

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра механіки та інженерії агроєкосистем

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

УДК 620.92

ОЛІЙНИК Дмитро Вікторович

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Обґрунтування параметрів системи для забезпечення енергетичної
автономності тваринницької ферми**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Д.В.Олійник

Керівник роботи

Кухарець С. М.

Доктор технічних наук, професор

Житомир – 2021

АНОТАЦІЯ

Олійник Дмитро Вікторович. Обґрунтування параметрів системи для забезпечення енергетичної автономності тваринницької ферми. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2021.

Проаналізувавши метеорологічні дані та передбачувані навантаження бази відпочинку бачимо, що взимку, влітку та восени питома потужність вітру більше узгоджується з навантаженням на фермі, ніж щільність сонячного випромінювання, а навесні навпаки. На підставі цього як основне джерело енергії приймається вітер. Оскільки протягом року спостерігаються штилеві дні, то енергію вітру необхідно дублювати. У зв'язку з цим як допоміжне джерело приймається сонячне випромінювання. Проте пряме сонячне випромінювання також буває щодня і відсутнє вночі. Це зумовлює необхідність акумулювання енергії на періоди одночасної відсутності ВДЕ: вітру та Сонця.

Таким чином, для електропостачання ферми приймаються такі джерела енергії:

- вітер;
- сонячне випромінювання;
- акумулятори (резерв).

Так само бувають такі ситуації, що не вистачає енергії від ВДЕ, а акумулятори не встигли повністю зарядитися, то тоді необхідна потужність перевищує існуючу. Для такого випадку підключається дизельна електроустановка, яка є в резерві.

Ключові слова: сонце, вітер, сонячна електростанція, вітроустановка

ANNOTATION

Oliynyk Dmytro. Substantiation of system parameters for ensuring energy autonomy of livestock farm. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2021.

Analyzing the meteorological data and the estimated load of the recreation center, we see that in winter, summer and autumn the specific wind power is more consistent with the load on the farm than the density of solar radiation, and vice versa in spring. Based on this, wind is accepted as the main source of energy. As calm days are observed during the year, wind energy must be duplicated. In this regard, solar radiation is accepted as an auxiliary source. However, direct sunlight also occurs daily and is absent at night. This necessitates the accumulation of energy during periods of simultaneous absence of RES: wind and solar.

Thus, the following energy sources are accepted for the power supply of the farm:

- wind;
- solar radiation;
- batteries (reserve).

There are also situations when there is not enough energy from RES, and the batteries do not have time to fully charge, then the required power exceeds the existing one. In this case, the diesel electrical installation, which is in reserve, is connected.

Key words: sun, wind, solar power plant, wind turbine

Зміст

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 ОБҐРУНТУВАННЯ ПОТРЕБИ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ ЕНЕРГІЇ	7
Висновок до розділу 1.....	12
РОЗДІЛ 2 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИДУ ДЖЕРЕЛ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ АВТОНОМНОСТІ ФЕРМИ	13
Висновок до розділу 2.....	20
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ НА БАЗІ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ....	22
Висновок до розділу 3.....	32
ВИСНОВКИ.....	33
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	34

ВСТУП

Відновлювані джерела енергії (вітрова та сонячна енергія) є некерованими людиною, тому треба прагнути того, щоб споживання електроенергії було пов'язане з її надходженням. Це є особливістю проектування електропостачання на основі відновлюваних джерел енергії порівняно з традиційним електропостачанням.

Проаналізувавши метеорологічні дані та передбачувані навантаження бази відпочинку бачимо, що взимку, влітку та восени питома потужність вітру більше узгоджується з навантаженням на фермі, ніж щільність сонячного випромінювання, а навесні навпаки. На підставі цього як основне джерело енергії приймається вітер. Оскільки протягом року спостерігаються штилеві дні, то енергію вітру необхідно дублювати. У зв'язку з цим як допоміжне джерело приймається сонячне випромінювання. Проте пряме сонячне випромінювання також буває щодня і відсутнє вночі. Це зумовлює необхідність акумулювання енергії на періоди одночасної відсутності вітрової та сонячної енергії (безвітряна погода, похмура погода, ніч).

Мета і задачі дослідження. Мета дослідження – забезпечити автономне енергопостачання тваринницької ферми на основі відновлюваних джерел енергії.

Згідно до мети магістерської роботи сформовано наступні задачі:

1. Провести обґрунтування потреби в електричній енергії.
2. Виконати обґрунтування виду джерел для забезпечення енергетичної автономності ферми.
3. Виконати розрахунок основних параметрів енергопостачання на базі відновлюваних джерел енергії.

Об'єкт дослідження: гібридна вітросонячна електростанція

Предмет дослідження: узгодження параметрів вітросонячної електростанції із потребами в електричній енергії свиноферми.

Методи дослідження: Експериментальні дослідження проведено із застосуванням методів теорії імовірності, математичної статистики.

Практичне значення одержаних результатів. Дослідження направлені на вдосконалення використання відновлюваних джерел енергії в аграрних підприємствах.

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота містить вступ, три розділи, висновки, список інформаційних джерел з 8 джерел. Загальний обсяг роботи становить 34 сторінки комп'ютерного тексту.

РОЗДІЛ 1

ОБҐРУНТУВАННЯ ПОТРЕБИ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ ЕНЕРГІЇ

Для обґрунтування потреби в електроенергії розглянемо порядок функціонування тваринницької ферми, щоб визначити час найбільшого навантаження об'єктів. Порядок роботи на фермі відбувається в такий спосіб. Обслуговуючий персонал розпочинає роботу о 7.00, при цьому відбувається підготовка обладнання до роботи; о 8.00 відбувається завантаження бункера роздачі кормів кормозмішувачем у мобільні кормороздавачі, після чого відбувається роздача корму та очищення кормороздавача від його залишків. Об 11.00 починається процес гноєвидалення. Відповідно о 17.00 відбувається вечірнє завантаження кормороздавача, о 18.00 відбувається вечірнє годування тварин, після того о 21.00 повторюється процес гноєвидалення та очищення годівниць від залишків корму.

Обслуговування ферми здійснюють два оператори з догляду за тваринами та один оператор з технічного обслуговування обладнання. Свинарник для відгодівлі ремонтного молодняку на 400 голів входить до складу свинарського комплексу з вирощування гібридного молодняку свиней. Свинарник призначений для утримання ремонтного молодняку, що надходить зі свинарників поросят у віці 120 днів з живою середньою масою однієї голови близько 45 кг.

Тварини надходять у свинарник технологічними групами. Розміщують групу в окремому ізольованому приміщенні, повністю займаючи його. Розміщують молодняк свиней у групових станках з використанням вигулів протягом 125 днів. У віці 233 дні технологічну групу тварин відправляють на реалізацію. Приміщення, що звільнилося, піддають гідроочищення, дезінфекції і готують до прийому наступної групи.

Годування тварин нормоване дворазове, комбікормом, розведеним водою до вологості 75-78%. З кормозмішувального приміщення суміш подається до кормороздавача. Процес роздачі корму здійснюється після заповнення роздавача. Напування тварин здійснюється водою питної якості. Підтримання відносної вологості в приміщенні здійснюється шляхом зміни продуктивності повітря вентилятора. У розглядуваному свинарнику на 400 голів є такі системи інженерного забезпечення: кормороздача, гноєвидалення, водопостачання, зв'язок, вентиляція та опалення. Кормова суміш готується в кормоцеху, завантажується в кормороздавач, який під'їжджає до свинарника і перевантажує мішанку в роздатчик. Роздавачі роздають корм у групові годівниці. Роздача корму здійснюється двічі на добу.

