потоку вітру, що набігає на вітроколесо ВЕУ за 1 секунду, є аеродинамічною потужністю, та визначається за виразом:

$$P_A = \frac{m \times v^2}{2}, \quad (2.4)$$

де P_A – аеродинамічна потужність, Вт, $P_A = 8000$ Вт (див. розділ 1.2;

v – швидкість вітрового потоку до моменту зустрічі із ротором, м/с;

m – маса повітря, що проходить через ротор за 1 секунду, кг;

В свою чергу, маса повітря визначається, як:

$$m = \rho \times V, \quad (2.5)$$

де ρ – густина повітря, що протікає через ротор; (для сухого повітря при температурі -5 °С та тискові $101,325$ кПа дорівнює $1,317$ кг/м³) [12];

V – об'єм повітря, що проходить через ротор за 1 секунду, м³;

$$V = S \times v, \quad (2.6)$$

де S – площа ротора, яку обдуває вітер, залежна від його діаметра:

$$S = \frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{2 \times P_A}{\rho \times v^3}, \quad (2.7)$$

де D – діаметр вітрового колеса, м.

За виразом (2.7) визначаємо:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times S}{\pi}}, \quad (2.8)$$

Після підстановки в (2.8) значень параметрів з виразів (2.4) та (2.6) отримуємо формулу для визначення діаметру вітроколеса:

$$D = \sqrt{\frac{8 \times P}{\pi \times \rho \times v^3}} = \sqrt{\frac{8 \times 8000}{3,14 \times 1,317 \times 7,21^3}} = 6,43 \text{ м.} \quad (2.9)$$

Приймаємо діаметр ротору вітроколеса рівним 7 м, відповідно радіус становить 3,5 м.

2.2 Розрахунок параметрів вітрового колеса

Головною обертальною силою коліс ВЕУ горизонтально-осьового типу є підйомна сила лопатей [13], оскільки вони мають крилоподібну форму. У таких ВЕУ вітрове колесо обертається у вертикальній площині, перпендикулярно до напрямку вітру.

Залежно від значення коефіцієнта швидкохідності, Z вітрові двигуни умовно поділяють на:

- тихохідні, з великою кількістю лопатей (12 – 40), для яких характерний великий пусковий момент, а коефіцієнт швидкохідності $Z < 1,5$ [13];
- середньої швидкості з кількістю лопатей 4 – 7 та коефіцієнтом швидкохідності в межах 1,5 – 3,5 [13];
- швидкохідні, з роторами у вигляді авіаційного пропелера, який має три (найчастіше), дві або одну лопать. Такі двигуни мають найкращу аеродинаміку, коефіцієнт швидкохідності більший 3,5, але невеликий пусковий момент [13].

Для ВЕУ малої та середньої потужності особливістю є відсутність великої гондоли, оскільки в ній практично відсутнє обладнання крім генератора.

В проєктованій ВЕУ передбачаємо застосування 6-лопатевого вітрового двигуна середньої швидкості з коефіцієнтом швидкохідності $Z = 3,5$.

Кількість лопатей n , взаємно зв'язана з Z виразом:

$$n = \frac{80}{Z^2} = \frac{80}{3,5^2} = 6,5 \text{ шт.}$$

З округленням до найближчого меншого числа розрахована кількість лопатей 6, відповідає прийнятій попередньо кількості.

При визначеній номінальній швидкості потоку вітру 5,6 м/с при шести лопатях частота обертання ротора становитиме:

$$\omega_{\text{об/хв}} = \frac{60 \times Z \times v}{\pi \times D} \text{ об/хв.} \quad (2.10)$$

$$\omega_{\text{об/хв}} = \frac{60 \times Z \times v}{\pi \times D} = \frac{60 \times 3,5 \times 5,6}{3,14 \times 7} = 53 \text{ об/хв.}$$

Це ж виражене в Герцах становить: $\omega_{\text{Гц}} = \frac{\omega_{\text{об/хв}}}{60} = \frac{53}{60} = 0,88 \text{ Гц.}$

Площа омивання вітроколеса вітром становить $S = \frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{3,14 \times 7^2}{4} = 38 \text{ м}^2.$

2.2.1 Вибір профілю лопатей та аеродинамічний розрахунок вітроколеса

Лопаті ВЕУ можуть мати різний аеродинамічний профіль, чітка стандартизація яких нині відсутня.

В даній установці передбачаємо застосування симетричного профілю НАСА 0015 [14]. Його зовнішній вигляд показаний на рис. 2.2. Відповідно аеродинамічні характеристики представлені в табл. 2.2, а безрозмірні координати – в табл. 2.3. Профіль належить до середніх за товщиною.

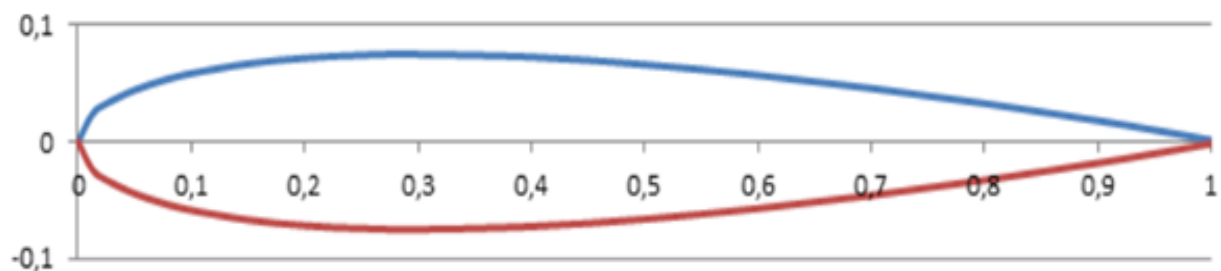


Рисунок 2.2 – Вигляд профілю НАСА 0015

Таблиця 2.2 – Аеродинамічні характеристики профілю NASA 0015 [14]

Номер точки характеристики	Параметр		
	Кут атаки, $\alpha, ^\circ$	Коефіцієнт підйомної сили, C_{ya} , в. о.	Коефіцієнт опору, C_{xa} , в.о.
1	0	0	0,0077
2	2	0,15	0,009
3	4	0,3	0,014
4	6	0,45	0,02
5	8	0,6	0,031
6	10	0,74	0,042
7	12	0,89	0,06
8	14	1,02	0,075
9	16	1,17	0,095
10	18	1,3	0,119
11	20	1,42	0,14

Таблиця 2.3 – Безрозмірні координати симетричного профілю NASA 0015 (ордината в долях максимальної товщини C , (+ верхня), (- нижня))

Номер точки	$\bar{x} = (x/b)100\%$	$+\bar{y} = (y/c)100\%$	$-\bar{y} = (y/b)100\%$
1	0,00	0,00	0
2	1,25	2,367	-2,367
3	2,50	3,268	-3,268
4	5,00	4,443	-4,443
5	7,50	5,25	-5,25
6	10,00	5,853	-5,853
7	15,00	6,682	-6,682
8	20,00	7,172	-7,172
9	25,00	7,427	-7,427
10	30,00	7,502	-7,502
11	40,00	7,254	-7,254
12	50,00	6,617	-6,617
13	60,00	5,704	-05,704
14	70,00	4,58	-4,58
15	80,00	3,279	-3,279
16	90,00	1,81	-1,81
17	95,00	1,008	-1,008
18	100,00	0,158	-0,158

Аеродинамічні профілі за відносною товщиною поділяють на товсті (відносна товщина $c > 18\%$), середні (відносна товщина $12\% - 6\%$) та тонкі (відносна товщина $c < 6\%$). Лопаті з товстим профілем мають більший

аеродинамічний опір порівняно з тонкими, але тонкі профілі більш складні з технологічних міркувань їх виробництва та монтажу а також міцності.

Для визначення максимального коефіцієнта потужності спочатку розраховується коефіцієнт гальмування. Його розрахунок починається з того, що на основі декількох довільно взятих значень коефіцієнту гальмування e , наприклад 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4; 0,45 визначається ідеальний коефіцієнт потужності ξ_i за формулою:

$$\xi_i = 4 \times e \times \frac{1-e}{1+e}, \quad (2.11)$$

При $e=0,2$ $\xi_i = 4 \times 0,2 \times \frac{1-0,2}{1+0,2} = 0,533$. Аналогічно розрахунки виконуються для інших значень, результати зведені в табл. 2.4,

Реальне ж значення коефіцієнту гальмування ξ , при якому коефіцієнт потужності найбільший, відрізняється від ідеального та розраховується за формулою:

$$\xi = \xi_i \left(1 - \frac{r_0^2}{R^2} - \bar{T}_j - \bar{T}_p - \bar{T}_\emptyset\right), \quad (2.12)$$

ξ_i – ідеальний коефіцієнт потужності;

$\bar{T}_j, \bar{T}_p, \bar{T}_\emptyset$ – відповідно коефіцієнти втрат на кінці лопаті; профільних втрат; на закручення струменю повітря;

$\frac{r_0}{R}$ – конструкційний параметр, для ВЕУ діаметром до 10 м $\frac{r_0}{R}=0,1$.

Вказані параметри, як приклад, розраховуються для $e = 0,2$.

Коефіцієнт втрат на кінці лопаті визначається за формулою:

$$T_j = \frac{e}{1-e} \times \left(\frac{8 \times \sqrt{1 + \left(\frac{1-e}{Z}\right)^2}}{(1+e) \times i_L \times Z} - \left(\sqrt{1 + \left(\frac{i_L \times Z}{\pi \times \left(1 - \frac{e}{2}\right)} \right)^2} \right)^{-1} \right) \quad (2.13)$$

$$T_j = \frac{0,2}{1-0,2} \times \left(\frac{8 \times \sqrt{1 + \left(\frac{1-0,2}{5}\right)^2}}{(1+0,2) \times 6 \times 3,5} - \left(\sqrt{1 + \left(\frac{6 \times 3,5}{3,14 \times \left(1 - \frac{0,2}{2}\right)}\right)^2} \right)^{-1} \right) = 0,048.$$

Коефіцієнт профільних втрат $\overline{T}_p$ розраховується, як:

$$\overline{T}_p = 2 \times \mu_{a \text{ ср}} \left(\frac{1-e}{z} + \frac{z}{3 \times (1-e)} \right), \quad (2.14)$$

де $\mu_{a \text{ ср}} = 0,019$ – середній коефіцієнт зворотної аеродинамічної якості профілю.

$$\overline{T}_p = 2 \times 0,019 \left(\frac{1-0,2}{3,5} + \frac{3,5}{3 \times (1-0,2)} \right) = 0,061.$$

Коефіцієнт втрат на закручення струменю $\overline{T}_\phi$ визначається за формулою:

$$\overline{T}_\phi = \frac{\xi_i \times \eta_i^2}{2 \times z^2} \ln \frac{R}{r_0}, \quad (2.15)$$

$$\text{де } \eta_i \approx \frac{1 - \mu_{a \text{ ср}} \times z}{1 + \frac{\mu_{a \text{ ср}}}{z}} = \frac{1 - 0,019 \times 3,5}{1 + \frac{0,019}{3,5}} = 0,928.$$

z – середній коефіцієнт швидкохідності вздовж лопаті:

$$z = \frac{1+r_0}{2} \times Z_R = \frac{1+0,2}{2} \times 3,5 = 2,1.$$

$$\overline{T}_\phi = \frac{0,533 \times 0,928^2}{2 \times 2,1^2} \ln \frac{3,5}{0,2} = 0,031.$$

Реальний коефіцієнт потужності:

$$\xi = \xi_i \left(1 - \frac{r_0^2}{R^2} - \overline{T}_j - \overline{T}_p - \overline{T}_\phi \right) = 0,533 \left(1 - \frac{0,2^2}{3,5^2} - 0,048 - 0,061 - 0,031 \right) = 0,437.$$

Результати розрахунку параметрів представлені в табл. 2.4, а графік залежності коефіцієнта потужності від коефіцієнта гальмування показаний $\xi_{\text{поп}} = f(e)$ – на рис. 2.3.

Таблиця 2.4 – Визначені параметри при різних коефіцієнтах гальмування e

Параметр	Номер точки					
	1	2	3	4	5	6
Коефіцієнт гальмування потоку, e	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45
Коефіцієнт ідеальної потужності, ξ_i	0,533	0,6	0,646	0,674	0,686	0,683
Коефіцієнт кінцевих втрат, $\bar{T}_j$	0,048	0,061	0,074	0,089	0,105	0,123
Коефіцієнт профільних втрат, $\bar{T}_p$	0,061	0,064	0,068	0,072	0,077	0,083
Коефіцієнт втрат на закручення струменю, $\bar{T}_\theta$	0,031	0,035	0,037	0,039	0,039	0,038
Середній по довжині лопаті коефіцієнт швидкохідності, $Z_{\text{сер}}$	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Середній по висоті лопаті відносний ККД, η_i	0,946	0,943	0,940	0,936	0,931	0,926
Реальний коефіцієнт потужності попередній, $\xi_{\text{поп}}$	0,437	0,480	0,504	0,513	0,507	0,488

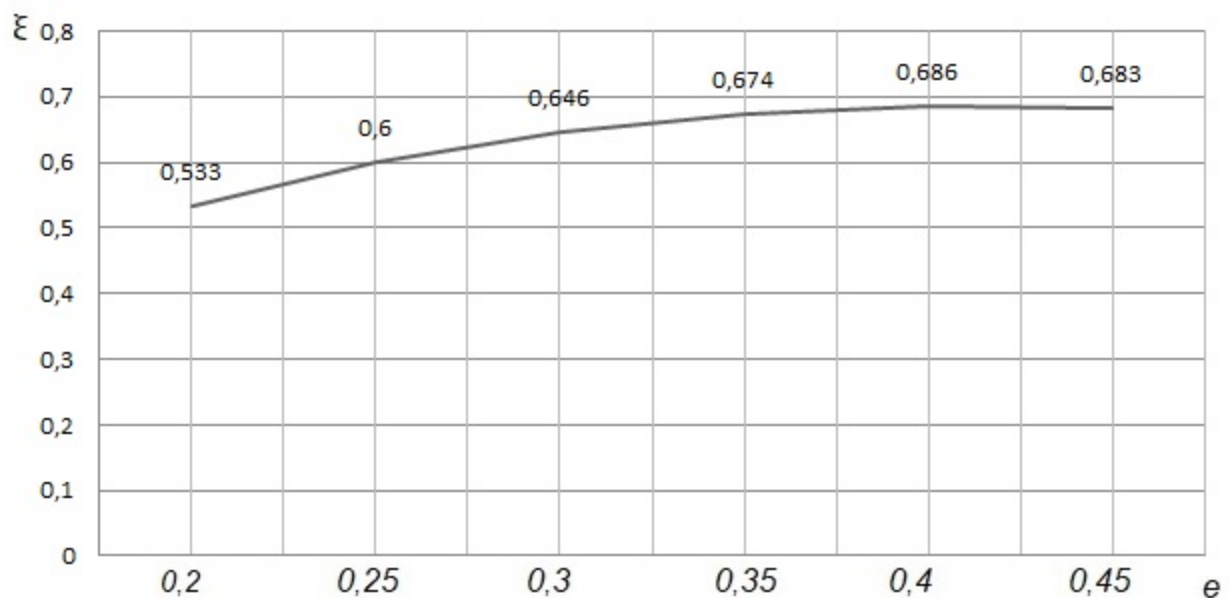


Рисунок 2.3 – Графік залежності коефіцієнта ідеальної потужності від коефіцієнту гальмування, $\xi_i = f(e)$

З розрахованих даних і графіку видно, що при коефіцієнті гальмування $\epsilon = 0,4$ попередній коефіцієнт потужності найбільший і становить $\xi_{\text{поп}} = 0,513$, а коефіцієнт ідеальної потужності $\xi_i = 0,686$,

Аеродинамічні характеристики лопаті вітрового колеса зручно визначати спираючись на лінійний розмір хорди профілю, тобто довжину прямої b , яка з'єднує носик профілю з хвостовою точкою. Оскільки профіль NASA 0015 симетричний, то середня лінія лопаті збігається з її хордою – кривизна відсутня. Довжина хорди впродовж лопаті може бути як постійною, так і змінною. В останньому випадку довжина визначається відстанню від місця кріплення лопаті на ступиці, (приблизно від осі обертання) до хорди та розраховується за формулою:

$$b = \frac{16 \times \pi \times R \times \left(\frac{R}{r}\right)}{9 \times Z^2 \times i_{\text{л}}} \text{ м}, \quad (2.16)$$

де r – відстань від осі обертання до визначеної точки лопаті (змінюється в межах $0 < r \leq R$);

Наприклад, для кореневої частини лопаті (комель) довжина хорди $b_{\text{комл}}$ згідно з (2.8) дорівнює:

$$b_{\text{комл}} = \frac{16 \times 3,14 \times 3,5 \times \left(\frac{3,5}{0,2 \times 3,5}\right)}{9 \times 3,5^2 \times 6} = 1,33 \text{ м}.$$

Довжини хорди для інших перерізів лопаті, які розташовані від осі обертання на відстанях $r_1 = 0,2R = 0,7$ м; $r_2 = 0,4R = 1,4$ м; $r_3 = 0,6R = 2,1$ м; $r_4 = 0,8R = 2,8$ м; $r_5 = 1,0R = 3,5$ м, розраховуються аналогічно кореневій частині. Ці довжини відповідно становлять 0,66 м; 0,44 м; 0,33 м; 0,27 м.