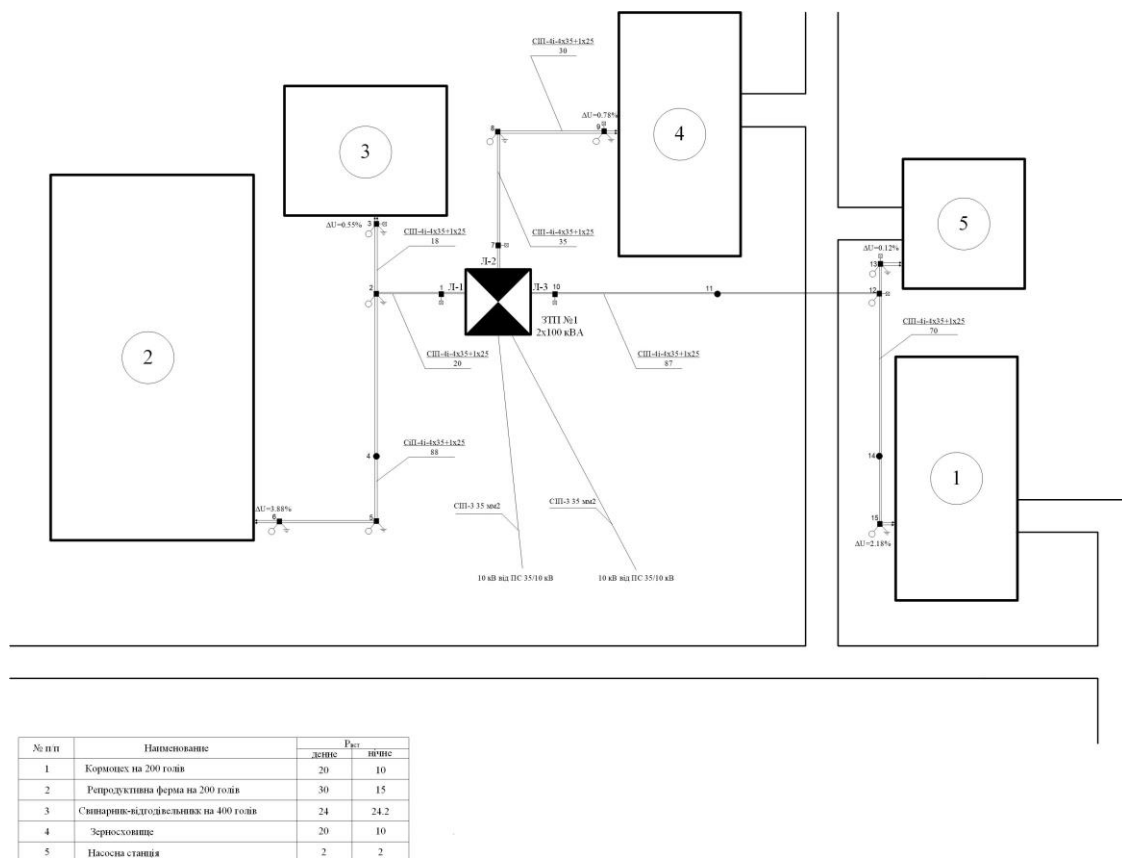


Рис. 2.1. Генеральний план свиноферми

Гноєвидалення зі свинарника здійснюється по гнойових каналах, в яких встановлені поздовжні скребкові транспортери з поздовжніх транспортерів гній збирається в поперечний скребковий транспортер, який скидає гній у гноєкопичувач. Водопостачання об'єкта здійснюється з водонапірної вежі, встановленої на території ферми, трубопроводами. Вентиляція у приміщеннях для утримання відгодівельних свиней передбачена примусова з механічним запуском. Для подачі повітря в зимовий та перехідний час передбачаються опалювально-вентиляційні установки. При зовнішніх температурах вище $+7^{\circ}\text{C}$ опалювально-вентиляційні установки відключаються. Для витяжки повітря в зимовий та літній час передбачені вентилятори, які встановлені у шахтах. Влітку подача повітря передбачається припливним вентилятором. Переміщення повітря у приміщенні для утримання свиней передбачається по повітропроводах з поліетилену. Між повітропроводами передбачена перемичка із заслінкою. При виході з ладу вентилятора однієї із систем заслінка має бути відкритою і працюючий вентилятор забезпечує 50% необхідного повітрообміну. Опалення приміщення здійснюється за допомогою тепловентиляторів. Опалення підсобних приміщень здійснюється за допомогою батарей.

З отриманих відомостей про споживачів електроенергії виробничого сектора встановимо розрахункові потужності на вводах. Основна використовувана потужність виробляється у денний час, отже, розрахунок робитимемо для денного навантаження. Для деяких об'єктів, у яких вечірній максимум більше денного прийматиме розрахунок за більшим максимумом. Як розрахункову потужність для свинарника-відгодівника на 400 голів приймаємо потужність введення. Дані про потужності об'єктів подаємо у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Розрахункові потужності об'єктів

Назва	Навантаження, кВт		Cos(φ)	
	Рдн	Рвч	дн.	вч.
Кормоцех на 200 голів	20	10	0,75	0,78
Репродуктивна ферма на 200 голів	30	15	0,75	0,85
Свинарник відгодівельник на 400 голів	24	24.2	0,75	0,85
Зерносховище	20	10	0,7	0,75
Насосна станція	2	2	0,8	0,8

В системі буде використано установка компенсації реактивної потужності для підвищення показника $\cos \varphi$. Відповідно до вибору установки компенсації ККУ – 0.38 – III здійснимо коригування показників $\cos \varphi$ [1, 2, 3].

Таблиця 1.2 – Розрахункові потужності об'єктів з урахуванням використання установки компенсації реактивної потужності

Назва	Навантаження, кВт		Cos(φ)	
	Рдн	Рвч	Рдн	Рвч
Кормоцех на 200 голів	20	10	0.86	0.96
Репродуктивна ферма на 200 голів	30	15	0.86	0.96
Свинарник відгодівельник на 400 голів	24	24.2	0.86	0.96
Зерносховище	20	10	0.86	0.96
Насосна станція	2	2	0.86	0.96

Для проведення розрахунків активного навантаження всього об'єкта необхідно зробити розрахункове навантаження кожної групи об'єктів. В даному

випадку до першої розрахункової групи ставитимуться всі об'єкти крім насосної станції, яка буде об'єктом другої розрахункової групи.

Для розрахунку електричного навантаження об'єкта скористаємося формулою:

$$P_{p.ep} = k_0 \cdot \sum P, \quad (1.1)$$

де k_0 – коефіцієнт одночасності;

Визначимо навантаження для споживачів першої групи для денного максимуму:

$$P_{д.1} = 0.75 \cdot (20 + 30 \cdot 2 + 24 + 20) = 93 \text{ кВт}.$$

Зробимо відповідний розрахунок для вечірнього максимуму:

$$P_{в.1} = 0.75 \cdot (10 + 15 \cdot 2 + 24.2 + 10) = 55.7 \text{ кВт}.$$

Визначимо навантаження для споживачів другої групи для денного та вечірнього максимуму:

$$P_{д.2} = P_{в.2} = 2 \text{ кВт}.$$

Для розрахунку потужності, необхідної для зовнішнього освітлення, необхідно прийняти 250 Вт на будівлю і 3 Вт на кожен метр довжини периметра свиноферми. $P_{осв} = 250 \cdot 6 + (90 + 150) \cdot 2 \cdot 3 = 2940 \text{ Вт} = 2.94 \text{ кВт}.$

Підсумовуючи розрахункові навантаження всіх груп за таблицею надбавок, отримаємо розрахункове навантаження на шинах ТП з урахуванням зовнішнього освітлення:

$$P_{ТП.д} = 93 + 1.2 = 94.2 \text{ кВт};$$

$$P_{ТП.в} = 55.7 + 2.94 = 58.64 \text{ кВт}.$$

Отже, на підставі розрахунків передбачається висновок про те, що розрахункову потужність трансформаторної підстанції слід визначати за денним максимумом, за рахунок того, що він більший, ніж вечірній.

Визначимо повну потужність об'єкта електрифікації за формулою:

$$S_{p.m.} = \frac{P_{m.}}{\cos \varphi}, \quad (1.2)$$

де $P_{m.}$ – активна потужність всього тваринницького комплексу, кВт;

$\cos \varphi$ – середньозважене значення коефіцієнта потужності.

Визначимо середньозважене значення коефіцієнта потужності для денного максимуму:

$$\cos \varphi_{cp.v.d} = \frac{\sum P_{id} \cdot \cos \varphi_{\phi i}}{\sum P_{id}}, \quad (1.3)$$

Зробимо відповідний розрахунок:

$$\cos \varphi_{cp.v.d} = \frac{20 \cdot 0.86 + 2 \cdot 30 \cdot 0.86 + 24 \cdot 0.86 + 20 \cdot 0.86 + 2 \cdot 0.86}{20 + 60 + 24 + 20 + 2} = 0.86.$$

Визначимо середньозважене значення коефіцієнта потужності для вечірнього максимуму:

$$\cos \varphi_{cp.v.B} = \frac{10 \cdot 0.96 + 2 \cdot 15 \cdot 0.96 + 24.2 \cdot 0.96 + 10 \cdot 0.96 + 2 \cdot 0.96}{10 + 30 + 24.2 + 10 + 2} = 0.96.$$

На підставі даних розрахунків здійснимо розрахунок повної потужності об'єкта відповідно до формули (1.1):

$$S_{\delta} = \frac{P_{m.d}}{\cos \varphi_{cp.v.d}} = \frac{94.2}{0.86} = 109.5 \text{ кВА};$$

$$S_{\delta} = \frac{P_{m.d}}{\cos \varphi_{cp.v.B}} = \frac{58.64}{0.96} = 89.2 \text{ кВА}.$$

Висновок до розділу 1

Обґрунтування параметрів системи для забезпечення енергетичної автономності проведемо на базі свиноферми. На основі проведених розрахунків встановлено, що необхідна повна потужність тваринницької ферми становитиме 89,2 кВа при наявності компенсації реактивної потужності.

РОЗДІЛ 2

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИДУ ДЖЕРЕЛ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ АВТОНОМНОСТІ ФЕРМИ

Відновлювані джерела енергії (вітер і Сонце) є некерованими людиною, тому треба прагнути того, щоб споживання електроенергії було пов'язане з її надходженням. Це є особливістю проектування електропостачання на основі ВДЕ порівняно з традиційним електропостачанням [4, 5].

Проаналізувавши метеорологічні дані та передбачувані навантаження бази відпочинку бачимо, що взимку, влітку та восени питома потужність вітру більше узгоджується з навантаженням на фермі, ніж щільність сонячного випромінювання, а навесні навпаки. На підставі цього як основне джерело енергії приймається вітер. Оскільки протягом року спостерігаються штилеві дні, то енергію вітру необхідно дублювати. У зв'язку з цим як допоміжне джерело приймається сонячне випромінювання. Проте пряме сонячне випромінювання також буває щодня і відсутнє вночі. Це зумовлює необхідність акумулювання енергії на періоди одночасної відсутності ВДЕ: вітру та Сонця.

Таким чином, для електропостачання ферми приймаються такі джерела енергії:

- вітер;
- сонячне випромінювання;
- акумулятори (резерв).

Так само бувають такі ситуації, що не вистачає енергії від ВДЕ, а акумулятори не встигли повністю зарядитися, то тоді необхідна потужність перевищує існуючу. Для такого випадку підключається дизельна електроустановка, яка є в резерві.

Електропостачання здійснюється в такий спосіб. Якщо присутній вітер, то від вітроколеса обертається машина постійного струму, що заряджає

акумулятори. Якщо вітру немає або вітроколесо вимкнено при неприпустимо сильному вітрі, акумулятор живить фотоенергетична установка, вітро і сонячна установки можуть також працювати одночасно.

Із заряджених таким чином акумуляторів постійний струм через інвертор перетворюється на змінний і подається до споживачів.

Швидкість вітру в різних площинах, паралельних земній поверхні різна, тому висота щогли має важливе значення для вітроелектричних установок. Вже на висоті 9 метрів швидкість вітру, як правило, на 15...25 % більша ніж у 1,5 метрах від землі, але навіть невеликий приріст середньої сили вітру дозволяє отримати від станції набагато більше енергії.

Створено велику кількість вітроелектричних станцій, які як перетворювач енергії вітру в механічну енергію в більшості випадків використовують пропелер (гвинт), але такі станції мають ряд істотних недоліків, а саме:

1. Обов'язкове орієнтування гвинта вздовж осі потоку вітру, що призводить до застосування механізму повороту осі гвинта.
2. Необхідність створення високої та громіздкої вежі, через наявність механізму повороту та довгих лопатей.
3. Складність виробництва гвинта та дорожнеча матеріалу гвинта.
4. Висока вартість трудовитрат високо-кваліфікованих робітників.

Всі ці недоліки призводять до дорожнечі вітроустановок цього типу. Маючи достатній потенціал енергії вітру на нашій території, було б смішно не використовувати хоча б частину цієї дармової енергії. Але альтернативою дуже дорогому лопатовому вітряку я пропоную як перетворювач енергії вітру в механічну енергію використовувати не гвинт, а циліндри Магнуса.

Циліндр Магнуса є спрощеною трансформацією активної турбіни з перерозвиненими лопатками, що являють собою два напівциліндри, зміщені за центр на відому величину [6].