З досвіду проектування довжина хорди на кінці лопаті зазвичай становить близько 3,8% від діаметру вітроколеса: $b_{\text{к}} = \frac{3,8}{100} \times D = 0,038 \times 7 = 0,266$ м – тобто результати збігаються з попереднім розрахунком.

2.2.2 Перевірка довжини лопаті та визначення товщини її перерізів

З досвіду проєктування, за умовами механічної міцності та найменшого індуктивного опору, довжина лопаті $L_{\text{лоп}}$ повинна відповідати співвідношенню:

$$1,5 R > L_{\text{лоп}} > 4 b, \quad (2.17)$$

де $L_{\text{лоп}}$ – довжина лопаті.

Довжина лопаті за попередніми розрахунками прийнята $L_{\text{лоп}} = R = 3,5$ м. Для відстані $0,8R$ довжина хорди становить $0,33$ м, тому умова (2.17) виконується: $1,5 \times 3,5 > 3,5 > 4 \times 0,33$.

2.2.2.1 Розрахунок товщини перерізів лопаті

Прийнятий профіль НАСА 0015 має її відносну товщину в кореновому (комлевому) перерізі 15% $\bar{c}_{\text{комл}} = 0,15$, а в кінцевому (периферійному) перерізі товщину $\bar{c}_{\text{периф}} = 0,1$.

Для інших перерізів відносна товщина, $\bar{c}_k$ розраховується за виразом:

$$\bar{c}_k = \bar{c}_{\text{комл}} + \frac{(\bar{c}_{\text{кінц}} - \bar{c}_{\text{комл}})(k-1)}{n-1}, \quad (2.18)$$

де $\bar{c}_{\text{комл}} = 0,15$;

$\bar{c}_{\text{кінц}} = 0,1$;

n – кількість перерізів лопаті, $n = 5$;

$k = 1, 2, 3, 4, 5$ – номер перерізу.

Так для другого перерізу за (2.18): $\bar{c}_2 = 0,15 + \frac{(0,1-0,15)(2-1)}{5-1} = 0,14$,
аналогічно $\bar{c}_3 = 0,13$; $\bar{c}_4 = 0,11$.

Визначені відносні величини товщини профілів дають можливість розрахунку їх розмірних параметрів:

$$c_k = \bar{c}_k \times b_k, \quad (2.19)$$

де $\bar{c}_k$ – відносна товщина перерізу;

b_k – хорда перерізу, м.

Для комлевого перерізу $c_{\text{комл}} = \bar{c}_{\text{комл}} \times b_{\text{комл}} = 0,15 \times 1330 = 200$ мм, для другого $c_2 = \bar{c}_2 \times b_2 = 0,14 \times 660 = 92$ мм, для третього – $c_3 = 57$ мм, для четвертого – $c_4 = 36$ мм, для кінцевого – $c_5 = 27$ мм.

Відносні хорди перерізів стосовно зовнішнього радіуса становлять: $\bar{b}_1 = 0,38$; $\bar{b}_2 = 0,19$; $\bar{b}_3 = 0,13$; $\bar{b}_4 = 0,09$; $\bar{b}_5 = 0,08$.

2.2.3 Розрахунок коефіцієнтів швидкохідності, числа відносних модулів, та коефіцієнтів сумарної напруженості перерізу лопаті

Коефіцієнти швидкохідності Z_k розраховуються за виразом:

$$Z_k = Z_R \times \bar{r}_k, \quad (2.20)$$

де $Z_R = 3,5$ – попередньо визначена бистрохідність;

r_k – відносний радіус розміщення перерізу; $\bar{r}_1 = 0,2$, $\bar{r}_2 = 0,4$, $\bar{r}_3 = 0,6$, $\bar{r}_4 = 0,8$, $\bar{r}_5 = 1,0$.

Відповідно до (2.20) $Z_1 = 0,7$, $Z_2 = 1,4$, $Z_3 = 2,1$, $Z_4 = 2,8$, $Z_5 = 3,5$.

Число відносних модулів перерізу Z_{ui} розраховується за формулою:

$$Z_{ui} = Z_k \times \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{\xi_{iД}}{Z_k^2}}}{2(1 - e_{\text{опт}})}, \quad (2.21)$$

де ξ_{id} – коефіцієнт ідеальної потужності, $\xi_{id}=0,686$;

e – коефіцієнт гальмування потоку, $e = 0,4$

$$Z_{u1} = 0,7 \times \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{0,686}{0,7^2}}}{2(1-0,4)} = 1,49; \quad \text{аналогічно} \quad \text{визначаються} \quad Z_{u2} = 2,98;$$

$$Z_{u3} = 4,47; Z_{u4} = 5,96; Z_{u5} = 7,45.$$

Коефіцієнт сумарної напруженості перерізів в зоні дії елементарного кільцевого струменю визначається, як:

$$C_{\text{напр } i} = \frac{8\pi \times \bar{r}_k \times e_{\text{опт}}}{(1+e_{\text{опт}})(1-e_{\text{опт}})^2 (Z_{u_k} + C_{\text{ха min}}) \times \sqrt{1+Z_{u_k}^2}}, \quad (2.22)$$

де $C_{\text{ха min}}$ – найменший коефіцієнт опору.

Найменший коефіцієнт опору, $C_{\text{ха min}} = 0,0077$ (в. о.), (табл. 2.2).

Коефіцієнт сумарної напруженості для першого перерізу:

$$C_{\text{напр } 1} = \frac{8 \times 3,14 \times 0,2 \times 0,4}{(1+0,4)(1-0,4)^2 (1,49+0,0077) \times \sqrt{1+1,49^2}} = 1,55$$

Другого – 0,85; третього – 0,583; четвертого – 0,442; п'ятого – 0,047.

2.2.4 Розрахунок кутів встановлення лопатей

Кут Ψ , встановлення лопаті стосовно вітру, є змінним вздовж неї, тому, що залежить від кута набігання потоку β , а також від відстані r і визначається за формулою:

$$\Psi = \beta - \alpha, \quad (2.23)$$

де α – кут атаки вітрового потоку на лопать;

β – кут набігання вітрового потоку.

Схема дії вітрового потоку на лопать з вказівкою відповідних кутів показана на рис. 2.4.

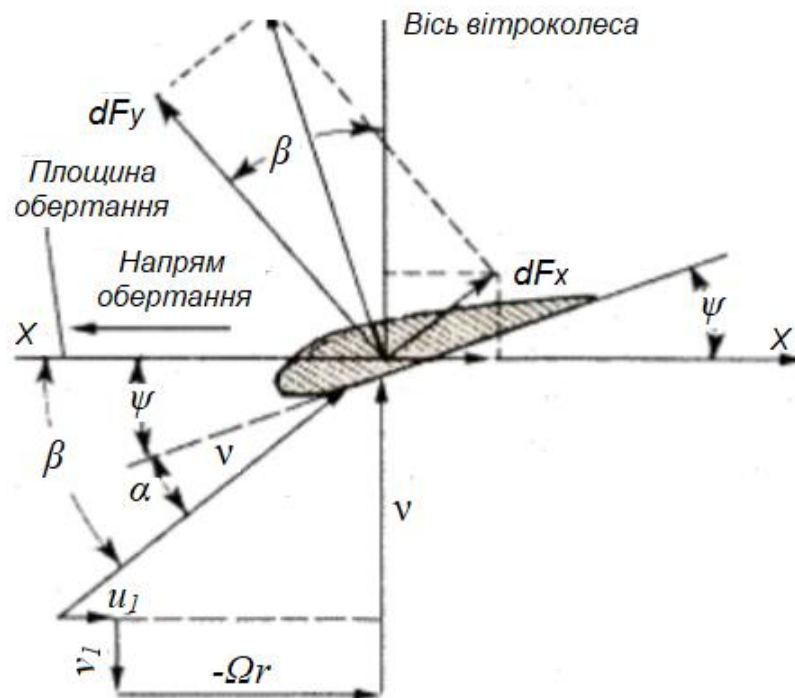


Рисунок 2.4 – План швидкостей вітрового потоку та кути набігання на лопать

Кути атаки вітрового потоку на перерізи лопаті визначаються за формулою:

$$\alpha_k = \alpha(i_k-1) + (\alpha(i_k) - \alpha(i_k - 1)) \times \frac{C_{yak} - C_{ya}(i_k-1)}{C_{ya}(i_k) - C_{ya}(i_k-1)}, \quad (2.24)$$

де $C_{yak} = \frac{C_{напрk}}{i_{л} \times b_k}$.

$$C_{ya1} = \frac{C_{напр1}}{i_{л} \times b_1} = \frac{1,55}{6 \times 0,38} = 0,679; \quad C_{ya2} = \frac{0,85}{6 \times 0,19} = 0,746; \quad C_{ya3} = \frac{0,583}{6 \times 0,13} = 0,747;$$

$$C_{ya4} = \frac{0,09}{6 \times 0,442} = 0,034; \quad C_{ya5} = \frac{0,08}{6 \times 0,047} = 0,28.$$

Номера елемента висхідної гілки характеристики C_{ya} приймають рівним C_{yak} , або найближчим більшим за нього із масиву вихідних даних [14].

Наприклад, для першого перерізу розрахований коефіцієнт підйомної сили $C_{ya1} = 0,679$, приймаємо $C_{ya1} = 0,74$, $i_1 = 6$; $C_{ya2} = 0,746$, приймаємо $C_{ya2} = 0,89$, $i_2 = 7$; $C_{ya3} = 0,747$, приймаємо $C_{ya3} = 0,89$, $i_3 = 7$; $C_{ya4} = 0,034$, приймаємо $C_{ya4} = 0,15$, $i_4 = 2$; $C_{ya5} = 0,28$, відповідно $C_{ya5} = 0,3$, $i_5 = 3$; тоді:

$$\alpha_1 = 8 + (10 - 8) \times \frac{0,679 - 0,6}{0,74 - 0,6} = 9,13; \alpha_2 = 10 + (12 - 10) \times \frac{0,746 - 0,74}{0,89 - 0,74} = 10,08.$$

$$\alpha_3 = 10 + (12 - 10) \times \frac{0,747 - 0,74}{0,89 - 0,74} = 10,09, \alpha_4 = 0 + (2 - 0) \times \frac{0,034 - 0}{0,15 - 0} = 0,45,$$

$$\alpha_5 = 2 + (4 - 2) \times \frac{0,28 - 0,15}{0,3 - 0,15} = 2,92.$$

Кути набігання вітрового потоку розраховуються як:

$$\beta = \arctg \left(\frac{1}{Z_{uk}} \right) \quad (2.25)$$

На кінці лопаті, де $r = R$, кут набігання становить:

$$\beta = \arctg \left(\frac{2 \times R}{3 \times r \times Z} \right) = \arctg \left(\frac{2 \times 3,5}{3 \times 3,5 \times 3,5} \right) = 10,78^\circ.$$

Для $r = 0,2$ $\beta = 46,6$; для $r = 0,4$ $\beta = 25,46$; для $r = 0,6$ $\beta = 17,61$; для $r = 0,8$ $\beta = 17,61$.

Відповідно кут Ψ становить: $\Psi_{0,2} = \beta_{0,2} - \alpha_{0,2} = 46,6 - 9,13 = 37,47$;

$\Psi_{0,4} = 15,38$; $\Psi_{0,6} = 7,52$; $\Psi_{0,8} = 17,16$; $\Psi_{1,0} = 7,86$.

Всі розраховані величини зведені в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Визначені параметри хорди, товщини профілю та кут встановлення лопаті

Параметри, позначення, одиниці вимірювання	Номер перерізу				
	1	2	3	4	5
Відносний радіус розміщення перерізу, $\bar{r}_k$, в. о.	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0

Продовження таблиці 2.5

Параметри, позначення, одиниці вимірювання	Номер перерізу				
	1	2	3	4	5
Радіус розміщення перерізу, r_k , мм	700	1400	2100	2800	3500
Відносна хорда (в частках зовнішнього радіусу, $\bar{b}_k$, в. о.	0,38	0,19	0,13	0,09	0,08
Розмірна величина хорди лопаті, b_k , мм	1330	660	570	360	270
Відносна товщина, перерізу $\bar{c}_k$, в. о.	0,15	0,14	0,13	0,11	0,1
Розмірна товщина перерізу, c_k , мм	200	92	57	36	27
Розрахунковий коефіцієнт підйомної сили, $C_{y_{a k}}$, в. о.	0,679	0,746	0,747	0,034	0,15
Номер точки характеристики, i_k	6	7	7	2	3
Прийнятий коефіцієнт підйомної сили, $C_{y_{a k}}$, в. о.	0,74	0,89	0,89	0,15	0,3
Кут обтікання, β_k , градус	46,6	25,46	17,61	17,61	10,78
Кут атаки перерізу, α_k , градус	9,13	10,08	10,09	0,45	2,92
Кут встановлення лопаті, Ψ , град.	37,47	15,38	7,52	17,16	7,86

2.2.5 Розрахунок координат профілів перерізів

При виготовленні лопатей користуються роз'ємними контрольними шаблонами перерізів, які формуються на основі координатів профілів по довжині лопаті. Ці координати розраховуються за безрозмірними координатами верхньої ($\bar{x}, \bar{y}_v$) та нижньої ($\bar{x}, \bar{y}_n$) дуг профілю НАСА 0015 (Табл. 2.3) шляхом перерахунку в розмірні величини за формулами:

$$x_i = \bar{x}_i \times \frac{b_1}{100}; y_{vi} = \bar{y}_{vi} \times \frac{c_1}{100}; y_{ni} = \bar{y}_{ni} \times \frac{c_1}{100}, \quad (2.26)$$

Для комлевого перерізу:

$$x_1 = \bar{x}_1 \times \frac{1330}{100}; y_{v1} = \bar{y}_{v1} \times \frac{200}{100}; y_{n1} = \bar{y}_{n1} \times \frac{200}{100}.$$

Результати розрахунку профілів перерізів лопаті зведені в табл. 2.6 – 2.10, а їх вигляд – на рисунках 2.5 – 2.9.

Таблиця 2.6 – Координати профілю комлевого перерізу лопаті
($b_1=1330$ мм; $c_1 = 200$ мм)

X, мм	Y_B , мм	Y_H , мм
0,0	0,0	0,0
16,6	4,7	-4,7
33,3	6,5	-6,5
66,5	8,9	-8,9
99,8	10,5	-10,5
133,0	11,7	-11,7
199,5	13,4	-13,4
266,0	14,3	-14,3
332,5	14,9	-14,9
399,0	15,0	-15,0
532,0	14,5	-14,5
665,0	13,2	-13,2
798,0	11,4	-11,4
931,0	9,2	-9,2
1064,0	6,6	-6,6
1197,0	3,6	-3,6
1263,5	2,0	-2,0
1330,0	0,3	-0,3

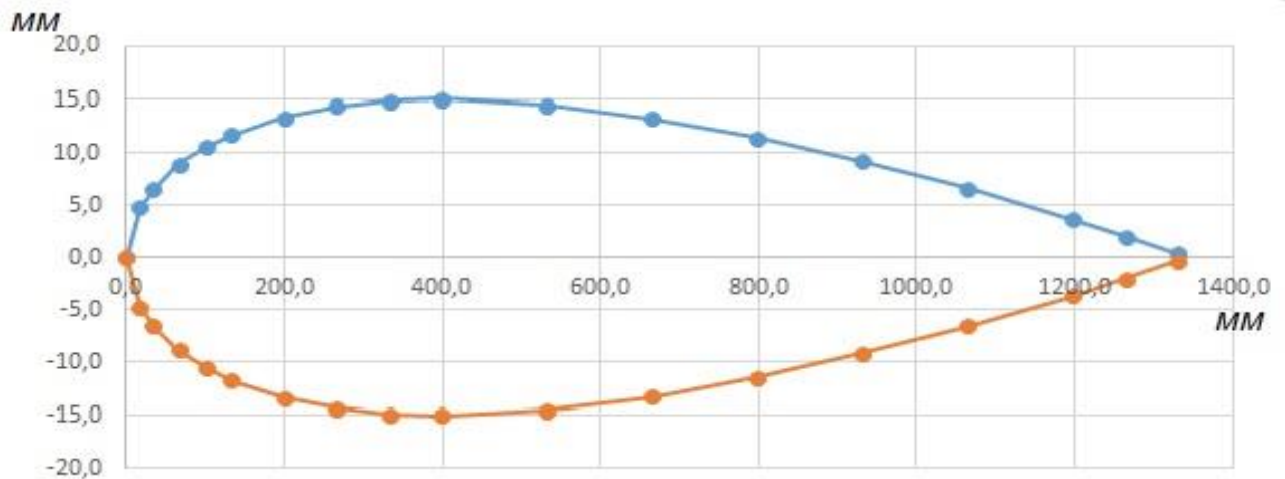


Рисунок 2.5 – Профіль комлевого перерізу

Таблиця 2.7 – Координати профілю другого перерізу лопаті
($b_1=660$ мм; $c_1 = 92$ мм)