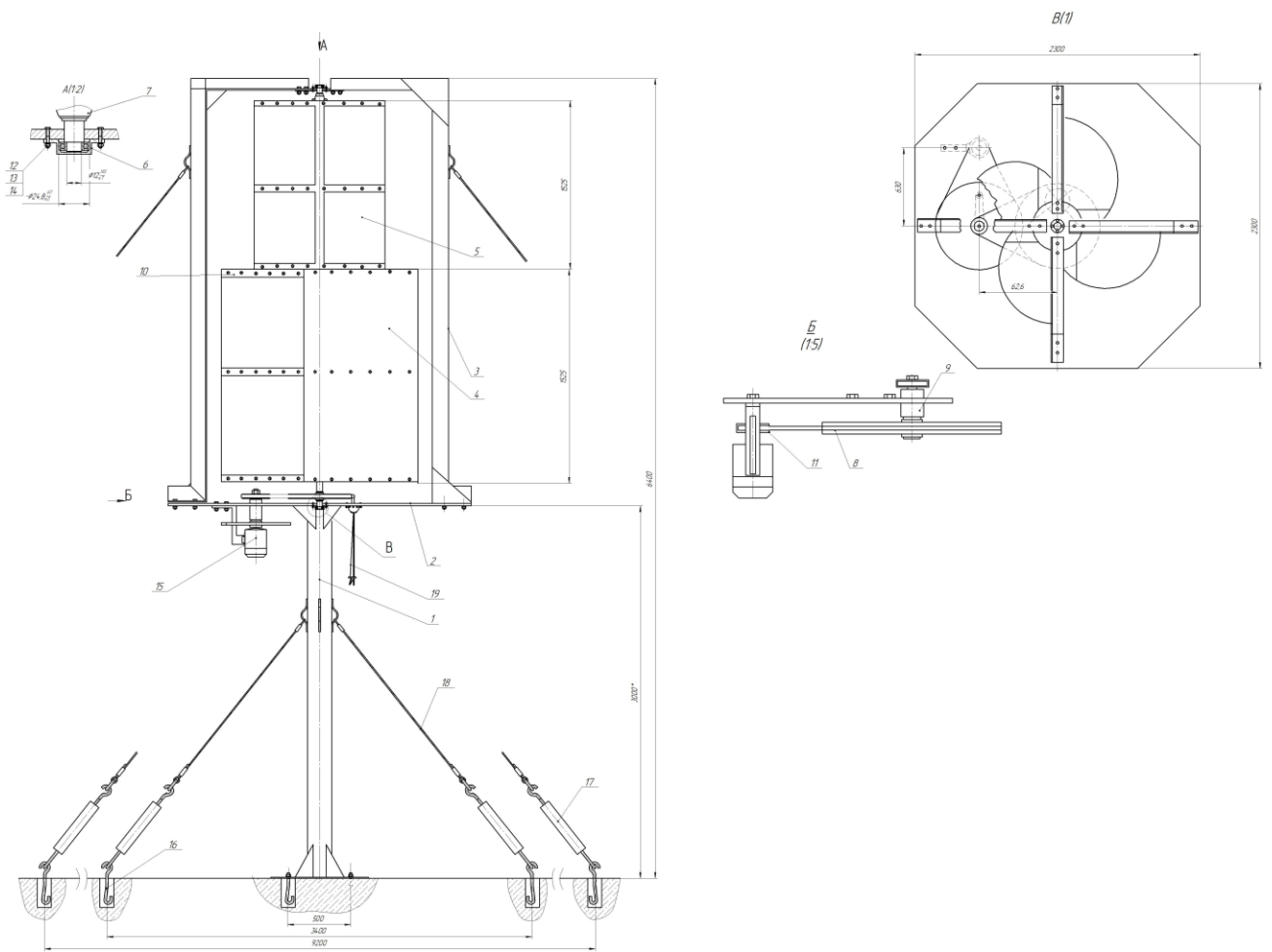


Рис. 2.1. Конструкція вітрової електростанції на основі циліндра Магнуса:
 1 – стійка, 2 – станина, 3 – рама, 4 – велика секція, 5 – мала секція, 6 – стакан, 7
 – вал, 8 – пас, 9 – втулка, 10 – вухо, 11 – шків, 12 – болт, 13 – гайка, 14 – шайба,
 15 – ротор, 16 – опора, 17 – розтяжка, 18 – канат

Циліндр Магнуса в порівнянні з гвинтом має суттєві переваги:

1. Конструктивна та технологічна простота у виготовленні.
2. Не вимагає застосування дорогих матеріалів, як матеріал можуть бути використані дешеві сталі, фанера, пластик.
3. Не вимагає відстеження напрямку вітру
4. При однаковій потужності він менший за гвинт за розмірами

5. Відсутність необхідності будівництва вежі.

6. Можливість застосування низько кваліфікованої праці та простого оснащення

У системах безперебійного живлення можуть використовуватися чотири основні різновиди акумуляторів (АКБ):

1) Стартерні автомобільні малообслуговувані (перевірка рівня електроліту щорічно і доливка дистильованої води за необхідності). Термін служби при оптимальних умовах експлуатації 3 – 5 років.

2) Стартерні автомобільні герметичні, що не обслуговуються. Термін служби, за оптимальних умов експлуатації 3 – 6 років

3) Стаціонарні типу AGM. Стаціонарні акумулятори типу AGM, майже такі ж як стартові необслуговувані, але мають адсорбований електроліт (він як би не рідкий, тому що знаходиться в порах скловолоконних сепараторів) і термін їх служби при дотриманні вимог (наприклад, не залишати розрядженими понад 24 години або заряджати не на 100% тощо) не 6, а 12 років. Термін служби при оптимальних умовах експлуатації до 12 років.

4) Стаціонарні типу GEL (гелієві). Стаціонарні АКБ типу GEL (гелієві), електроліт у них в особливих сепараторах, вони трохи дорожчі за AGM, але вони дійсно рази в 1,5...2 стійкіші до глибоких розрядів, недозарядів і т.п. ніж AGM. Конструкція гелієвих акумуляторів зазвичай є модифікацією звичайного свинцево-кислотного автомобільного або корабельного акумулятора. До електроліту додається гелієвий компонент скорочення руху всередині акумулятора. У багатьох гелієвих акумуляторах також використовуються одноходові клапани замість відкритих повітряних клапанів, це сприяє тому, що гази, що виділяються, знову розчиняються у воді всередині акумулятора, пригнічується газоутворення. В акумуляторах на «гелієві елементах» виключено пролиття навіть у разі поломки. Гелієві акумулятори глибокого циклу рекомендується використовувати в сонячних системах електропостачання.

Термін служби цих акумуляторів розрахований на експлуатацію у циклічному режимі.

Для розрахунку ємності акумуляторів скористаємося формулою

$$E_a = \frac{W_o}{U_a}, \quad (2.1.)$$

де E_a – ємність акумулятора, А год;

U_a – напруга акумулятора, В.

W_o – добове розрахункове споживання електроенергії, Вт год.

$$E_a = \frac{15211,8}{24} = 633,8$$

Вибираємо свинцевий кислотний акумулятор марки 6СТ190А;

Визначаємо необхідну кількість акумуляторів

$$N = 633,8 / 190 = 3 \text{ шт.}$$

Загальний час заряджання (АБ)

$$T = t_1 + t_2 = \frac{C_{AB} \cdot 0,5}{i \cdot \eta_{AB}} + t_1 \quad (2.2.)$$

де C_{AB} - ємність АБ

$i = 19 \text{ А}$ – зарядний струм,

$\eta_{AB} = 0,8$ - ККД АБ,

$$T = \frac{663,8 \cdot 0,5}{19 \cdot 0,8} + 2 = 6,1 \text{ год}$$

Фотоелектричний (ФЕ) перетворювач – пристрій на основі напівпровідникових фотоелементів, призначений для перетворення світлової енергії на електричну.

1) ФЕ модуль Trina Solar TSM-DEG18MC.20 (II) -495M Bifacial [7]

Кремнієвий монокристалічний модуль під склом у алюмінієвій рамці. На звороті знаходиться клемна коробка. Модуль двосторонній.

У цьому модулі застосовано спеціальне текстуроване скло, в якому втрати світлової енергії мінімізовані. Це дозволило отримати приблизно 15% більше потужності з одиниці площі модуля.



Рис. 2.2. ФЕ модуль Trina Solar TSM-DEG18MC.20 (II) -495M Bifacial

Таблиця 2.1 - Технічні характеристики

Номінальна потужність	495 Вт
Напруга холостого ходу	36 В
Напруга при роботі на анвантаження	24 В
Струм при роботі на навантаження	10,4 А
Габаритні розміри	2187x1102x35 мм
Температурні режими	-40..+50 °С
Вага	30.1 кг.

Існує дві групи інверторів, які різняться за вартістю приблизно 1,5 разу.

Перша група дорожчих інверторів забезпечує синусидальну вихідну напругу. Друга група забезпечує вихідну напругу у вигляді спрощеного сигналу, що замінює синусоїду.

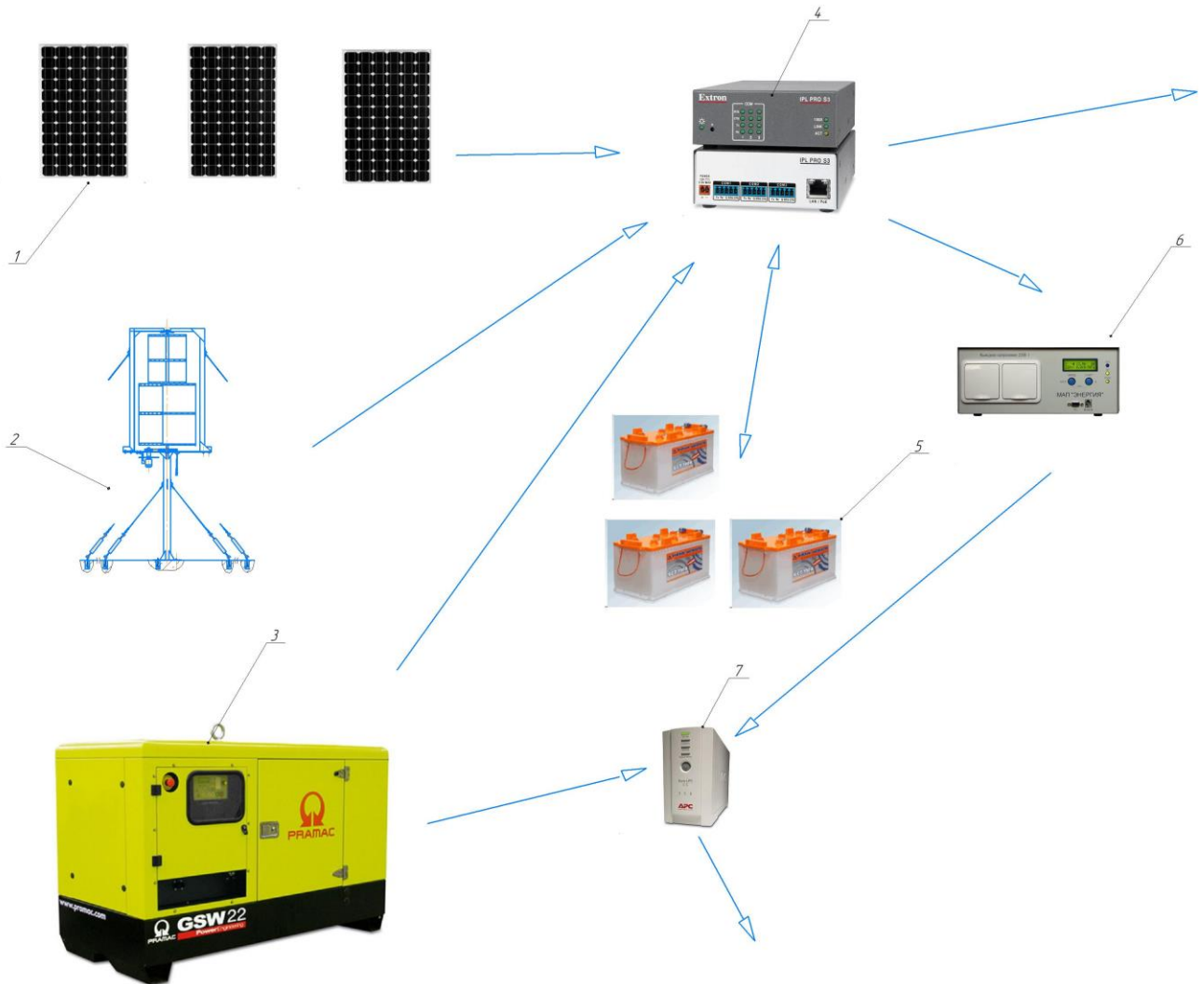


Рис. 2.3. Схема системи забезпечення енергоавтономності:

1 – сонячні панелі, 2 – вітроелектростанція, 3 – дизельний генератор, 4 – контролер заряду-розряду батарей, 5 – акумуляторні батареї, 6 – інвертор, 7 – блок безперебійного живлення

Для більшості споживачів можна використовувати спрощений сигнал. Синусоїда важлива лише для деяких телекомунікаційних приладів.

Вибір інвертора проводиться на основі пікової потужності енергоспоживання стандартної напруги 220В/50Гц. Існує два режими роботи інвертора. Перший режим – це тривалий режим роботи. Цей режим відповідає номінальній потужності інвертора. Другий режим – це режим навантаження. У цьому режимі більшість моделей інверторів протягом кількох десятків хвилин (до 30) можуть віддавати потужність в 1,5 рази більше ніж номінальна. Протягом декількох секунд більшість моделей інверторів можуть віддавати потужність у 2,5-3,5 рази більшу за номінальну. Сильне короткочасне навантаження виникає, наприклад, при включенні холодильника. Як правило, потужність інвертора приблизно дорівнює розрахунковій потужності електростанції.

Аналізуючи сказане вище приймаємо інвертор з напругою у вигляді спрощеного сигналу 15 кВт.

Висновок до розділу 2

Проаналізувавши метеорологічні дані та передбачувані навантаження бази відпочинку бачимо, що взимку, влітку та восени питома потужність вітру більше узгоджується з навантаженням на фермі, ніж щільність сонячного випромінювання, а навесні навпаки. На підставі цього як основне джерело енергії приймається вітер. Оскільки протягом року спостерігаються штилеві дні, то енергію вітру необхідно дублювати. У зв'язку з цим як допоміжне джерело приймається сонячне випромінювання. Проте пряме сонячне випромінювання також буває щодня і відсутнє вночі. Це зумовлює необхідність акумулювання енергії на періоди одночасної відсутності ВДЕ: вітру та Сонця.

Таким чином, для електропостачання ферми приймаються такі джерела енергії:

- вітер;

- сонячне випромінювання;
- акумулятори (резерв).

Так само бувають такі ситуації, що не вистачає енергії від ВДЕ, а акумулятори не встигли повністю зарядитися, то тоді необхідна потужність перевищує існуючу. Для такого випадку підключається дизельна електроустановка, яка є в резерві.

Вітроелектростанцію обираємо на базі циліндра Магнуса, сонячну на основі фотоелектричних модулів Trina Solar TSM-DEG18MC.20 (II) -495M Bifacial

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ НА БАЗІ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Гібридна фото-вітрова енергетична установка, структурна схема якої представлена на рис. 2.3, призначена для електропостачання автономних споживачів, які не мають централізованого енергопостачання.

Надходження сонячної радіації та потенціал вітрової енергії сильно залежать від місцевих кліматичних характеристик та мають яскраво виражений сезонний характер. Використання в одній установці двох енергоджерел (сонце та вітер) суттєво підвищує забезпеченість електропостачання автономного споживача. Основними показниками, за якими оцінюється ефективність сонячно-вітрової електростанції, є встановлена потужність і можливе максимальне вироблення електроенергії за рік.