X, мм	Y_B , мм	Y_H , мм
0,0	0,0	0,0
8,3	2,2	-2,2
16,5	3,0	-3,0
33,0	4,1	-4,1
49,5	4,8	-4,8
66,0	5,4	-5,4
99,0	6,1	-6,1

Продовження таблиці 2.7

X, мм	Y _в , мм	Y _н , мм
132,0	6,6	-6,6
165,0	6,8	-6,8
198,0	6,9	-6,9
264,0	6,7	-6,7
330,0	6,1	-6,1
396,0	5,2	-5,2
462,0	4,2	-4,2
528,0	3,0	-3,0
594,0	1,7	-1,7
627,0	0,9	-0,9
660,0	0,1	-0,1

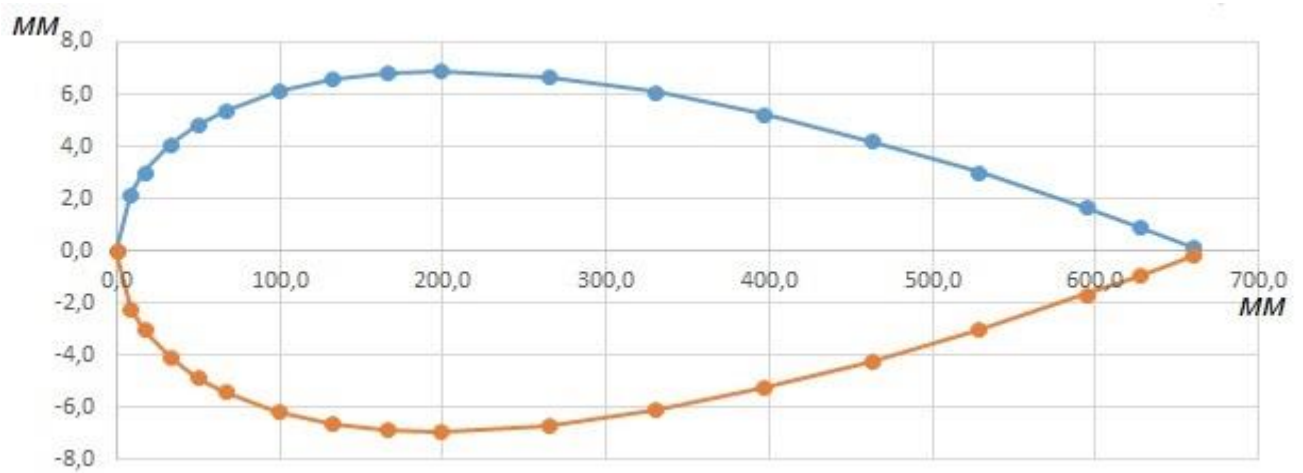


Рисунок 2.6 – Профіль другого перерізу

Таблиця 2.8 – Координати профілю третього перерізу лопаті

(b₁=440 мм; c₁ = 57 мм)

X, мм	Y _в , мм	Y _н , мм
0,0	0,0	0,0
5,5	1,3	-1,3
11,0	1,9	-1,9
22,0	2,5	-2,5
33,0	3,0	-3,0
44,0	3,3	-3,3
66,0	3,8	-3,8
88,0	4,1	-4,1
110,0	4,2	-4,2
132,0	4,3	-4,3
176,0	4,1	-4,1
220,0	3,8	-3,8
264,0	3,3	-3,3
308,0	2,6	-2,6

Продовження таблиці 2.8

X, мм	Y _в , мм	Y _н , мм
352,0	1,9	-1,9
396,0	1,0	-1,0
418,0	0,6	-0,6
440,0	0,1	-0,1

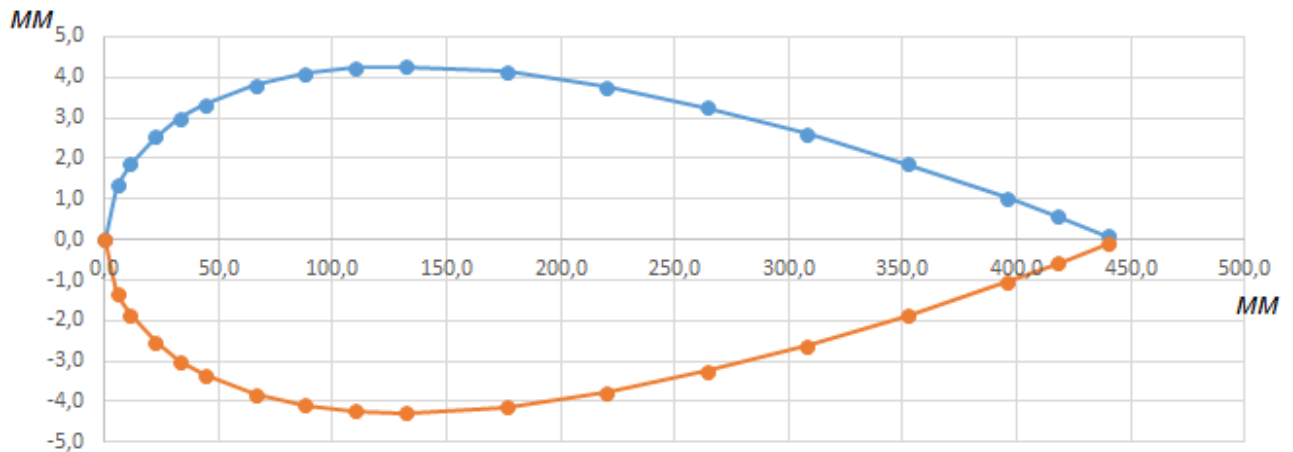


Рисунок 2.7 – Профіль третього перерізу

Таблиця 2.9 – Координати профілю четвертого перерізу лопаті
($b_1=370$ мм; $c_1 = 36$ мм)

X, мм	Y _в , мм	Y _н , мм
9,3	1,2	-1,2
18,5	1,6	-1,6
27,8	1,9	-1,9
37,0	2,1	-2,1
55,5	2,4	-2,4
74,0	2,6	-2,6
92,5	2,7	-2,7
111,0	2,7	-2,7
148,0	2,6	-2,6
185,0	2,4	-2,4
222,0	2,1	-2,1
259,0	1,6	-1,6
296,0	1,2	-1,2
333,0	0,7	-0,7
351,5	0,4	-0,4
370,0	0,1	-0,1
9,3	1,2	-1,2
18,5	1,6	-1,6

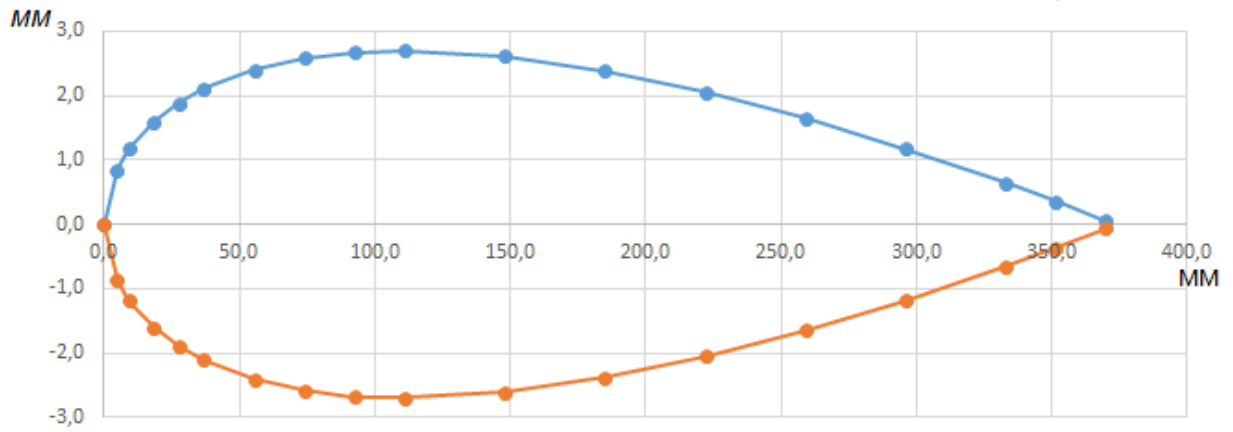


Рисунок 2.8 – Профіль четвертого перерізу

Таблиця 2.10 – Координати профілю кінцевого перерізу лопаті
($b_1=270$ мм; $c_1 = 27$ мм)

X, мм	Y_B , мм	Y_H , мм
0,0	0,0	0,0
3,4	0,6	-0,6
6,8	0,9	-0,9
13,5	1,2	-1,2
20,3	1,4	-1,4
27,0	1,6	-1,6
40,5	1,8	-1,8
54,0	1,9	-1,9
67,5	2,0	-2,0
81,0	2,0	-2,0
108,0	2,0	-2,0
135,0	1,8	-1,8
162,0	1,5	-1,5
189,0	1,2	-1,2
216,0	0,9	-0,9
243,0	0,5	-0,5
256,5	0,3	-0,3
270,0	0,0	0,0

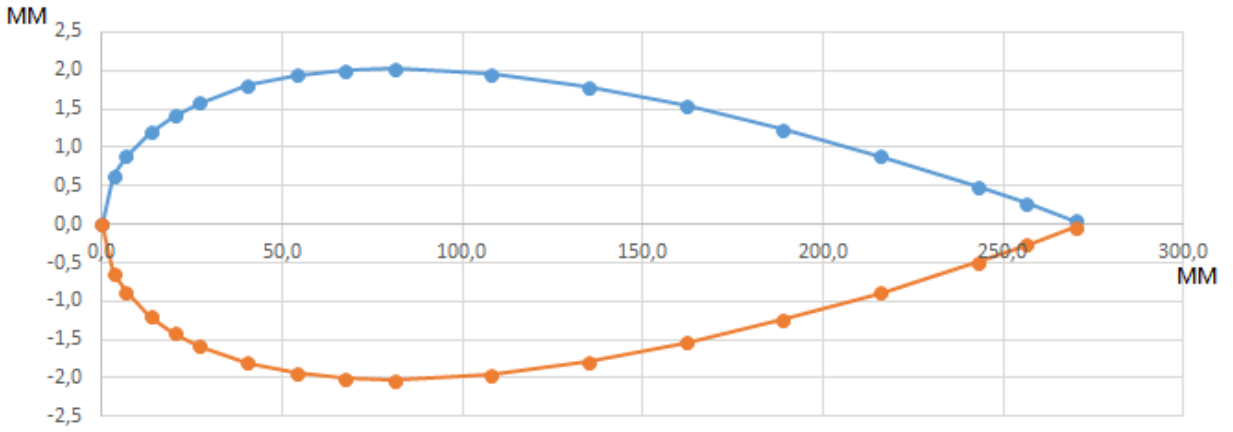


Рисунок 2.9 – Профіль кінцевого перерізу

Висновки за розділом 2

В розділі розраховані параметри 6-ти лопатевого вітрового колеса пропелерного типу потужністю 8 кВт, з частотою обертання за номінальної швидкості вітрового потоку 5,6 м/с рівною 53 об/хв. Визначені аеродинамічні характеристики та побудовані шаблони перерізів лопаті.

З РОЗРАХУНОК ГОЛОВНИХ РОЗМІРІВ ЕЛЕКТРИЧНОГО ГЕНЕРАТОРА

3.1 Вибір типу електрогенератора

Вибір типу генератора значною мірою залежить від призначення конкретної ВЕУ та взаємозв'язку з зовнішньою мережею. Якщо ВЕУ повинна виробляти електроенергію, то основними факторами, що враховуються є:

- необхідний вид струму (змінний чи постійний; в свою чергу змінний змінної частоти чи постійної);
- частота обертання вітродвигуна (постійна чи близька до постійної, або змінна);
- специфіка використання електричної енергії (акумуляція за допомогою акумуляторних батарей чи інших засобів, генерація в зовнішню мережу). [13]

Слід зауважити, що безпосередньо постійний струм застосовується наразі тільки на ВЕУ малої потужності тоді, коли серед споживачів відсутні приймачі електроенергії змінного струму. Очевидно, що немає необхідності в постійній частоті обертання вітродвигуна, а для акумулювання електроенергії застосовуються акумуляторні батареї.

Переважно застосовується змінний струм, який при роботі з мережею повинен мати постійну частоту. При цьому вітроколесо ВЕУ також повинне мати постійну частоту обертання, або оптимальну для отримання електроенергії, але з застосуванням спеціальних систем, які забезпечують постійність частоти.

Для ВЕУ можуть використовуватися генератори:

- синхронні генератори змінного струму;
- асинхронні генератори змінного струму;
- колекторні машини змінного струму;
- постійного струму.

Кутова швидкість обертання ротора ω_p в синхронних машинах відповідає кутовій швидкості обертання магнітного поля статора $\omega_{ст}$. В статорі генеруються ЕРС і струми, частота f яких залежить від частоти обертання ротора n і кількості пар полюсів p обмотки збудження:

$$f = \frac{p \times n}{60}, \text{ Гц} \quad (3.1)$$

Асинхронні машини відрізняються від синхронних тим, що кутові швидкості ω_p та $\omega_{ст}$ не збігаються – тобто присутнє ковзання s , яке визначається за формулою:

$$s = \frac{\omega_p - \omega_{ст}}{\omega_p}, \text{ в.о.} \quad (3.2)$$

Відповідно частота ЕРС статора визначається як: $f_{ст} = \frac{p \times n}{60} \times (1 - s)$, Гц.

Різниця між синхронними та асинхронними машинами і колекторними полягає в тому, що в останніх є механічний перетворювач частоти та кількості фаз (колектор), з'єднаний з обмоткою ротора чи статора.

В машинах постійного струму колектор є механічним випрямлячем.

Генератори можуть не мати обмоток збудження – його здійснення можливе за рахунок постійних магнітів. Такі генератори називаються генераторами з постійними магнітами (ГПМ). [13]

Наразі відсутні єдині критерії застосування того чи іншого типу генераторів, але для станцій, які напряду приєднуються до зовнішньої мережі змінного струму, зручніші асинхронні генератори, для яких не потрібні допоміжні перетворювачі. В той же час асинхронні генератори потребують значної реактивної потужності, яку отримують від конденсаторів. Проектована ВЕУ передбачає автономну роботу, тому на ній можливе застосування синхронного генератора. Однак для синхронного генератора необхідне збудження – в такому випадку зручніше застосувати синхронний генератор

без обмотки збудження –зі збудженням від постійних магнітів (СГПМ) врахувавши такі фактори:

1 – Вихідна електрична потужність ВЕУ визначається потужністю інвертора, але в той же час, залежить від потужності генератора, швидкості вітрового потоку та ємності акумуляторів і повинна відповідати піковому навантаженню споживача.

2 – Час безперервного електропостачання за слабого чи зовсім відсутнього вітру залежить від ємності акумуляторної батареї та від потужності споживання.

3 – Час відновлення заряду АКБ визначається потужністю самого генератора. Більш потужний генератор забезпечить швидше заряджання АКБ.

Перевагами СГПМ є такі фактори, як:

- не потрібна енергія на збудження;
- досить проста електрична схема;
- підвищений ККД;
- висока надійність роботи;
- менша чутливість до дії реакції якоря, порівняно зі звичайними машинами.

Недоліком є невисокі регульовальні властивості оскільки робочий потік постійних магнітів важко змінювати в широких межах.

На сьогодні застосовуються СГПМ, більшість з яких мають магнітну систему з обертовими постійними магнітами. Відмінності різних схем СГПМ полягають здебільшого в конструкції ротора.

Статори СГПМ практично однакові за конструкцією з класичними машинами змінного струм.

Найпростішим за конструкцією та технологічністю виготовлення є ротор з циліндричним магнітом суцільним (Рис. 3а) чи збірним (Рис. 3б). При високих лінійних швидкостях магніти розміщують в оболонках з

немагнітного матеріалу. Недолік таких роторів полягає в низькому використанні об'єму магніту.

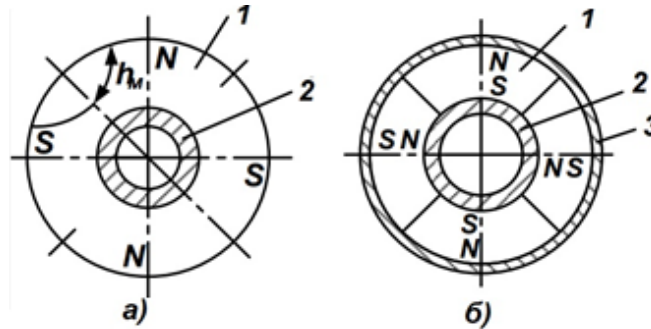


Рисунок 3.1 – Ротори з циліндричним магнітом: а – монолітний, б – збірний
1 – магніт; 2 – втулка; 3 – немагнітна сталева оболонка [13]

Кращі показники мають ротори з кігтеподібними полюсами (Рис. 3.2), але вони мають складнішу конструкцію, великі потоки розсіювання, недостатнє заповнення об'єму. Для підвищення потужності СГПМ застосовують модульний принцип розміщення на валу декількох магнітів.