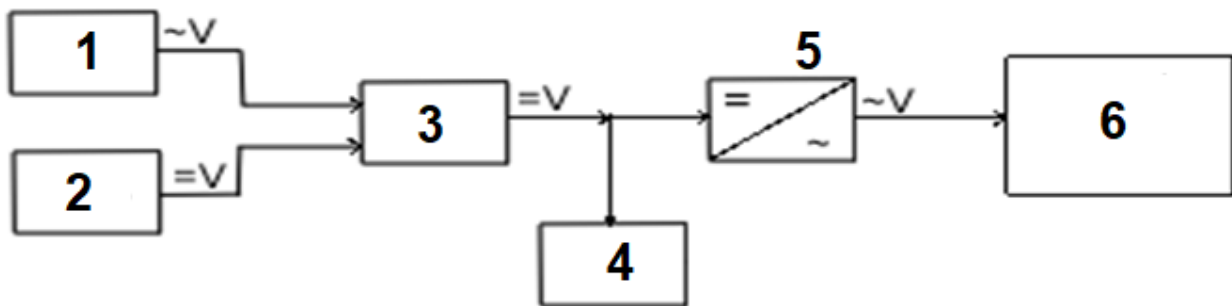


Рис. 3.1. Структурна схема гібридної електростанції: 1 – вітроелектричний агрегат, 2 – фотовольтаїчна (сонячна) електростанція, 3 – блок керування, 4 – акумуляторна батарея, 5 – інвертор, 6 – споживач.

Розрахункова потужність вітроустановки визначається з виразу:

$$N_p = \frac{\rho}{2} \cdot F \cdot v_p^3 \cdot c_p \cdot \eta_M \cdot \eta_r \cdot 10^{-3} \quad (3.1)$$

де ρ – густина повітря ($\rho=1,226$ кг/м³)

F – площа вітроколеса, ($F=4$ м²);

v_p – розрахункова швидкість вітру, м/с;

c_p - коефіцієнт використання швидкості вітру, ($c_p=0,4 \div 0,45$);

η_M – ККД мультиплікатора, ($\eta_M=0,85 \div 0,9$);

η_r – ККД генератора, ($\eta_r=0,7 \div 0,95$);

Беремо менші значення c_p , η_M и η_r т.к $D < 8$ м.

Причому необхідно враховувати специфіку роботи вітроустановки, яка полягає в тому, що при:

$$0 < v \leq v_H \rightarrow N_{BA} = 0;$$

$$v_p \leq v \leq v_{\max} \rightarrow N_{BA} = N_p;$$

$$v > v_{\max} \rightarrow N_{BA} \approx 0.$$

За виразом (3.1) проводиться обчислення N_{BA} , заповнюється таблиця 3.1 та будується графік розрахункової потужності характеристики виду $N_{B\text{ЭА}}=f(v)$ (рис. 3.1)

$$v=1 \text{ м/с} \Rightarrow N_{B\text{ЭА}}=0$$

$$v=2 \text{ м/с} \Rightarrow N_{B\text{ЭА}}=0$$

$$v=3 \text{ м/с.}$$

$$N_{BA} = \frac{1,226}{2} \cdot 7 \cdot 0,4 \cdot 0,85 \cdot 0,7 \cdot 3^3 \cdot 10^{-3} = 0,03 \text{ кВт.}$$

$$v=4 \text{ м/с.}$$

$$N_{BA} = \frac{1,226}{2} \cdot 7 \cdot 0,4 \cdot 0,85 \cdot 0,7 \cdot 4^3 \cdot 10^{-3} = 0,065 \text{ кВт.}$$

$$v=5 \text{ м/с}$$

$$N_{BA} = \frac{1,226}{2} \cdot 7 \cdot 0,4 \cdot 0,85 \cdot 0,7 \cdot 5^3 \cdot 10^{-3} = 0,125 \text{ кВт.}$$

$$\vartheta = 6 \text{ м/с}$$

$$N_{BA} = \frac{1,226}{2} \cdot 7 \cdot 0,4 \cdot 0,85 \cdot 0,7 \cdot 6^3 \cdot 10^{-3} = 0,216 \text{ кВт.}$$

$$\vartheta = 7 \text{ м/с}$$

$$N_{BA} = \frac{1,226}{2} \cdot 7 \cdot 0,4 \cdot 0,85 \cdot 0,7 \cdot 7^3 \cdot 10^{-3} = 0,343 \text{ кВт.}$$

$$\vartheta = 8 \text{ м/с}$$

$$N_{BA} = \frac{1,226}{2} \cdot 7 \cdot 0,4 \cdot 0,85 \cdot 0,7 \cdot 8^3 \cdot 10^{-3} = 0,512 \text{ кВт.}$$

$$\vartheta = 9 \text{ м/с}$$

$$N_{BA} = \frac{1,226}{2} \cdot 7 \cdot 0,4 \cdot 0,85 \cdot 0,7 \cdot 9^3 \cdot 10^{-3} = 0,73 \text{ кВт.}$$

$$\vartheta = 10 \text{ м/с}$$

$$N_{BA} = \frac{1,226}{2} \cdot 7 \cdot 0,4 \cdot 0,85 \cdot 0,7 \cdot 10^3 \cdot 10^{-3} = 1,01 \text{ кВт.}$$

Таблиця 3.1 – Значення N_{BA} в залежності від швидкості вітру [7]

ϑ , м/с	1	2	3	4	5	6	7	8
N_{BA} , кВт	0	0	0,03	0,065	0,125	0,216	0,343	0,512
ϑ , м/с	9	10	14	16	20	23	26	30
N_{BA} , кВт	0,73	1,01	1,01	1,01	1,01	0	0	0

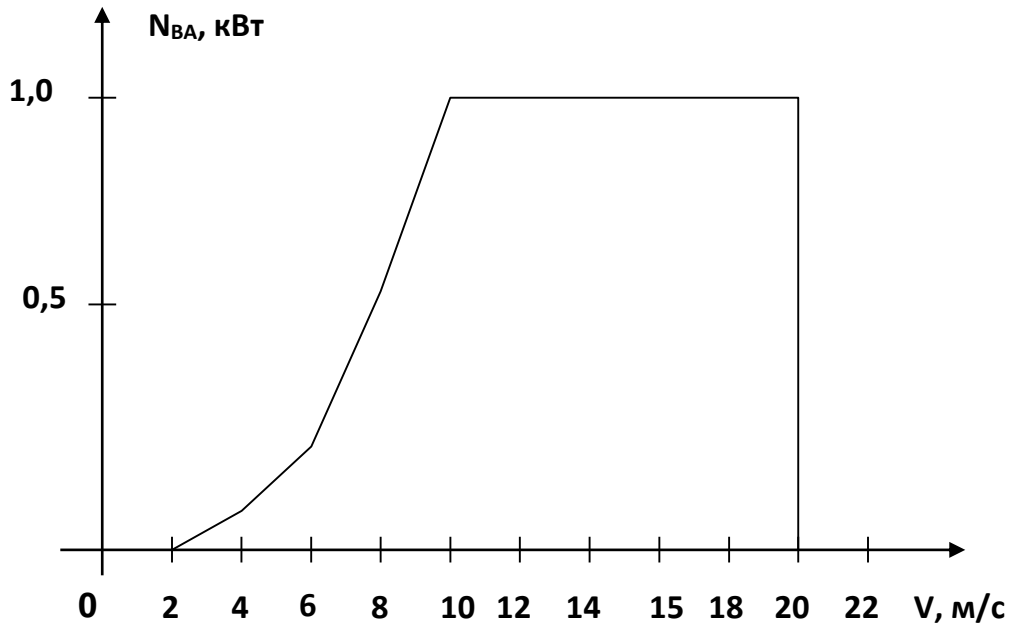


Рис. 3.1. Потужнісна характеристика вітроустановки

Розрахункова (пікова) потужність фотоелектростанції визначається з виразу

$$N_{\text{ФЕ}} = \frac{n \cdot P_{\text{пик}}}{1\,000}, \quad (3.2)$$

де n – число фотомодулів в станції, ($n = 3$);

$P_{\text{пик}}$ – пікова потужність одного фотомодуля, ($P_{\text{пик}} = 600$ Вт).

$$N_{\text{ФЭБ}} = \frac{600 \cdot 3}{1\,000} = 1,8 \text{ кВт}$$

Середньорічне вироблення електроенергії сонячно вітровою електростанцією визначається як сума виробленої електроенергії за місяцями від двох незалежних енергоджерел вітроустановки та фотоелектростанції Тому завдання зводиться до визначення середньомісячного вироблення електроенергії кожним джерелом з подальшим підсумовуванням результату для отримання можливого значення річного вироблення електроенергії автономною електростанцією.

Для розрахунку річного виробітку електроенергії потрібно мати потужнісну характеристику вітроустановки і диференціальну повторюваність швидкостей вітру виду.

Середньоперіодні швидкості вітру мають бути перераховані на задану висоту вітроустановки (H) за формулою:

$$v_H = v_n \left(\frac{H}{h} \right)^m, \quad (3.3)$$

де $\bar{m} = 0,6(\bar{v})^{-0,77}$,

v - середня швидкість вітру на визначеній висоті, ($h=11$ м);

H – висота осі вітроколеса, (H=12 м).

Таблиця 3.2 – Кліматичні характеристики для розташування гібридної установки [8]

Швидкість вітру	місяць												В рік
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
$V_{ср,м/с}$	5,2	5,4	5,7	5,6	5,5	4,9	4,2	4,1	4,3	4,5	5,0	5,0	5,0

Значення $t_i(v_i)$ приймається з умови розподілу Вейбулла в залежності від значення параметра (γ).

Січень: $\bar{m} = 0,6(5,2)^{-0,77} = 0,17$ $v_H = 5,2 \cdot \left(\frac{12}{11} \right)^{0,17} = 5,28$ м/с

Лютий: $\bar{m} = 0,6(5,4)^{-0,77} = 0,16$ $v_H = 5,4 \cdot (1,09)^{0,16} = 5,48$ м/с

Березень: $\bar{m} = 0,6(5,7)^{-0,77} = 0,16$ $v_H = 5,7 \cdot (1,09)^{0,16} = 5,78$ м/с

Квітень: $\bar{m} = 0,6(5,6)^{-0,77} = 0,16$ $v_H = 5,6 \cdot (1,09)^{0,16} = 5,68$ м/с

Травень:	$\bar{m} = 0,6(5,5)^{-0,77}$ $= 0,16$	$\vartheta_H = 5,5 \cdot (1,09)^{0,16}$ $= 5,58 \text{ м/с}$
Червень:	$\bar{m} = 0,6(4,9)^{-0,77}$ $= 0,18$	$\vartheta_H = 4,9 \cdot (1,09)^{0,18}$ $= 4,98 \text{ м/с}$
Липень:	$\bar{m} = 0,6(4,2)^{-0,77} = 0,2$	$\vartheta_H = 4,2 \cdot (1,09)^{0,2}$ $= 4,27 \text{ м/с}$
Серпень:	$\bar{m} = 0,6(4,1)^{-0,77} = 0,2$	$\vartheta_H = 4,1 \cdot (1,09)^{0,2}$ $= 4,17 \text{ м/с}$
Вересень:	$\bar{m} = 0,6(4,3)^{-0,77} = 0,2$	$\vartheta_H = 4,3 \cdot (1,09)^{0,2}$ $= 4,37 \text{ м/с}$
Жовтень:	$\bar{m} = 0,6(4,5)^{-0,77}$ $= 0,19$	$\vartheta_H = 4,5 \cdot (1,09)^{0,19}$ $= 4,57 \text{ м/с}$
Листопад:	$\bar{m} = 0,6(5)^{-0,77} = 0,17$	$\vartheta_H = 4,5 \cdot (1,09)^{0,17}$ $= 5,08 \text{ м/с}$
Грудень:	$\bar{m} = 0,6(5)^{-0,77} = 0,17$	$\vartheta_H = 5 \cdot (1,09)^{0,17} = 5,08 \text{ м/с}$

Власне вироблення протягом кожного місяця і року можна знайти за формулами

$$W_{BA}^{mic} = \sum_{i=1}^k N_{BA}(V_i) \cdot t_i(V_i) \cdot T_{mic} \quad (3.4)$$

де T_{mic} – число годин в розрахунковому періоді, год.

1:

$$t_i(v_i)^1 = 0,121+0,108+0,092+0,076+0,06+0,047+0,036+0,026+0,019+0,014+0,01+0,007+0,004+0,003+0,002+0,001+0,001=0,627.$$

$$T_{mic}^1 = 744 \text{ ч.}$$

$$W_{BA}^1 = 0,627 \cdot 0,17 \cdot 744 = 79,3 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$$

2:

$$t_i(v_i)^2 = 0,117+0,106+0,092+0,077+0,063++0,05+0,038+0,029+0,022+0,016+$$

$$0,011+0,008+0,006+0,004+0,003+0,002+0,001=0,617$$

$$T_{mic}^2 = 627 \text{ ч.}$$

$$W_{BA}^2=0,617 \cdot 0,18 \cdot 627=69,6 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$$

$$3: \quad t_i(v_i)^3=0,661.$$

$$T_{mic}^3 = 744 \text{ ч.}$$

$$W_{BA}^3=0,661 \cdot 0,2 \cdot 744=98,4 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$$

$$4: \quad t_i(v_i)^4=0,658.$$

$$T_{mic}^4 = 720 \text{ ч.}$$

$$W_{BA}^4=0,658 \cdot 0,19 \cdot 720=90,1 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

$$5: \quad t_i(v_i)^5=0,617.$$

$$T_{mic}^4 = 744 \text{ ч.}$$

$$W_{BA}^5=0,617 \cdot 0,19 \cdot 744=87,2 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

$$6: \quad t_i(v_i)^6= 0,603.$$

$$T_{mic}^6 = 720 \text{ ч.}$$

$$W_{BA}^6=0,603 \cdot 0,13 \cdot 720=56,4 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

$$7: \quad t_i(v_i)^7=0,524.$$

$$T_{mic}^7 = 744 \text{ ч}$$

$$W_{BA}^7=0,524 \cdot 0,08 \cdot 744=31,2 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

$$8: \quad t_i(v_i)^8=0,524.$$

$$T_{mic}^8 = 744 \text{ ч.}$$

$$W_{BA}^8=0,524 \cdot 0,07 \cdot 744=27,3 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

$$9: \quad t_i(v_i)^9=0,524$$

$$T_{mic}^9 = 720 \text{ ч.}$$

$$W_{BA}^9=0,524 \cdot 0,08 \cdot 720=30,2 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

$$10: \quad t_i(v_i)^{10}=0,424.$$

$$T_{mic}^{10} = 744 \text{ ч.}$$

$$W_{BA}^{10}=0,424 \cdot 0,1 \cdot 744=31,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

$$11: \quad t_i(v_i)^{11}=0,603.$$

$$T_{mic}^{11} = 720 \text{ ч.}$$

$$W_{BA}^{11}=0,603 \cdot 0,13 \cdot 720=56,4 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

$$12: \quad t_i(v_i)^{12}=0,603.$$

$$T_{mic}^{12} = 744 \text{ ч.}$$

$$W_{BA}^{12}=0,603 \cdot 0,13 \cdot 744=58,3 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