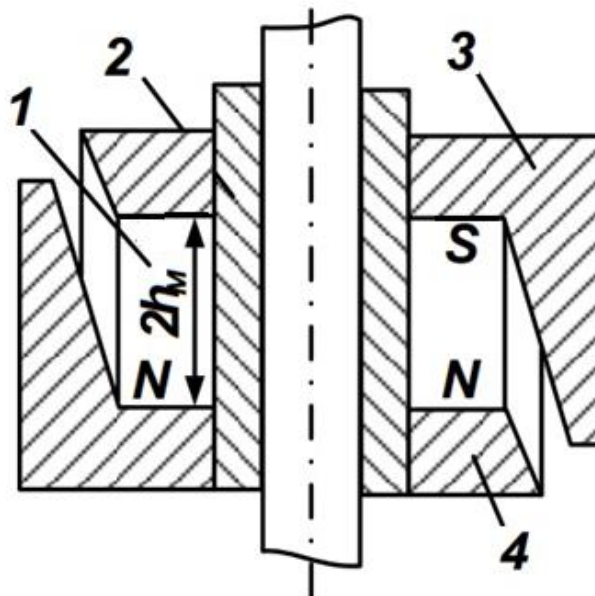


Рисунок 3.2 – Ротор кігтеподібного типу

1 – магніт; 2 – немагнітна втулка; 3, 4 – магнітом'які фланці [13]

Враховуючи значне поширення та використання на практиці СГПМ, в даній роботі проєктуємо електричний генератор потужністю $P_n = 5$ кВт (в розділі 1.2 визначена необхідна потужність 4,4 кВт).

3.2 Розрахунок головних розмірів статора

Номінальна частота обертання колеса вітрової турбіни 53 об/хв. Для зменшення діаметру генератора між валом турбіни та генератором передбачається редуктор для підвищення обертів валу генератора з передавальним числом 1:5, тобто приймаємо частоту обертання ротора генератора рівною 250 об/хв.

Номінальна лінійна напруга на виході генератора $U_{\text{нл}} = 400 \text{ В}$;

Частота змінного струму, $f_{\text{н}} = 50 \text{ Гц}$;

Кількість фаз $m=3$.

Головні розміри СГПМ, до яких відносяться внутрішній діаметр статора D та його розрахункова довжина l_{δ} , визначають з основного рівняння електричної машини:

$$C_a = \frac{D^2 \cdot l_{\delta} \cdot n}{P} = \frac{D^2 \cdot l_{\delta} \cdot n}{\alpha_{\delta} \cdot k_{\phi} \cdot k_0 \cdot A \cdot B_{\delta}}, \quad (3.3)$$

де P – розрахункова потужність генератора;

α_{δ} – розрахунковий коефіцієнт полюсного перекриття;

k_{ϕ} – коефіцієнт форми поля;

k_0 – обмотковий коефіцієнт обмотки статора;

A – лінійне навантаження статора, А/м;

B_{δ} – максимальне значення індукції в повітряному зазорі за номінального навантаження, Тл.

Розрахункову повну потужність генератора у номінальному режимі визначають за формулою:

$$S = \frac{k_e \cdot P_{\text{н}}}{\cos \varphi}, \text{ ВА}, \quad (3.4)$$

де $k_e = \frac{E_i}{U_H}$ – коефіцієнт, який характеризує внутрішню ЕРС обмотки приймається в межах $k_e=1,2 - 1,4$ – Для даного генератора приймаємо $k_e=1,2$.

Коефіцієнт потужності $\cos \varphi = 0,8$ за умови відставання струму, тоді:

$$S = \frac{1,2 \cdot 5000}{0,8} = 7500 \text{ ВА.}$$

Кількість пар полюсів p , визначається частотою мережі та кількістю обертів ротора: $p = \frac{60f}{n} = \frac{60 \cdot 50}{250} = 12$.

Головні розміри синхронної машини за умовами охолодження повинні відповідати умові:

$$\lambda = \frac{l_\delta}{\tau} = \frac{l_\delta \times 2p}{\pi \times D}, \quad (3.5)$$

де p – кількість пар полюсів;

τ – полюсний поділ, м.

Коефіцієнт $\lambda=2,0$ приймаємо відповідно до графіку (рис. 3.2 [15]).

Внутрішній діаметр статора розраховується за формулою:

$$D = \sqrt[3]{\frac{6,1 \times 2 \times p \times S_p}{\lambda \times \pi \times n_H \times \alpha_\delta \times k_B \times k_o \times B_\delta \times A}}, \quad (3.6),$$

де α_δ - коефіцієнт полюсного перекриття;

k_B - коефіцієнт форми ЕРС;

k_o - обмотковий коефіцієнт;

B_δ – магнітна індукція поля збудження, Тл;

A – лінійне струмове навантаження якоря, А/м.

Значення коефіцієнта полюсного перекриття приймаємо $\alpha_\delta = 0,67$, а коефіцієнт форми ЕРС $k_B = 1,0$; обмотковий коефіцієнт для СГПМ $k_o \approx 0,72$. Неодимові магніти мають магнітну індукцію $B_r = 1,23$ Тл, індукцію B_δ приймають меншою, тобто $B_\delta = 0,8$ Тл. Лінійне струмове навантаження статора $A = 220 \cdot 10^2$ А/м.

На основі прийнятих величин розраховуємо внутрішній діаметр статора СГПМ, D :

$$D = \sqrt[3]{\frac{6,1 \times 2 \times 12 \times 7500}{2,0 \times 3,14 \times 250 \times 0,67 \times 1,0 \times 0,72 \times 0,8 \times 220 \cdot 10^2}} = 0,44 \text{ м.}$$

Полюсний поділ визначається, як: $\tau = \frac{\pi D}{2p} = \frac{3,14 \times 0,44}{2 \times 12} = 0,058 \text{ м.}$

Відповідно розрахункова довжина статора:

$$l_\delta = \frac{\lambda \times \pi \times D}{2p} = \frac{2,0 \times 3,14 \times 0,44}{2 \times 12} = 0,12 \text{ м.}$$

3.3 Розрахунок розмірів ротора

Магніти, для збудження СГПМ випускаються призматичної форми. Їх застосовують у вигляді збірних конструкцій типу «зірка». Така конструкція складається з намагнічених в радіальному напрямку постійних магнітів, які закріплені на валу генератора через магнітом'яку втулку.

Повітряний зазор δ між статором і ротором для зменшення розсіювання магнітного потоку бажано брати найменший можливий за технологічними вимогами, тому приймаємо $\delta = 5,0$ мм.

В цьому випадку зовнішній діаметр ротору становить:

$$D_p = D - 2\delta = 0,44 - 2 \times 0,005 = 0,43 \text{ м.} \quad (3.7)$$

Розрахункова довжина ротора дорівнює довжині статора $l_p = l_\delta = 0,12$ м.

Висновки за розділом 3

З врахуванням характеру навантаження вибраний синхронний генератор зі збудженням від постійних магнітів призматичної форми зібраних в «зірку». Розрахований внутрішній діаметр статора $D = 0,44$ м та довжиною – $l_\delta = 0,12$ м. Зовнішній діаметр ротора $D_p = 0,43$ м.

4 ПІДБІР СЕРІЙНОЇ ВІТРОВОЇ УСТАНОВКИ ТА ЇЇ КОМПЛЕКТУЮЧИХ

Ґрунтуючись на виконаних в попередніх розділах розрахунках ВЕУ можливо вибрати вітрову установку, яка випускається серійно.

В загальному вигляді така установка (Рис. 4.1) повинна включати: [13]

- вітровий генератор;
- контролер заряду акумуляторної батареї (АКБ);
- інвертор;
- акумуляторну батарею.

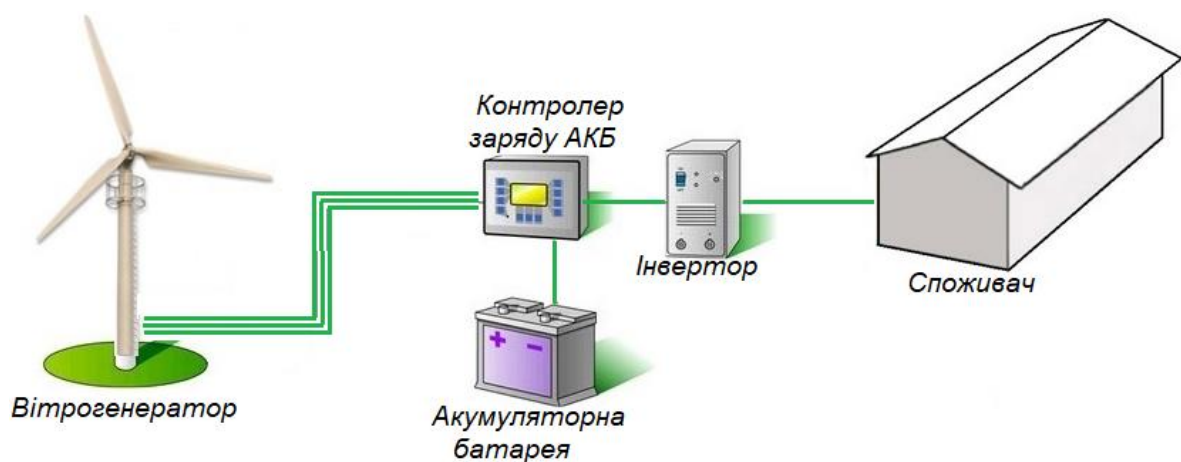


Рисунок 4.1 – Загальна схема вітрової установки

Враховуючи необхідну потужність ВЕУ, що дорівнює 10 кВт приймаємо горизонтальний вітровий генератор моделі G-Series RX-10KG 10 кВт 380 В. В комплект входять також мережевий контролер FKJ-GT 10 кВт 380 В та трифазний інвертор потужністю 10 кВт на напругу 380 В. [16]

Мережевий контролер дає можливість контролю напруги та струму вітрогенератора в режимі реального часу, напругу постійного струму та його величину, вихідну напругу змінного струму, загальну кількість виробництва електроенергії. Для зберігання даних основна плата контролера оснащена спеціальною батареєю, яка дозволяє зберігати дані протягом 30 днів у разі відключення електроенергії.

Технічні характеристики вітрової установки G-Series RX-10KG наведені в табл. 4.1, а зовнішній вигляд – на рис. 4.2. [16]

Таблиця 4.1 – Технічні параметри вітроустановки G-Series RX-10KG

Параметр	Дані
Модель	RX-10KG
Номінальна потужність	10 кВт
Максимальна потужність	12 кВт
Довжина лопатей	2,8 м
Діаметр вітрового колеса	5,8 м
Кількість лопатей	3
Номінальна напруга змінного струму	~380V
Стартова швидкість вітру	2,5 м/с
Номінальна швидкість вітру	12 м/с
Найбільша швидкість вітру	45 м/с
Матеріал лопатей	Скловолокно
Тип генератора	Трифазний генератор з постійними магнітами
Матеріал магніту	NdFeB
Робоча температура установки	-80°C~+80°C
Рівень захисту	IP54
Робоче середовище вологість	≤90%
Висота над рівнем моря	≤4500 м
Тип вежі	тросова з відтяжками
Вага брутто	314 кг



Рисунок 4.2 – Зовнішній вигляд вітроустановки G-Series RX-10KG

Корпус ВЕУ виготовлений з вуглецевої сталі, лопаті – зі скловолокна.

Вони мають оптимізовану аеродинамічну форму та структуру, що покращує використання вітрової енергії та підвищує продуктивність ВЕУ.

Захист від перевантаження передбачений за рахунок повороту вітрового колеса з допомогою хвоста.

Для управління та регулювання застосовується контролер типу FKJ-GT 10KW. Його технічні параметри наведені в табл. 4.2, а вигляд – на рис. 4.3.

Таблиця 4.2 – Технічні параметри контролера типу FKJ-GT 10KW [17]

Параметр	Дані
Тип	FKJ-GT 10KW
Номінальна потужність	10 кВт
Максимальна потужність	15 кВт
Функція	Випрямляч, керування, вихід постійного струму
Функція автоматичного захисту	Захист від перенапруги, захист від відключення мережі, регульований вихід живлення, розрядник
Режим відображення	РКІ (рідкокристалічний індикатор)
Дисплей відображає	Вхідні: напруга, струм, потужність; вихідні: напруга, струм, потужність постійного струму
Захист скидання потужності	12 кВт
Запобіжник виходу постійного струму	25А
Температура робочого середовища	- 30-60°C
Відносна вологість	< 90% ,без конденсату
Ступінь захисту	IP20 (для приміщень)
Спосіб охолодження	Примусове повітряне
Шум на відстані 1 м	< 40 дБ
Маса	25 кг



Рисунок 4.3 – Зовнішній вигляд контролера FKJ-GT 10KW

Інвертування постійного струму акумуляторної батареї пропонується гібридним трифазним інвертором SUN-8K-G06P3-EU-AM2-P1.

Для цього інвертора характерна висока ефективність та стабільність роботи. Він повністю сумісний з 48 V LiFePO₄ акумуляторами (NKON ESS, Pylontech, Dyness, Deye і багатьма іншими), є компактним та має невисокий рівень шуму при роботі

Технічні параметри інвертора SUN-12K-G06P3-EU-AM2-P1 наведені в табл. 4.3, а зовнішній вигляд – на рис. 4.4. [18]

Таблиця 4.3 – Технічні параметри інвертора SUN-12K-G06P3-EU-AM2-P1

Параметр	Дані
Тип	SUN-12K-G06P3-EU-AM2-P1
Номінальна потужність вихідна АС	10000 Вт
Допустима пікова потужність	13000 Вт
Номінальна вихідна напруга	400/230 В
Максимальна вхідна напруга постійного струму	1100 В
Діапазон робочої напруги	120 – 1100 В
Коефіцієнт потужності, ϕ	$\pm 0,8$
Гармонійні спотворення вихідного струму, (THDI)	< 3%
Схема приєднання	3L/N/PE
ККД	97,8 %
Ступінь захисту	IP65
Допустима відносна вологість	100%
Температура робочого середовища	-40 °C до +60 °C
Спосіб охолодження	Природне
Рівень шум на відстані 1 м	<40 дБ
Габарити	283×463×178
Маса	11 кг

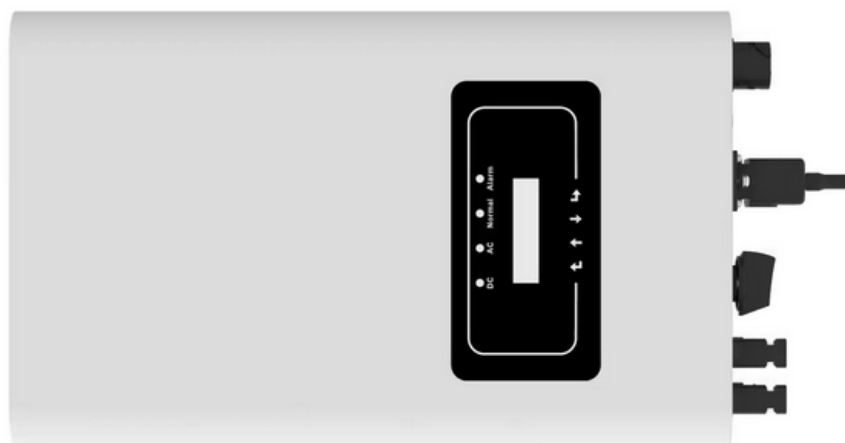


Рисунок 4.4 – Зовнішній вигляд інвертора SUN-12K-G06P3-EU-AM2-P1

Інвертор обладнаний інтелектуальною системою керування, яка в разі відсутності навантаження автоматично його вимикає, відповідно зменшуючи

втрати енергії батареї. Контроль роботи інвертора та поточного стану системи можливий через Wi-Fi.

Накопичування та зберігання енергії передбачається в літєвих залізо фосфатних акумуляторах, перевагами яких є значна щільності накопичуваної енергії, відносно невеликі габарити, високий ресурс безвідмовної роботи та їх вибухова та пожежна безпека.

Ємність АКБ розраховується за визначеним раніше добовим споживанням електроенергії, (див. розділ 1.1) яке становить 46,28 кВт×год при розрахунковому навантаженні $P_{розр} = 1930$ Вт. Напруга батареї – 48 В, відповідно розрахунковий розрядний струм $I_{роз}$ становить:

$$I_{роз} = \frac{P_{розр}}{48} = \frac{1930}{48} = 40 \text{ А.} \quad (4.1)$$

За такого струму необхідна ємність АКБ з розрахунку на 24 години $C_{АКБ} = I_{роз} \cdot T = 40 \cdot 24 = 960 \text{ А} \cdot \text{год}$. АКБ не повинні розряджатися за цей період більше ніж на 50%, тому приймаємо ємність 1920 А · год.

Прийнятий акумулятор має ємність $C_{бат} = 230 \text{ А} \cdot \text{год}$, тому для забезпечення загальної ємності 1920 А год потрібно:

$$n_{бат} = \frac{C_{АКБ}}{C_{бат}} = \frac{1920}{230} = 8,3 \approx 9 \text{ шт.} \quad (4.2)$$

Технічні характеристики вибраного акумулятора наведені в табл. 4.4, а зовнішній вигляд – на рис. 4.5. Виробник акумуляторів LogicPower Україна.

Таблиця 4.4 – Технічні характеристики акумулятора [19]

Параметр	Значення
Виробник	LogicPower, Україна
Тип	Літєвий залізо фосфатний
Номінальна напруга	48 В
Ємність	230 А·год
Напруга повного заряду	58,4 В
Мінімальна напруга	40 В
Максимальний струм заряду	200 А
Максимальний струм розряду	200 А

Продовження таблиці 4.4

Параметр	Значення
Повний струм розряду (100 мс)	300 А
Кількість циклів	7000
Робоча температура заряду	0 – +40 °С
Робоча температура розряду	-20...+60°С
Матеріал корпусу	Метал
Гарантія	60 місяців
Габарити	618×480×248 мм
Вага	107,8 кг



Рисунок 4.5 –Зовнішній вигляд акумулятора LP LiFePO4 48V 230 Ah Smart BMS 200A 20331 [19]

Висновки за розділом 4

Запропоноване застосування серійної вітроустановки G-Series RX-10KG потужністю 10 кВт в комплекті з контролером FKJ-GT 10KW, інвертором SUN-12K-G06P3-EU-AM2-P1 та батареєю з 9-ти акумуляторів LP LiFePO4 48V 230 Ah Smart BMS 200A 20331. Як установка , так і всі інші елементи відрізняються високою надійністю та значним терміном роботи.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Охорона праці та її законодавче забезпечення в Україні

Людина постійно знаходиться в життєвому середовищі, що об'єднує природні елементи довкілля та штучно створені нею самою об'єкти та явища, з якими вона знаходиться у прямих або опосередкованих стосунках. Характерною тільки для людини є активна форма стосунків з навколишнім середовищем, а її зміст полягає в доцільній зміні та перетворенні навколишнього світу [20].

Поліпшення якості життя є метою життєдіяльності кожної конкретної людини, а оскільки вона знаходиться в суспільстві, то через суспільну працю опосередковано поліпшує якість життя соціуму в цілому. Але життєдіяльність людини проходить серед цілого ряду небезпек, які створюють загрозу для життя і здоров'я. В першу чергу ці небезпеки пов'язані з численними виробничими процесами, а безпека досягається балансом взаємовідношень між людиною, суспільством, природним і техногенним середовищами [22].

Рівень безпеки у суспільному виробництві значною мірою залежить від якості та повноти викладення відповідних вимог до будь-яких робіт в законах та інших нормативно-правових актах тобто від рівня правового забезпечення питань охорони праці. Вирішення існуючих проблем в цій сфері можливе тільки при ефективній взаємодії всіх органів державної влади та громадськості, а також реалізації як на державному, так і на місцевих рівнях відповідних програм, спрямованих на корінне покращення умов і охорони праці.

Загалом проблеми охорони праці складні та багатогранні. В суспільстві з соціально орієнтованою економікою їх вирішення має бути одним з найважливіших завдань як держави, так і кожного підприємства чи організації.

Основні поняття стосовно охорони праці, термінологія та визначення встановлені державним стандартом України ДСТУ 2293-99 “Охорона праці. Терміни та визначення основних понять” [22].

Основними законодавчими актами, в яких визначені головні положення стосовно охорони праці, є:

- Конституція України, в якій статтями 43, 45, 46, 49, 56 гарантуються права на працю кожному громадянину; на належні, безпечні і здорові умови праці, на заробітну плату, не нижчу від передбаченої законом; на відпочинок; на охорону здоров’я, медичну допомогу та медичне страхування; на соціальний захист, а також зазначено, що на роботах небезпечних для здоров’я жінок і неповнолітніх забороняється використання їх праці.

- Закон України “Про охорону праці” який визначає основні положення стосовно реалізації права працівників на охорону їх життя і здоров’я в процесі трудової діяльності, на належні, безпечні і здорові умови праці; регулює відносини між роботодавцем і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища; встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні.

- Кодекс законів про працю України (КЗпП) що регулює трудові відносини працівників, сприяючи зростанню продуктивності праці, поліпшенню якості роботи, підвищенню ефективності суспільного виробництва і піднесенню на цій основі матеріального і культурного рівня життя трудящих, зміцненню трудової дисципліни і поступовому перетворенню праці на благо суспільства в першу життєву потребу кожної працездатної людини.

- Закон України “Про загальнообов’язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання”. Цей закон визначає правові основи, економічний механізм та організацію обов’язкового державного соціального страхування від наслідків нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань, які викликали втрату працездатності або загибель застрахованих громадян.

– Закон України “Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення” в якому розроблені питання регулювання суспільних відносин у сфері забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя, визначені права та обов’язки державних органів, підприємств, установ, організацій і громадян, встановлений порядок організації державної санітарно-епідеміологічної служби та здійснення державного санітарно-епідеміологічного нагляду.

– Закон України “Про пожежну безпеку” передбачає загальні правові, економічні та соціальні основи забезпечення пожежної безпеки, регулює відносини державних органів, юридичних і фізичних осіб незалежно від виду їх діяльності та форм власності.

Основи законодавства України про охорону здоров’я визначають правові, організаційні, економічні та соціальні засади охорони здоров’я, регулюють суспільні відносини у цій галузі для забезпечення гармонійного розвитку людини, її високої працездатності і довголітнього життя, усунення факторів, вплив яких шкідливий для здоров’я, попередження і зниження захворюваності, інвалідності та смертності.

Правові відносини у сфері охорони праці регулюються також іншими національними законодавчими актами, міжнародними договорами та угодами, до яких приєдналася Україна, підзаконними нормативними актами такими як Укази і розпорядження Президента, рішення Уряду, нормативні акти міністерств та інших органів державної влади. Разом всі документи створюють єдине правове поле охорони праці.

Стосовно розробленої в дипломній роботі вітрової установки для електричного живлення вівчарні, актуальними є питання організації безпечного встановлення вежі, монтажу та безпечної експлуатації електричного генератора, інвертора, акумуляторних батарей, виконання електричної мережі від генератора вітроустановки до приміщення де розташовані тварини, організація захисту від можливих ударів блискавки та створення надійного захисного заземлення.

5.2 Характеристика вітрової установки та місця її розташування

Встановлення вітрової установки планується на узвишші, розташованому на відстані 150 м від приміщення для розміщення тварин. Природні умови характерні для території з помірно-континентальним кліматом, віддаленої від великих водних просторів з теплим літом і тривалою, морозною зимою. Середня температура найхолоднішого місяця року (січня) близько -7°C , температура взимку зрідка спадає нижче -19°C .

Середня температура найтеплішого місяця (липня) близько $+21^{\circ}\text{C}$. Літо загалом тепле, а найтеплішим місяцем є липень, температура в якому зрідка підіймається вище $+33^{\circ}\text{C}$.

Середня річна температура – близько $+8,1^{\circ}\text{C}$, а вологість – 74%. Найвища швидкість вітру спостерігається в січні та досягає 5,2 м/с, середня ж швидкість протягом року – 4,1 м/с.

Вітрова установка складається з вежі висотою 20 м, на якій встановлюється вітрова турбіна з шістьма лопатями та електричний генератор. Номінальна вітрова потужність установки становить 8 кВт, а електрична – 4,5 кВт. За такої потужності та частоти обертання при номінальній швидкості вітрового потоку рівній 53 об/хв, вітрова установка не створює значного шуму. Розміщення акумуляторної батареї та інвертора передбачається в окремій цегляній будівлі біля вівчарні. В ній розміщується також розподільний щит з захисними автоматами. Передавання електричної енергії від генератора до щита передбачається кабельною лінією напругою 400 В прокладеною в землі. Обслуговування та експлуатація ВЕУ передбачається спеціалізованою організацією, а експлуатацію обладнання вівчарні – службою головного енергетика Харківської державної зооветеринарної академії до якої входить мале підприємство.

Суттєві перешкоди для розміщення та монтажу ВЕУ відсутні, ґрунт у місці її розміщення – твердий чорнозем, під'їзд до місця монтажу нескладний по добре ущільненій поверхні.

5.3 Опис робіт зі спорудження ВЕУ та виявлення небезпечних і шкідливих факторів під час їх виконання

При спорудженні ВЕУ необхідне виконання таких основних робіт:

1. Риття котлованів для фундаментів під щоглу;
2. Монтаж арматури фундаменту і заливка бетоном;
3. Засипка котловану з утрамбовуванням ґрунту;
4. Збирання та встановлення щогли;
5. Встановлення вітрового колеса та електрогенератора на щоглу;
6. Монтаж кабельного спуску від генератора;
7. Риття траншеї для укладки кабелю від ВЕУ до приміщення вівчарні;
8. Укладання кабелю в траншею та приєднання до ввідного щита;
9. Випробування всіх складових системи електропостачання та ВЕУ в цілому.

До початку робіт місце їх виконання належить огородити захисною огорожею, зі встановленими попереджувальними написами і знаками, а також необхідне сигнальне освітлення для темного періоду доби. Оскільки під час денної прогулянки тварини можуть знаходитися неподалік зони монтажу, то огорожа повинна передбачатися такою, щоб запобігти потрапляння тварин в цю зону (металева сітка, штахетник і таке інше).

Поблизу ферми проходить підземний водопровід та повітряна трифазна лінія електропередачі напругою 400 В (хоча вона і пошкоджена в результаті бомбардувань) тому перед виконанням робіт з риття котловану слід погодити їх з головним енергетиком і отримати письмовий дозвіл.

Об'єм робіт з розробки котловану досить незначний і передбачається міні-екскаватором NEX GROUP NANO (Рис. 5.1), який є компактним та ефективним для виконання земляних робіт з глибиною копання 1,2 м. Незначні розміри екскаватора дозволяють без проблем використовувати його в умовах обмеженого простору. Перевагою є відносно невисокий рівень шуму – 93 дБ, що є важливим для запобігання стресу тварин.



Рисунок 5.1 – Міні-екскаватор NEX GROUP NANO

Підготовка котловану та монтаж фундаменту виконуються завчасно та повинні закінчитися щонайменше за три тижні до початку основного монтажу.

Щогла-ферма, на якій монтується вітрова установка з генератором, збирається на землі із зварюваних сталевих профілів. Після збирання та покращення щогла встановлюється на фундамент.

Встановлення щогли, як і підйом вітрової установки разом з генератором, планується за допомогою автокрану Силач КТА-32 (Рис. 5.2), який змонтований на шасі автомобіля КРАЗ.



Рисунок 5.2 – Автокран марки КТА-32

Однією з головних переваг цього автокрана є наявність гідравлічних виносних опор, які надають можливість виконання роботи на нерівному майданчику.

Безпеку в процесі роботи машини гарантує система захисту, що запобігає її перекиданню внаслідок можливих перевантажень, а також блокує роботу при наближенні до ЛЕП.

Кранова установка розрахована на навантаження до 32 т включно. Довжина стріли з 4-х секцій становить тридцять метрів, висування в межах від 2,4 м і до 22-х метрів.

При виконанні вказаних робіт існують фактори, що можуть бути як шкідливими так і небезпечними для монтажного та експлуатаційного персоналу.

Відповідно до Національного стандарту України ДСТУ-Н Б А 3.2-1:2007 «Система стандартів безпеки праці. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використанні в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва» [23], шкідливі та небезпечні виробничі фактори поділяються на фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні. Класифікація виробничих показана на рис. 5.3.

Фізичними факторами є:

- мікроклімат, залежний від температури, вологості, швидкості руху повітря, теплового випромінювання;
- неіонізуючі електромагнітні поля та випромінювання (електростатичні, постійні магнітні, електричні і магнітні промислової частоти, електромагнітні випромінювання радіочастотного та оптичного діапазону;
- іонізуючі випромінювання;
- виробничий шум, ультра- чи інфразвук;
- вібрація;

– освітлення – природне, або штучне (відсутнє або недостатнє, пульсація освітленості).



Рисунок 5.3 – Класифікація шкідливих і небезпечних виробничих факторів

Хімічні фактори, проникнення яких в організм людини можливе через органи дихання, шлунково-кишковий тракт, шкірні покриви і слизисті оболонки, поділяються за характером дії на організм людини на загальнотоксичні, подразнювальні, сенсibiliзуючі, канцерогенні, мутагенні та такі, що впливають на репродуктивну функцію.

Біологічними факторами є мікроорганізми, живі клітини і спори, що містяться в препаратах, патогенні мікроорганізми (бактерії, віруси, грибки).

До *психофізіологічних факторів* належать фізичні навантаження, які поділяються на статичні та динамічні та нервово-психічні навантаження у вигляді інтелектуальних, сенсорних чи емоційних навантажень і монотонності праці.

Небезпечним фізичним фактором при монтажі ВЕУ є мікроклімат оскільки монтаж планується на літній період коли має місце значна теплова дія сонячних променів, можливі впливи потоків вітру та опади.

Хімічним небезпечним фактором є дія технічних рідин (мастил, фарби, антикорозійних сумішей) контакт з якими може спричинити шкірні захворювання або отруєння при вдиханні парів.

Значний психофізіологічний фактор при монтажі ВЕУ притаманний фізичним навантаженням, як статичним так і динамічним. Існують ризики падіння працівників з висоти при установці вітрового агрегату та генератора; можливості травмування від рухомих частин і падіння деталей, інструментів чи інших предметів; небезпека роздавлювання, стискання, отримання травм від частин установки, що піднімаються чи переміщуються.

5.4 Організаційні та технічні заходи з охорони праці при монтажу ВЕУ

Поняття організації праці на робочому місці включає комплекс заходів, які забезпечують трудовий процес та ефективне використання знарядь виробництва і предметів праці. Організація праці на робочому місці полягає у виборі пози при виконанні робіт і системи рухів, визначення розмірів зони роботи та розміщення в ній органів керування, інструментів, заготовок, матеріалів, пристроїв і таке інше, а також у виборі оптимального режиму праці та відпочинку.

До організаційних заходів, виконання яких необхідне при монтажі вітрової установки, належать: правильна організація роботи, навчання, інструктажі працівників, контроль та нагляд за охороною праці, визначення зон небезпеки, контроль за погодними умовами (заборона робіт при вітрові сильнішому 10 м/с, при грозі, тумані, високих чи низьких температурах), забезпечення спецзасобами захисту (запобіжні пояси), розробку плану ліквідації аварій та чітку організацію робіт на висоті, включаючи допуск до робіт та контроль за дотриманням правил безпеки, застосування безпечних методів праці; технічні огляди транспортних та вантажопідіймальних засобів.

Найбільш складними та небезпечними при монтажі ВЕУ є роботи на висоті 1,3 м та більше, до яких допускаються особи віком не молодші 18 років придатні за станом здоров'я. Перед допуском до самостійної роботи, після отримання вступного та первинного інструктажу, попереднього спеціального навчання з питань охорони праці, перевірки знань з охорони

праці, перевірки вмінь та навичок безпечного виконання робіт, такі працівники повинні пройти стажування безпосередньо на робочому місці. Допуск до роботи здійснюється тільки при позитивних результатах стажування, перевірки вмінь та навичок безпечного виконання робіт.

Необхідне щорічне проходження повторних перевірок знань з питань охорони праці. В разі отримання незадовільних результатів при перевірці знань з охорони праці, самостійна робота забороняється та проводиться додаткове навчання і в місячний термін повторна перевірка знань. За незадовільних результатах повторної перевірки робітники до роботи не допускаються.

Періодично – 1 раз в 2 роки обов'язкові медичні огляди. Повторний інструктаж з ОП на робочому місці проводиться 1 раз в три місяці.

Можлива позапланова перевірка знань у разі внесення змін в інструкцію з охорони праці при виконанні робіт на висоті;

Перед початком робіт з монтажу необхідне обов'язкове проведення цільових інструктажів з охорони праці, звертаючи увагу на використання засобів індивідуального захисту.

Для монтажного персоналу повинен передбачатися набір індивідуальних засобів захисту до якого входять:

- захисний технологічний одяг від підвищених температур;
- захисне взуття, таке як чоботи і черевики шкіряні із захисними елементами з полімерних матеріалів для захисту від хімічних речовин;
- засоби захисту рук: рукавички та рукавиці для захисту від механічного впливу, підвищених температур, хімічних речовин і таке інше;
- засоби захисту голови, до яких належать каски загального призначення для захисту від механічного та можливого електричного впливу;
- окуляри для захисту очей від механічних чинників таких як удар, пил, тверді частки, металеві осколки, пісок та хімічних – бризки фарби та мастил;
- протипилові та протиаерозольні засоби захисту органів дихання (респіратори, протигази з відповідними фільтрами);

– пояси для страхування при роботі на висоті, страховочні троси та кріплення анкерних систем.

Для виконання робіт на висоті можуть застосовуватися драбини різних типів:

- приставні та підвісні одноланкові;
- приставні розсувні триланкові дерев'яні;
- комбіновані склопластикові заввишки 7, 9, 12 м;
- складані склопластикові, що призначені для піднімання на опори заввишки до 7 м;
- розбірні переносні з семи ланок, призначені для підйому на залізобетонні опори з циліндричними та конічними стояками діаметром від 300 до 560 мм на висоту 14 м;-
- стрем'янки;
- мотузкові.

З приставних драбин забороняється виконувати роботи біля обертових механізмів, працюючих машин та над ними, виконувати роботи з застосуванням електричних та пневматичних інструментів, виконувати газозварювальні та електрозварювальні роботи та підтримувати на висоті важкі деталі.

Кожна з експлуатованих драбин повинна мати інвентарний номер, вказана дата проведення чергового випробування та належність до відповідної служби.

При роботі на щоглі обов'язковим є застосування запобіжних поясів на висоті починаючи з висоти понад 1,3 м. Пояси повинні закріплюватись за конструкцію щогли.

Особливу увагу слід звертати на переміщення по щоглі, а також маніпуляції з інструментом, наслідком яких може бути падіння з висоти як інструментів так і самих робітників.

Під час виконання робіт на висоті точка закріплення стропа запобіжного поясу повинна знаходитися не менш ніж на 1,5 м вище від рівня

опори ступні ніг монтажника. Запобіжний пояс можна комплектувати одним із можливих видів стропів, які визначають у назві стропа такими буквами:

- «А» – строп із поліамідною (синтетичною) стрічкою;
- «Б» – строп зі стальним канатом;
- «В» – строп із поліамідним канатом;
- «Г» – строп зі стальним ланцюгом.

Довжина стропа з урахуванням розкриття амортизатора не повинна перевищувати 3 м.

Всі засоби захисту що будуть використовуються на монтажі повинні мати:

- інструкцію з експлуатації, збереження, очищення, обслуговування та дезінфекції;
- відповідати вимогам стандартів, технічної естетики та ергономіки;
- висновок державної санітарно – епідеміологічної експертизи;
- Сертифікат перевірки типу;
- Декларацію про відповідність вимогам Технічного регламенту;
- мати маркування відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України від 29.11.2011 року № 1599 «Про затвердження опису та правил застосування національного знаку відповідності»

5.4.1 Вимоги безпеки при збиранні та установці щогли

Щогла доставляється на монтажну площадку у вигляді окремих блоків і повністю збирається на землі. З'єднання блоків між собою болтове без необхідності зварювальних робіт. Фарбування також виконується на землі.

Перед початком робіт керівник повинен чітко поставити завдання перед робітниками та звернути увагу на безпеку його виконання. Робітники повинні одягти спецодяг, спецвзуття, підготувати інші засоби індивідуального захисту, оглянути робоче місце, підготувати інструмент,

пристосування, необхідний інвентар. На монтажному майданчику не мають знаходитися непотрібні матеріали та інструменти.

Частини щогли, розвантаження яких виконується за допомогою автокрану, доставляються на місце монтажу спеціальним автомобілем.

Для розвантаження кран встановлюється на майданчику та фіксується висувними гідравлічними опорами.

Стропування блоків щогли необхідно виконувати тільки інвентарними стропами. Перед початком робіт їх необхідно оглянути. Не дозволяється використання строп, які не відповідають технічним вимогам і масі вантажу. Після розвантаження виконуються роботи зі збирання ферми з застосуванням крану.

Для забезпечення безпеки при роботі з розвантажувальним встановлюється та погоджується єдина сигналізація, яка може подаватися прапорцем або руками; подача сигналів голосом забороняється, крім сигналу «Стоп». Цей сигнал «Стоп» кранівник зобов'язаний виконати незалежно від того, хто його подав.

Після збирання щогли визначається центр її ваги і відповідно до цього здійснюється стропування, при цьому гак крана має знаходитись над визначеним центром ваги.

Для запобігання розгойдування щогли при підніманні слід з двох її боків прикріпити відтяжки з пенькових канатів, діаметр яких повинен бути не меншим 25 мм; можливе використання тонкого сталюого троса.

Перед підйомом щоглу слід попередньо підняти на висоту 200-300 мм від землі і оглянути закріплення стропальником. В зоні дії стріли забороняється знаходження не тільки сторонніх, але і стропальника, який після стропування відходить на безпечну відстань і тільки в разі повної впевненості у надійності накладання строп, а також справності гальм крану, подає сигнал кранівнику на піднімання.

Ферма встановлюється на фундамент і закріплюється за допомогою анкерних болтів вмонтованих у фундамент. Знімати стропи та відтяжки

дозволяється тільки після повного закріплення щогли та перевірки його правильності.

5.5 Пожежна та вибухова небезпечність об'єкта

Підвищену пожежну небезпеку на монтажному майданчику можуть зумовлювати чинники, показані на рис. 5.4.



Рисунок 5.4 – Можливі чинники пожежної небезпеки на монтажному майданчику ВЕУ

Найбільш поширеними причинами виникнення пожеж на будівельних майданчиках взагалі є:

- недотримання технологічних процесів;
- неправильна експлуатація електрогосподарства;
- несправність автомобільної та спецтехніки;
- куріння у невстановлених місцях;
- нехтування працівниками правилами пожежної безпеки.

Пожежна безпека на монтажному майданчику, повинна забезпечуватися відповідно до вимог Закону України «Про пожежну безпеку» та інших чинних нормативних актів з пожежної безпеки. На об'єкті

обов'язково призначається особа, відповідальна за виконання працівниками правил пожежної безпеки. Також повинні бути інструкції з пожежної безпеки. У місцях, де розміщуються горючі чи легкозаймисті матеріали, обов'язково розміщуються плакати «Куріння заборонено», а користування відкритим вогнем допускається тільки на відстані понад 50 м від таких матеріалів. Не дозволяється накопичувати на площадках горючі матеріали (промаслені ганчірки, тирсу чи стружки, відходи пластмас і таке інше), їх необхідно зберігати в закритих металевих контейнерах у безпечному місці.

Проходи до засобів пожежогасіння повинні бути вільними і позначеними відповідними знаками.

В місцях застосування мастики, фарби та інших матеріалів, що виділяють вибухонебезпечні чи шкідливі речовини, не дозволяється використовувати відкритий вогонь та виконувати роботи, що супроводжуються утворенням іскор. Усі об'єкти (будівлі, що споруджуються, тимчасові споруди, підсобні приміщення, будівельні майданчики тощо) повинні бути забезпечені первинними засобами пожежогасіння, засобами контролю та оперативного оповіщення у разі виникнення надзвичайної ситуації.

При монтажі використовується тимчасова електрична мережа, яка живиться від пересувного бензинового генератора. Джерелом пожежної небезпеки може бути як сам генератор так і несправний електроінструмент та тимчасово прокладені дроти і кабелі.

Оскільки час безперервної роботи генератора обмежений то немає необхідності в зберіганні на майданчику запасу пального. Фарба для фарбування окремих місць, покриття яких пошкоджене при монтажі також доставляється тільки за необхідності.

При розконсервації обладнання вітрового колеса та генератора з застосуванням бензину, гасу чи інших розчинників використання відкритого вогню та куріння забороняються. Матеріал, який використовувався для

обтирання обладнання, необхідно після закінчення робіт прибирати в металевий ящик з кришкою.

В цілому монтажний майданчик та роботи, що виконуються на ньому не створюють серйозної загрози виникнення пожежі, тому що не плануються вогневі та зварювальні роботи.

5.6 Надання першої допомоги при травмуваннях

При монтажних роботах найбільш ймовірними випадковими є травми, що виникають в результаті механічної дії, такі як:

- забій (забиття);
- розтягнення;
- вивих;
- перелом.

Можливі випадки серйозного масивного травмування, як наприклад, поєднані переломи та травматичний шок внаслідок падіння з висоти чи затиснення деталями БЕУ, що переміщуються.

5.6.1 Характеристика окремих видів травм та принципи надання першої допомоги

Поняття перша допомога включає проведення найпростіших медичних заходів для порятунку життя, зменшення страждань потерпілого від надзвичайної ситуації і попередження розвитку можливих ускладнень. Вміння надати першу допомогу постраждалим до прибуття служб порятунку може відіграти вирішальну роль у порятунку життя людини. [24, 25]

Основні принципи надання першої допомоги:

- правильність і доцільність (якщо відсутня впевненість в діях краще утриматись від них; головне – не нашкодити);
- швидкість дій;

– продуманість, рішучість та спокій.

Залежно від виду травм алгоритм дій різний, але повинен включати:

1.– Огляд місця події для впевнення в тому, що надання допомоги буде безпечним і при цьому як власна безпека, так і безпека потерпілого та людей навколо не буде порушена.

2.– Оцінити стан постраждалого (свідомість, дихання, пульс).

3. – У разі необхідності викликати бригаду екстреної медичної допомоги, а також інші екстрені служби (поліцію, аварійно-рятувальну службу і таке інше).

4. – Оцінити наявність критичних кровотеч та вжити заходів для їх зупинення.

5. – Забезпечити прохідність дихальних шляхів та вільний доступ повітря.

6. У разі відсутності в постраждалого ознак життя та немає критичної кровотечі (або вона вже ліквідована) – розпочати серцево-легеневу реанімацію.

7. – Якщо відсутня підозра на травми хребта та кісток тазу, а серцево-легенева реанімація була вдалою, необхідно розташувати постраждалого в стабільному положенні (на боці обличчям до себе, рука під головою, нога зігнута в коліні).

8. – Не залишати постраждалого без нагляду та контролювати стан його життєвих функцій до прибуття екстрених служб.

Якщо немає відповідних навичок для надання допомоги, слід звернутись за допомогою до інших присутніх для виконання базових заходів зі збереження життя, зменшення страждань постраждалого та запобігання можливих ускладнень.

Пошкодження можуть мати різний характер. Найважливішими є поєднані пошкодження декількох органів. Менш небезпечні, але серйозні – різні види поранень, переломи кісток кінцівок, хребта, тазу, вивихи в великих суглобах.

Розглянемо найбільш характерні травми згадані вище та надання допомоги при них.

Забиття – це травма шкірного покриву без порушення його цілісності. Її можна отримати при падінні, ударі тупим предметом. Травмоване місце набрякає, на ньому з'являється синець. Внаслідок розриву великих судин під шкірою накопичується кров – виникає гематома. Результатом забоїв може бути порушення функції пошкодженого органу. Забій м'яких тканин викликає лише біль і деяке обмеження руху кінцівок, натомість забої внутрішніх органів можуть стати навіть причиною смерті.

При забої необхідно забезпечити пошкодженій ділянці тіла спокій. Для припинення крововиливу у м'які тканини необхідно накласти тугу пов'язку та підняти уражену ділянку тіла. Для зменшення болю та запальних явищ слід прикласти до травмованого місця щось холодне. Якщо на забої є подряпини необхідна його дезінфекція. При серйозних забоях внутрішніх органів одразу обов'язкове звернення до лікаря.

Розтягнення – можуть виникати через рухи у невласивому для суглоба напрямку і рухах у суглобі, що перевищують його фізіологічний об'єм. Для розтягнень характерна поява різкого місцевого болю. При цьому значно порушуються функції суглобів.

Перша допомога при розтягненнях наступна:

- прикласти лід до місця травми для зменшення болю і набряку;
- використати тугу пов'язку на ушкоджений суглоб. При цьому слід пам'ятати, що вона не повинна порушувати звичайного кровообігу і чутливості шкіри ушкодженої кінцівки;
- підняти та утримувати травмовану кінцівку вище рівня серця, для зменшення припливу крові, що дозволить зменшити набряки.

Якщо постраждалий відчуває надмірний біль або травмоване місце сильно набрякле потрібно звернутися за кваліфікованою допомогою.

Вивих – це зсув суглобових кінців кісток. Він може супроводжуватися розривом суглобової капсули. Найчастіше вивихи характерні для плечового суглобу, та суглобів нижньої щелепи та пальців рук. Ознаками вивиху є:

- біль у кінцівці;
- деформація ділянки суглоба;
- відсутність активних і неможливість пасивних рухів у суглобі;
- кінцівка зафіксована у неприродньому положенні;
- зміна довжини кінцівки.

Перша допомога при вивихові полягає в зменшенні болю, тому необхідно прикласти до пошкодженого суглоба щось холодне та прийняти знеболювальний засіб. Пошкоджену кінцівку слід зафіксувати в тому положенні, яке вона набула після травмування. Якщо постраждала нижня кінцівка, потрібно це зробити за допомогою шин або підручних засобів. Якщо верхня – підвісити її на косинці. Ні в якому разі не можна вправляти вивихнуту кінцівку.

Перелом – може бути відкритим і закритим. При відкритому характерний біль, наявність рани у місці перелому та кровотеча, неприродне положення кінцівки, хрускіт у місці перелому та уламки кістки в рані.

Для закритого перелому симптоми аналогічні, але відсутня рана. На місці перелому утворюється гематома, кінцівка збільшується в об'ємі.

Перша допомога постраждалим при переломі виконується відповідно до описаного вище алгоритму. Крім того необхідно:

- розрізати одяг над раною;
- накласти на рану чисту, стерильну пов'язку;
- допомогти травмованій людині прийняти положення, при якому найменше відчуття болю;
- зафіксувати пошкоджену кінцівку (накласти шину чи підручні засоби);
- вкрити постраждалого покривалом, бажано теплим.

При закритому переломі виконуються ті ж дії, крім розрізання одягу та накладання пов'язки. Якщо стан постраждалого до приїзду екстреної допомоги почав погіршуватися необхідно повторно зателефонувати диспетчеру служби.

У всіх випадках слід звертати увагу на психологічний стан постраждалого – відразу після травми можливе збудження та шоківий стан.

При зупинці кровотечі слід користуватися засобами індивідуального захисту (гумовими рукавичками, окулярами), для уникнення ризику інфікування.

Ефективно зупинити кровотечу з рани можливо прямим сильним тиском через марлеву пов'язку на поранене місце. Якщо кровотеча артеріальна вище місця ураження необхідно накласти джгут, зафіксувавши час накладання. В разі декількох кровотеч, в першу чергу слід звернути увагу на більш масивні, та звернутися до присутніх за допомогою для стискання інших ділянок. Якщо пройшов час понад 30 хвилин і крововтрата не загрожує життю, необхідно трохи послабити джгут на декілька хвилин, для відновлення кровопостачання, а потім знову перетиснути судини. Залишатися з постраждалим необхідно до приїзду медичної допомоги.

Падіння з висоти, що перевищує ріст потерпілого, є особливо небезпечним, оскільки може спричинити значні поранення, переломи кінцівок, хребта, тазу, значні травми голови та внутрішніх органів і, як наслідок, – викликати дихальну недостатність, втрату крові та шок.

В разі падіння з висоти роботи повинні негайно зупинятися.

5.7 Розробка та розрахунок пристрою заземлення ВЕУ

Проектована ВЕУ розрахована на генерацію змінного струму напругою 400 В, тому згідно з Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ) необхідно передбачити захисне заземлення, що усуває небезпеку враження персоналу та тварин електричним струмом при дотику до корпусу чи інших

металевих частин електричного обладнання, що можуть опинитися під напругою в разі пошкодження ізоляції струмопровідних частин. [26].

В установках з глухозаземленою нейтраллю, якою є ВЕУ, таке заземлення одночасно є робочим, тобто середня точка чи один з виводів джерела живлення надійно приєднується до заземлювача за допомогою заземлювального провідника.

Принцип дії захисного заземлення в електроустановках напругою до 1000 В полягає в зниженні напруг дотику і кроку, до безпечних значень, що досягається зменшенням різниці потенціалу між обладнанням і землею за рахунок малого опору пристрою заземлення. Одночасно заземлення повинно забезпечити відведення можливих струмів грозових розрядів.

Заземлення здійснюється за допомогою спеціальних штучних заземлювачів, які бувають одиночними або груповими. Частіше застосовуються групові, до складу яких входять вертикальні стрижні (електроди) та горизонтальні полоси, для з'єднання вертикальних.

Крім штучних, з метою економії, використовують природні якими можуть бути прокладені в землі водопровідні та інші металеві трубопроводи за винятком трубопроводів горючих рідин, вибухонебезпечних, газів і сумішей; обсадні труби свердловин; металеві і залізобетонні конструкції будинків і споруд, які контактують з землею; різні металоконструкції, розташовані в ґрунті. Природні та штучні заземлювачі електрично з'єднуються в спільний пристрій. Об'єднання заземлювальних пристроїв різних електроустановок в один спільний здійснюється провідними частинами (провідниками), які підлягають заземленню (залізничні рейки, металеві конструкції шинних мостів і таке інше). Кількість об'єднувальних провідних частин має бути не меншою двох.

Опір пристрою заземлення, для лінійної напруги 380 В у будь-яку пору року не повинен 4 Ом. [п. 1.7.92, 26].

Штучні заземлювачі можуть виготовлятися з чорної сталі без покриття чи з покриттям із нержавіючої сталі, а також мідними [п. 1.7.117 26]. Штучні заземлювачі не фарбуються.

Мінімальні розміри заземлювачів і провідників заземлення, регламентовані табл. 1.7.5 [26]:

– для чорної сталі без покриття: вертикальні круглі діаметром 16 мм; горизонтальні круглі та прямокутні – переріз 100 мм².

– для міді без покриття: вертикальні круглі діаметром 12 мм; прямокутні – діаметр 20 мм.

Мінімальний переріз провідників заземлення має бути для міді – не меншим ніж 6 мм², для алюмінію – 16 мм², для сталі – 50 мм².

Враховуючи компонування фундаментів вежі та розтяжок штучний заземлювач передбачається контурним у вигляді квадрата зі стороною 7 м. План пристрою заземлення, загальний вигляд та вузли з'єднань показані на рис. 5.6. Виконання пристрою заземлення передбачається чотирма мідними збірними вертикальними електродами діаметром 17,2 мм довжиною 3 м (дві секції по 1,5 м) та горизонтальними з'єднувальними стальними провідниками покритими міддю діаметром 10 мм.

Для полегшення занурення електродів в ґрунт використовується спеціальний литий наконечник (нижня насадка). Приєднання заземлювача до мережі заземлення здійснюється універсальним затискачем, яким можливо приєднання як до сталевих смуги 40×4 так і до дроту діаметром 8–10 мм. Герметизації з'єднання забезпечується антикорозійною стрічкою.

Вертикальні електроди забивають вібратором чи кувалдою. Спочатку на електрод монтується нижня насадка та бойок на верхню частину після чого забивається перший електрод. Далі вставляється другий електрод. Їх з'єднання відбувається при забиванні під дією ударної сили.

Забитий вертикальний заземлювач приєднують до мережі заземлення. З'єднання провідників заземлення здійснюються спеціальними затискачами AFJ 819 [27], а герметизація з'єднання – антикорозійною стрічкою.

Розміщення заземлювачів у траншеї показано на рис. 5.5.

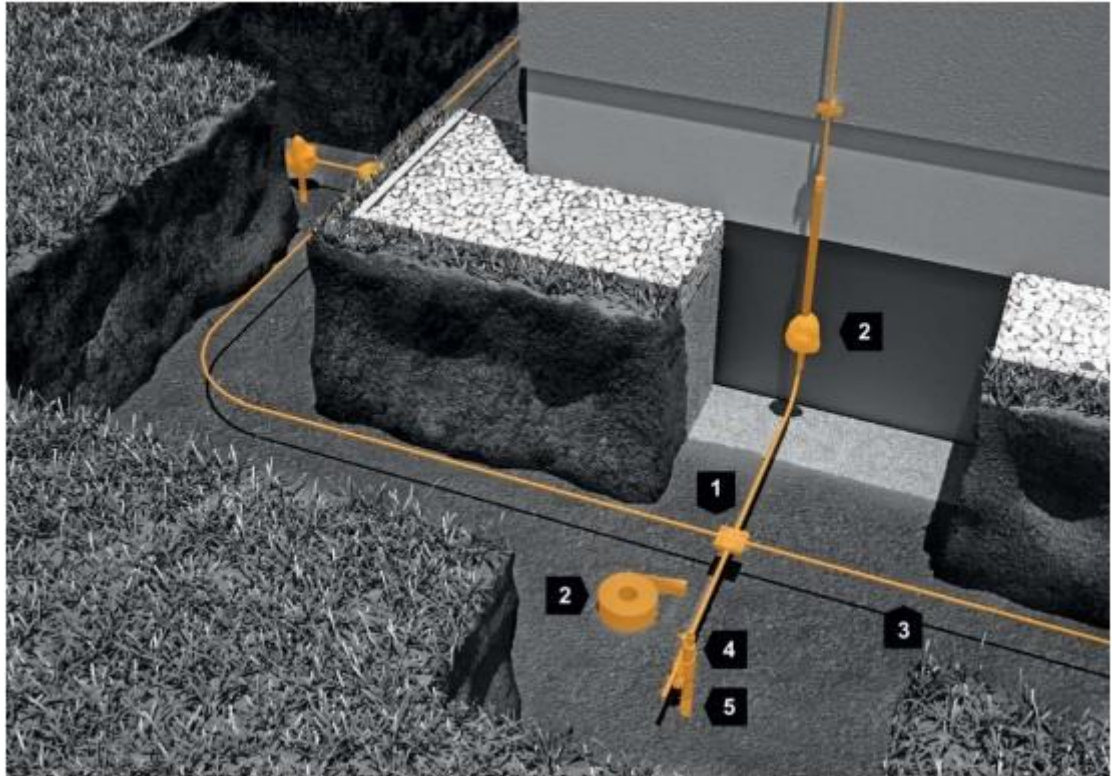


Рисунок 5.5 – Розміщення глибинних заземлювачів в траншеї:

1 – хрестовинний з'єднувач; 2 – антикорозійний бандаж; 3 – круглий провід;
4 – з'єднувальна скоба; 5 – стрижневий заземлювач

На опір пристрою заземлення, крім кількості та довжини електродів, впливають характеристики ґрунту в місці розташування. В місці розташування ВЕУ ґрунт суглинковий з питомим опором $95 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, товщина верхнього шару становить $2,0 \text{ м}$.

Опір окремого вертикального заземлювача R_B розраховується за виразом:

$$R_B = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L_B} \times \left[\ln \left(\frac{8 \cdot L_B}{d} \right) - 1 \right], \quad (5.1)$$

де ρ – значення питомого опору ґрунту, $\text{Ом}\cdot\text{м}$;

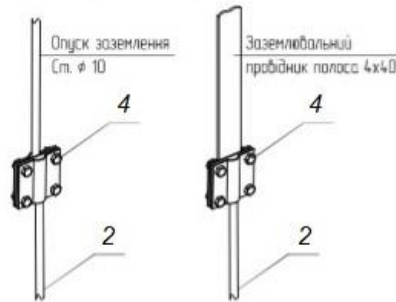
L_B – довжина вертикального заземлювача, $L_B = 3 \text{ м}$;

d – діаметр вертикального заземлювача, $d = 0,0172 \text{ м}$.

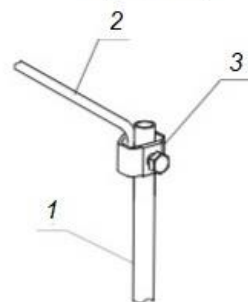
План пристрою заземлення та вузли з'єднань

Вузли з'єднань електродів

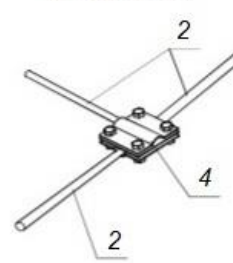
А (М 1:10)



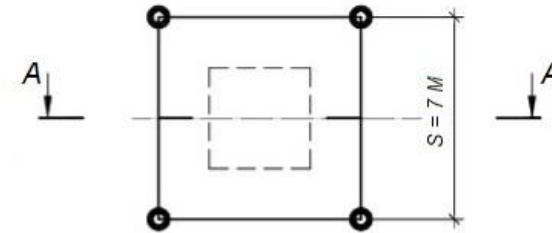
Б (М 1:10)



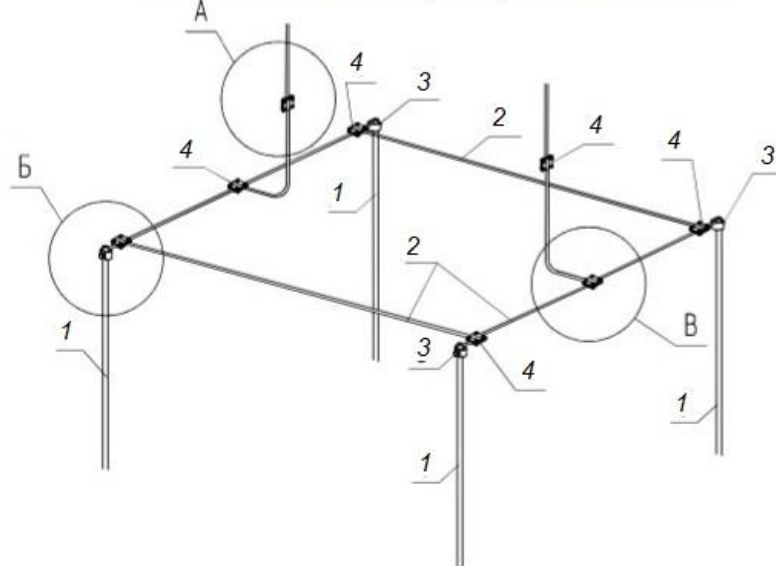
В (М 1:10)



План пристрою заземлення

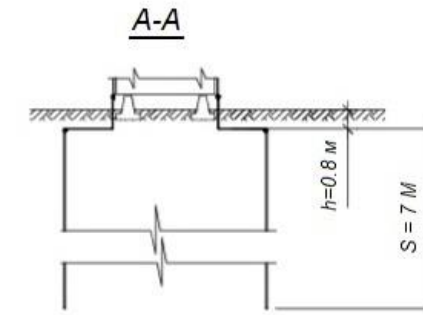


Загальний вигляд пристрою заземлення



1 - вертикальний електрод; 2 - горизонтальний електрод;
3 - з'єднувач смуги з вертикальним електродом; 4 - з'єднувач
пласких смуг

Приєднання пристрою заземлення до вежі



Поз	Позначення	Найменування	Кільк.	Маса од. кг	Примітка
Матеріали для заземлення					
1	AFK 017	Стрижень заземлення збраний з мідним електролітичним покриттям, ϕ 17,2 мм, L=15 м	24	2,75	шт.
2	ARG 010	Провідник заземлення - круг ϕ 10 мм з мідним електролітичним покриттям	36	0,72	довжина, м.
3	G-Clamp	З'єднувач для круглих провідників з стрижнем заземлення	4	0,140	шт.
4	AFJ 819	З'єднувач для плоских і круглих провідників заземлення	8	0,150	шт.

Рисунок 5.6 – План пристрою заземлення, загальний вигляд та вузли з'єднань

$$R_{\text{в}} = \frac{95}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \times \left[\ln \left(\frac{3 \cdot 1,5}{0,0172} \right) - 1 \right] = 23,1 \text{ Ом.}$$

Опір групи з чотирьох вертикальних електродів $R_{\text{гp в}}$ при їх розташуванні у формі квадрату визначається за виразом:

$$R_{\text{гp в}} = R_{\text{в}} \times \left(\frac{1 + \lambda \cdot \alpha}{n} \right), \quad (5.2)$$

де $\lambda = 2,71$ – коефіцієнт, значення приймається залежно від кількості вертикальних електродів на стороні квадрату (прийняте для двох електродів);

$n = 4$ – кількість електродів;

$\alpha = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot R_{\text{в}} \cdot S}$, де $S = 7 \text{ м}$ – відстань між вертикальними заземлювачами в групі.

$$\alpha = \frac{95}{2 \cdot 3,14 \cdot 26,7 \cdot 7} = 0,081.$$

$$R_{\text{гp в}} = 23,1 \times \left(\frac{1 + 2,71 \cdot 0,081}{4} \right) = 7,04 \text{ Ом.}$$

Опір горизонтального заземлювача у формі квадрата визначається як паралельне приєднання двох горизонтальних заземлювачів, з'єднаних під прямим кутом:

$$R_{1 \text{ г}} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \ln \times \left(\frac{L^2}{k \cdot h \cdot d} \right), \quad (5.3)$$

де $L = 7 \text{ м}$ – довжина горизонтального заземлювача;

k – коефіцієнт, що враховує форму провідника, для круглого $k=0,813$;

$h = 0,8 \text{ м}$ – глибина закладання горизонтального провідника;

$d = 0,01 \text{ м}$ – діаметр горизонтального провідника.

$$R_{1 \text{ г}} = \frac{95}{2 \cdot 3,14 \cdot 7} \cdot \ln \left(\frac{7^2}{0,813 \cdot 0,8 \cdot 0,01} \right) = 19,29 \text{ Ом.}$$

Опір всього квадрата $R_{2г} = \frac{19,29}{2} = 9,65 \text{ Ом}$.

Сумарний опір пристрою заземлення: $R_{заг} = \frac{7,04 \cdot 9,65}{7,04 + 9,65} = 4,0 \text{ Ом}$.

З розрахунку видно, що опір пристрою заземлення ВЕУ відповідає нормованому значенню.

Крім запроєктованого пристрою заземлення слід мати на увазі наявний на фермі пристрій заземлення опором (за даними замірів) 3,5 Ом та передбачити з'єднання двох пристроїв заземлення в один. В цьому разі сумарний опір двох заземлень буде меншим 4 Ом. Загальне заземлення одночасно може використовуватися для заземлення блискавковододів для яких опір пристроїв захисту не повинен перевищувати 30 Ом.

Траншеї, в яких розташовані горизонтальні заземлювачі, після повного закінчення монтажу пристрою заземлення, заміру опору, прийому робіт та геометричної прив'язки до нерухомих споруд відповідно до пункту 1.7.119 [26], загортаються однорідним ґрунтом.

При документальному оформленні змонтованого пристрою заземлення обов'язково креслять його схему з прив'язкою до великих стаціонарних орієнтирів.

Висновки за розділом 5

Розглянуті питання законодавчого забезпечення охорони праці в Україні. Виконаний детальний аналіз місця розташування, характеристик вітрової установки з переліком робіт, виявлені їх шкідливі та небезпечні фактори. Найбільш складними та небезпечними є монтажні роботи зі збирання та установки щогли і генератора. Запропоновані організаційно-технічні заходи для запобігання травмування монтажного персоналу та заходи з надання першої допомоги в разі травмування.

Розроблений проєкт пристрою заземлення ВЕУ та виконаний його розрахунок. Опір заземлення менший 4 Ом, що відповідає нормам ПУЕ.

ВИСНОВКИ

Пошкодження електричних мереж, які живили фермерське господарство, та неможливість їх відновлення викликали необхідність в автономному живленні, яке може бути здійснене альтернативними джерелами – вітровими чи сонячними системами генерації.

В роботі розглянута характеристика тваринницької ферми та структура її електричного навантаження, а також кліматичні особливості місця розташування. Аналіз показав можливість застосування малої вітрової установки.

Розрахована вітрова турбіна та головні розміри електричного генератора. Одним із можливих варіантів енергозабезпечення є застосування вітрової установки, яка серійно випускається. Запропонована установки G-Series RX-10KG потужністю 10 кВт з генератором, контролером та інвертором. Для накопичення електроенергії передбачені акумулятори LP LiFePO₄ 48V 230 Ah Smart BMS 200A 20331.

В роботі розглядаються питання законодавчого забезпечення охорони праці в Україні, описані роботи зі спорудження ВЕУ та виявлені небезпечні та шкідливі виробничі фактори під час їх виконання.

Запропоновані організаційні та технічні заходи з охорони праці при монтажу ВЕУ, правила додержання пожежної та вибухової безпеки об'єкта, розрахований пристрій заземлення.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. <https://ppr.kharkiv.ua/ua/climate>
2. Методичні вказівки «Довідкові дані з клімату України» для виконання практичних, розрахунково-графічних, курсових робіт, дипломних проектів і магістерських робіт студентами всіх природничих напрямів підготовки та спеціальностей НУВГП денної та заочної форм навчання / О.І. Галік, Т.О. – Рівне: НУВГП, 2014.–158 с.
3. https://tripoli.land/farmers/harkovskaya/dergachevskiy/harkivska-derzhavna-zooveterinarna-akademiya#about_company
4. <https://agro-business.com.ua/tvarynnytstvo-ta-veterynariya/vivcharstvo/item/7979-tekhnohiiia-utrymannia-ovets.html>
5. Гребченко М.В. Системи електропостачання з локальними джерелами енергії та керування ними. [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня магістра за освіт. програмою «Системи забезпечення споживачів електричною енергією» спец. 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / М.В. Гребченко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 1-е вид. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 98 с
6. Кирпатенко І. М. Система резервного електроживлення жилих та промислових об'єктів // Технічна електродинаміка. Темат. вип. Проблеми сучасної електротехніки, част. 3. - 2000. – С. 74 – 75.
7. Головка, В. М. Вітроенергетика: навчальний посібник для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка» / В.М. Головка; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 88 с
8. Кузьо І.В. Обґрунтування розвитку вітроенергетичних установок малої та надмалої потужності / І.В. Кузьо, В.М. Корендій // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2010. – № 679. – С. 61-68. – Режим доступу:
http://korwind.ucoz.ua/load/korendij_v_m_obgruntuvannja_rozvitku_vitroenergetichnikh_ustanovok_maloji_ta_nadmaloji_potuzhnosti/1-1-0-2.

9. Корендій В.М. Перспективи використання тихохідних вітроенергетичних установок малої та надмалої потужності / В.М. Корендій // Енергетика та системи керування 2011: 3-я міжнародна наукова конференція студентів, аспірантів та молодих вчених, 24-26 листопада 2011 р.: тези доповідей. – Львів, НУ«ЛП», 2011. –С. 32-35. – Режим доступу до електронного ресурсу:

http://korwind.ucoz.ua/load/publikacii_v_materialakh_konferencij/perspektivi_vikoriстання_tikhokhidnikh_vitroenergietichnikh_ustanovok_maloji_ta_nadmaloji_potuzhnosti/2-1-0-159.

10. Про затвердження Правил приєднання вітроелектростанцій до електричних мереж [Електронний ресурс]: наказ М-ва палива та енергетики України від 28 жовт. 2009 р. № 570. – режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua>.

11. Вітроенергетика. Курсовий проєкт. [Електронний ресурс]: навч. посіб. студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та для електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; Укладачі: Головка В.М., Коваленко І.Я., - Електронні текстові дані (1 файл: 1,8 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 27с.

12. http://ni.biz.ua/14/14_4/14_46981_gustina-povitrya-pri-riznih-temperaturah-i-tiskah.html Головка В. М. ;— Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 88 с.

13. Основи вітроенергетики: підручник / Г. Півняк, Ф. Шкрабець, О75 Н. Нойбергер, Д. Ципленков ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 335 с.

14/ https://alphapedia.ru/w/NACA_airfoil

15. Методичні рекомендації до виконання розрахунково-графічної роботи з навчальної дисципліни «Спеціальні електричні машини» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітня програма «Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії») / Харків. нац. ун-т міськ.

госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад. : М. Л. Глєбова, О.Б. Єгоров, Я. Б. Форкун;
Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2022. – 31 с.

16. <https://sealing.com.ua/alternative-energetics-generators/wind-turbines/horizontal-wind-turbines/v-trogenerator-g-series-rx-10kg-10-kvt-gorizontalniy/>

17/ <https://bts.net.ua/alternative-energy-sources-and-generators/wind-power-generators/kontroller-v-trogeneratora-merezheviy-fkj-gt-10-kvt-380-v-z-wifi/?srsltid=AfmBOoolSHFjuJc5zl85Yjcn0ybS3rFkt3KpGyMVI8I-Oby2mrTMvzfL>

18/ <https://www.solargarden.com.ua/ru/obladnannya/setevoy-invertor-deye-sun-12k-g06p3-eu-am2-p1/>

19/ https://logicpower.ua/akkumulyatornye-batarei-lifepo4/akkumulyator-lp-lifepo4-48v-51-2v-230-ah-11776wh-smart-bms-200a-s-lcd-rm-rs485-can?srsltid=AfmBOopohGYcp6dbKwptp13dsf3xE4Xn_laNZuYTDS-hXiZ4t6ne0cCJ

20/ Дикань С. А. Безпека людини. Університетський курс [Текст] = Human Security : [підруч. для студ. вищ. нав. закл. усіх спец. ОКР «Бакалавр»] / С. А. Дикань, І. О. Іваницька – Полтава : ТОВ «АСМІ», 2019. – 279 с. : іл., табл.

21. Безпека життєдіяльності [Текст]: підручник. / О.І. Запорожець, Б.Д. Халмурадов, В.І. Применко та ін. – К.: «Центр учбової літератури», 2013. – 448 с.

22. Національний стандарт України. Охорона праці. Терміни та визначення основних понять. ДСТУ 2293:2014. Видання офіційне. Київ, Мінекономрозвитку України, 2015

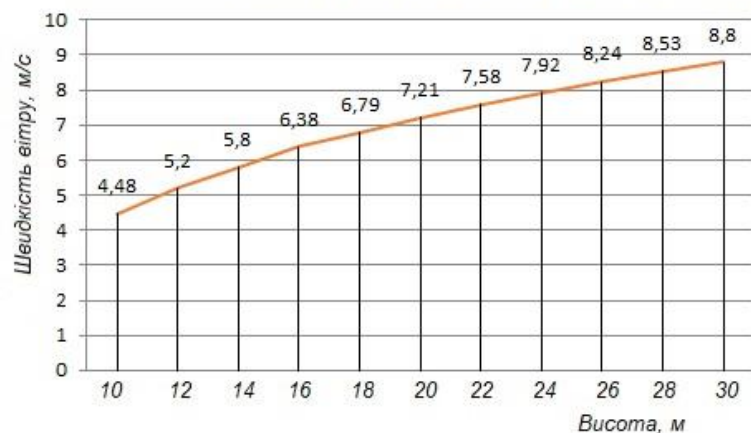
23. Національний стандарт України. Система стандартів безпеки праці. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використанні в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва, ДСТУ-Н Б А 3.2-1:2007, Київ, Мінбуд України, 2007.

24. <https://tacmed.ua/post/persha-domopoga-pru-travmah?srsltid=AfmBOor89Aqg4U1iv3moBQjZv7oznc7KQzXECJe5cYdXlv2u0etdhHYu>
25. / <https://clinic.gov.ua/persha-dopomoha-pry-travmakh/>
26. Правила улаштування електроустановок. - Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Х. : Видавництво «Форт», 2017. - 760 с.
27. Улаштування глибинних заземлень обладнання електричних мереж. Проект повторного застосування. Арх. № 1.18. Методика розрахунку. Робочі креслення. Науково-виробниче підприємство ТОВ «ЕНЕРГОЛІГА». Київ, 2018.

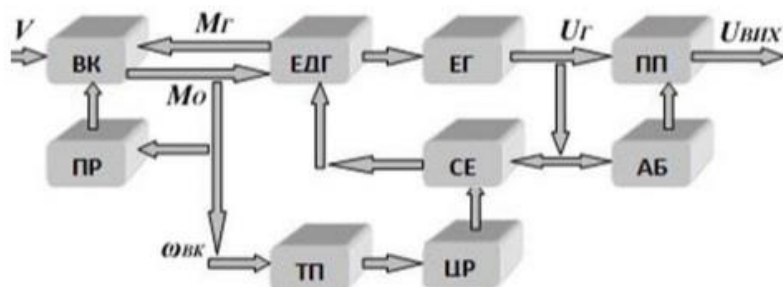
ГРАФІЧНІ МАТЕРІАЛИ

Залежність швидкості вітру від висоти, вибір типу ВЕУ, структурна схема та добове електричне навантаження

Залежність швидкості вітру від висоти



Структурна схема вітроустановки



ВК - вітроколесо; ЕДГ - електродинамічне гальмо;
 ЕГ - електричний генератор; СЕ - силовий елемент;
 АБ - акумуляторна батарея; ТП - тахометр;
 ПП - проміжний перетворювач;
 ПР - пружинний регулятор;
 ЦР - центральний регулятор;
 V - вітровий потік;
 МО - обертовий момент;
 ГМ - гальмівний момент.

Типи вітрових установок



З вертикальною віссю

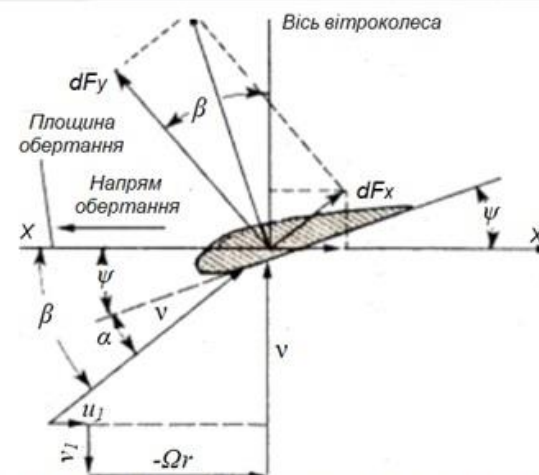
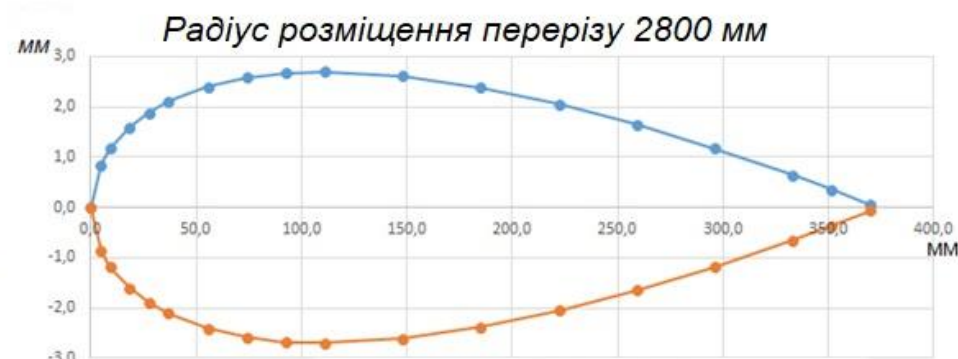
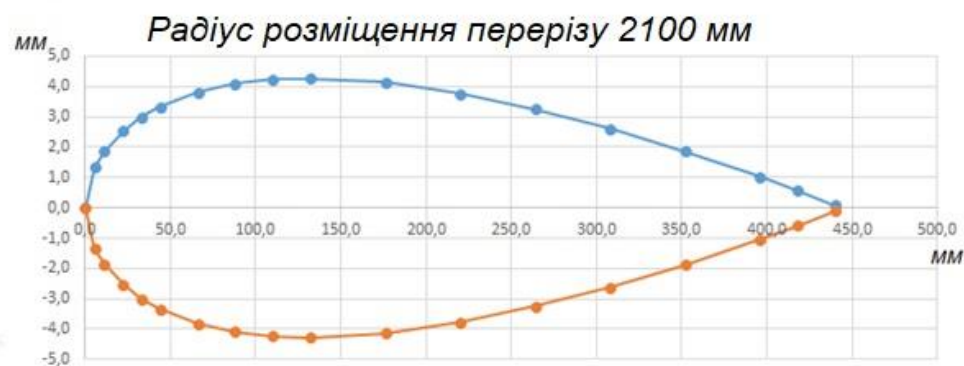
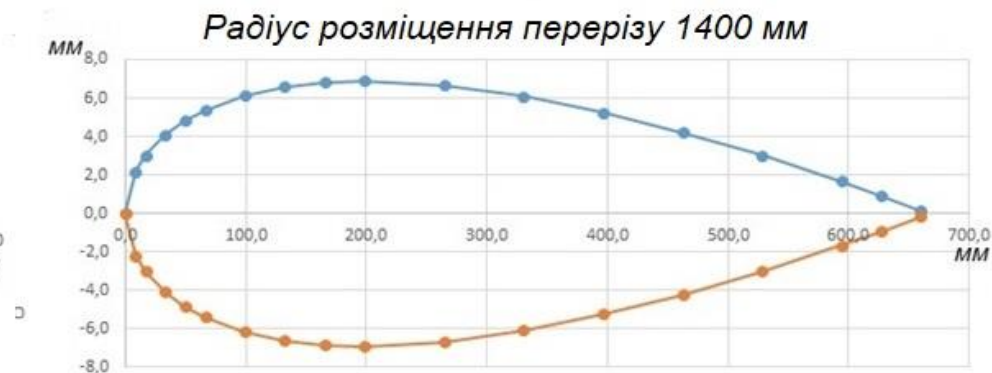
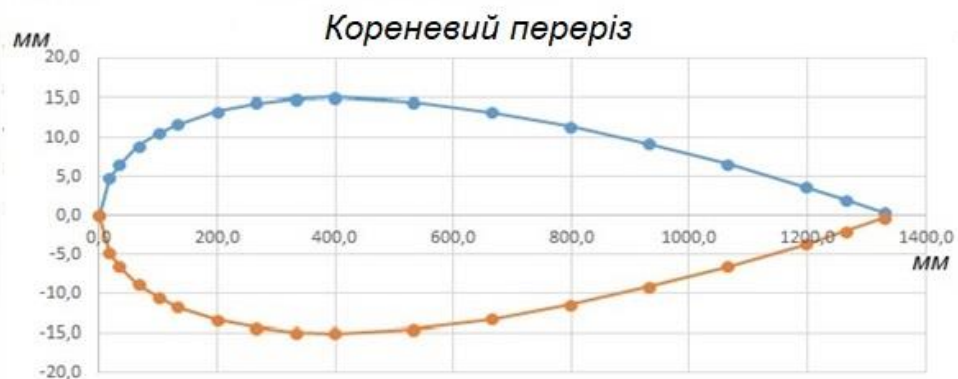


З горизонтальною віссю



Максимальне електричне навантаження – 3,36 кВт
 Мінімальне електричне навантаження – 0,3 кВт
 Середньодобове електричне навантаження 1,93 кВт
 Добове споживання електроенергії - 46,28 кВт*год

Шаблони профілів перерізів лопаті



План швидкостей вітрового потоку та кути набігання на лопать

Серійна вітрова установка

Загальна схема вітрової установки



Технічні параметри вітроустановки G-Series RX-10KG]

Параметр	Дані
Модель	RX-10KG
Номинальна потужність	10 кВт
Максимальна потужність	12 кВт
Довжина лопатей	2,8 м
Діаметр вітрового колеса	5,8 м
Кількість лопатей	3
Номинальна напруга змінного струму	~380V
Стартова швидкість вітру	2,5 м/с
Номинальна швидкість вітру	12 м/с
Найбільша швидкість вітру	45 м/с
Матеріал лопатей	Скловолокно
Тип генератора	Трифазний генератор з постійними магнітами
Матеріал магніту	NdFeB
Робоча температура установки	-80? ~+80?
Рівень захисту	IP54
Робоче середовище вологість	?90%
Висота над рівнем моря	?4500 м
Вага брутто	314 кг

Зовнішній вигляд вітроустановки G-Series RX-10KG



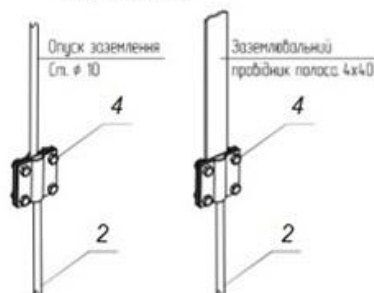
Зовнішній вигляд акумулятора LP LiFePO4
48V 230 Ah Smart BMS 200A 20331



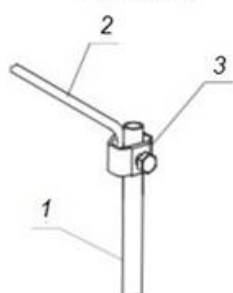
План пристрою заземлення та вузли з'єднань

Вузли з'єднань електродів

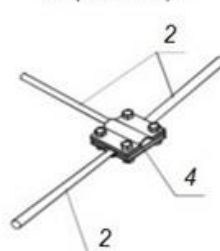
А (М 1:10)



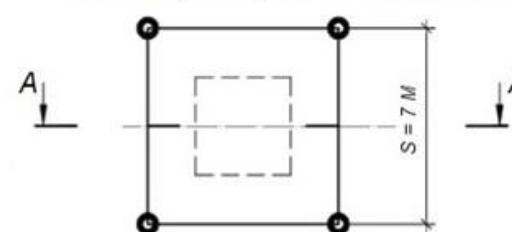
Б (М 1:10)



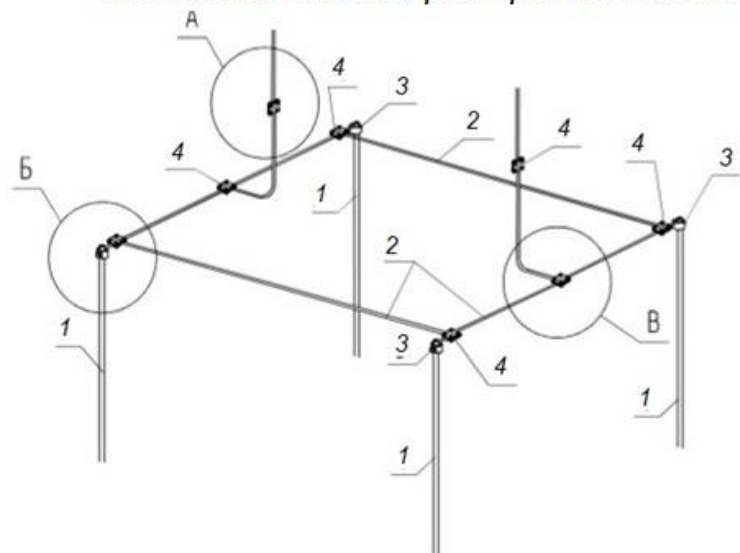
В (М 1:10)



План пристрою заземлення



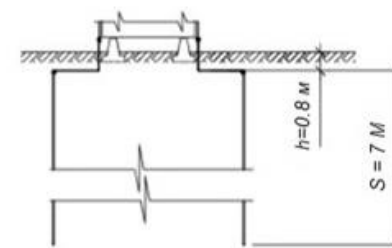
Загальний вигляд пристрою заземлення



1 - вертикальний електрод; 2 - горизонтальний електрод;
3 - з'єднувач смуги з вертикальним електродом; 4 - з'єднувач
пласких смуг

Приєднання пристрою заземлення до вежі

A-A



Матеріали для монтажу заземлення

Поз	Позначення	Найменування	Кільк.	Маса од. кг	Примітка
		Матеріали для заземлення			
1	AFK 017	Стрижень заземлення збраний з мідним електролітичним покриттям ϕ 17,2 мм L=15 м	24	2,75	шт.
2	ARG 010	Провідник заземлення - круг ϕ 10 мм з мідним електролітичним покриттям	36	0,72	добжина, м.
3	G-Clamp	З'єднувач для круглих провідників з стрижнем заземлення	4	0,140	шт.
4	AFJ 819	З'єднувач для плоских і круглих провідників заземлення	8	0,150	шт.