$$W_{BA}^p = \sum_{i=1}^k W_{BA}^{mc}, \quad (3.5)$$

$$W_{BA}^p = 716 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Визначимо число годин простою вітроустановки (t_{np}), число годин роботи вітроустановки А ($t_{роб}$) и число годин використання установленної потужності (t_{ycm})

$$1: \quad \sum_{v=1}^{v \leq v_H} t_i(v_i) = 0,351 \quad \sum_{v=25}^{v > v_{max}} t_i(v_i) = 0$$

$$t_{np}^1=(0,351+0) \cdot 744=261,144 \text{ ч.}$$

$$2: \quad \sum_{v=1}^{v \leq v_H} t_i(v_i) = 0,332 \quad \sum_{v=25}^{v > v_{max}} t_i(v_i) =$$

$$0,001$$

$$t_{np}^2=(0,332+0,001) \cdot 672=223,776 \text{ ч.}$$

$$\begin{aligned}
3: \quad & \sum_{v=1}^{v \leq v_H} t_i(v_i) = 0,316; & \sum_{v=25}^{v > v_{max}} t_i(v_i) = 0,002 \\
& t_{np}^3 = (0,316+0,002) \cdot 744 = 246,592 \text{ ч.} \\
4: \quad & \sum_{v=1}^{v \leq v_H} t_i(v_i) = 0,316 & \sum_{v=25}^{v > v_{max}} t_i(v_i) = 0,002 \\
& t_{np}^4 = (0,316+0,002) \cdot 720 = 228,96 \text{ ч.} \\
5: \quad & \sum_{v=1}^{v \leq v_H} t_i(v_i) = 0,332 ; & \sum_{v=25}^{v > v_{max}} t_i(v_i) = 0,001 \\
& t_{np}^5 = (0,332+0,001) \cdot 744 = 247,752 \text{ ч.} \\
6: \quad & \sum_{v=1}^{v \leq v_H} t_i(v_i) = 0,372; & \sum_{v=25}^{v > v_{max}} t_i(v_i) = 0 \\
& t_{np}^6 = (0,372+0) \cdot 720 = 267,84 \text{ ч.} \\
7: \quad & \sum_{v=1}^{v \leq v_H} t_i(v_i) = 0,443; & \sum_{v=25}^{v > v_{max}} t_i(v_i) = 0 \\
& t_{np}^7 = (0,443+0) \cdot 744 = 329,592 \text{ ч.} \\
8: \quad & \sum_{v=1}^{v \leq v_H} t_i(v_i) = 0,443; & \sum_{v=25}^{v > v_{max}} t_i(v_i) = 0 \\
& t_{np}^8 = (0,443+0) \cdot 744 = 329,592 \text{ ч.} \\
9: \quad & \sum_{v=1}^{v \leq v_H} t_i(v_i) = 0,443; & \sum_{v=25}^{v > v_{max}} t_i(v_i) = 0 \\
& t_{np}^9 = (0,443+0) \cdot 744 = 329,592 \text{ ч.} \\
10: \quad & \sum_{v=1}^{v \leq v_H} t_i(v_i) = 0,417; & \sum_{v=25}^{v > v_{max}} t_i(v_i) = 0 \\
& t_{np}^{10} = (0,417+0) \cdot 744 = 310,248 \text{ ч.} \\
11: \quad & \sum_{v=1}^{v \leq v_H} t_i(v_i) = 0,372; & \sum_{v=25}^{v > v_{max}} t_i(v_i) = 0,001 \\
& t_{np}^{11} = (0,372+0,001) \cdot 720 = 268,56 \text{ ч.} \\
12: \quad & \sum_{v=1}^{v \leq v_H} t_i(v_i) = 0,372; & \sum_{v=25}^{v > v_{max}} t_i(v_i) = 0,001 \\
& t_{np}^{12} = (0,372+0,001) \cdot 744 = 277,512 \text{ ч.}
\end{aligned}$$

$$t_{\text{раб}} = T_{\text{год}} - t_{\text{пр}} \quad (3.6)$$

$$t_{\text{роб}} = 8\,760 - 3\,300,5 = 5\,459,5 \text{ ч.}$$

Кількість електричної енергії, що виробляється сонячною фотоелектричною станцією.

$$E_{\text{ФЕ}} = N_{\text{ФЕ}} \frac{\eta}{\eta_{\text{ет}}} \cdot \frac{E_{\text{с}}}{P_{\text{с.пик}}} \quad (3.7)$$

де $N_{\Phi E}$ – пікова потужність електростанції, ($N_{\Phi E} = 1,8$ кВт);

$P_{\text{снiк}}$ – пікова потужність сонячної радіації за стандартних умов ($P_{\text{снiк}} = 1000$ Вт/м²)

η – еквівалентна середня ефективність перетворення сонячної енергії;

$\eta_{\text{ет}}$ – ККД еталонного фотоелектричного модуля;

E_c – середньоперіодна сумарна енергетична освітленість у площині фотоелектричного модуля, год.

Таблиця 3.3. – Кліматичні характеристики для розташування гібридної установки [8]

Характеристика	Місяць												За рік
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
$E_{c, \text{год}}$	56,1	77,9	122,5	161,6	187,8	197,7	184,5	189,9	164,0	124,7	80,2	46,9	1593,6

Якщо позначити:

$$T_{\text{сон}} = \frac{E_c}{P_{\text{снiк}}} \quad (3.8)$$

число пікових сонце годин

$$K_p = \frac{\eta}{\eta_{\text{ет}}} = 0,5/0,7$$

то

$$E_{\Phi E} = K_p \cdot T_{\text{сон}} \cdot P_{\text{пiк}} \quad (3.9)$$

Великі значення K_p відповідають роботі в умовах гірської місцевості та великих значеннях енергетичного освітлення.

Таблиця 3.4 – Вироблення електроенергії гібридною сонячною вітровою установкою

Джерело енергії	Місяць												Рік
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Вітроустановка, кВт·год	79,3	69,6	98,4	90,1	87,2	56,4	31,2	27,3	30,2	31,5	56,4	58,3	716,0
Сонячна електростанція, кВт·год	7,0	9,8	15,4	20,4	23,6	24,9	23,3	23,9	20,6	15,7	10,1	5,9	200,6
Вся установка кВт·год	86,3	79,4	113,8	110,5	110,8	81,3	54,5	51,2	50,8	47,2	66,5	64,2	916,6

Висновок до розділу 3

Розрахунки показують, що потужності станції достатньо для забезпечення енергетичної автономності ферми.

ВИСНОВКИ

Проаналізувавши метеорологічні дані та передбачувані навантаження бази відпочинку бачимо, що взимку, влітку та восени питома потужність вітру більше узгоджується з навантаженням на фермі, ніж щільність сонячного випромінювання, а навесні навпаки. На підставі цього як основне джерело енергії приймається вітер. Оскільки протягом року спостерігаються штилеві дні, то енергію вітру необхідно дублювати. У зв'язку з цим як допоміжне джерело приймається сонячне випромінювання. Проте пряме сонячне випромінювання також буває щодня і відсутнє вночі. Це зумовлює необхідність акумулювання енергії на періоди одночасної відсутності ВДЕ: вітру та Сонця.

Таким чином, для електропостачання ферми приймаються такі джерела енергії:

- вітер;
- сонячне випромінювання;
- акумулятори (резерв).

Так само бувають такі ситуації, що не вистачає енергії від ВДЕ, а акумулятори не встигли повністю зарядитися, то тоді необхідна потужність перевищує існуючу. Для такого випадку підключається дизельна електроустановка, яка є в резерві.

Вітроелектростанцію обираємо на базі циліндра Магнуса, сонячну на основі фотоелектричних модулів Trina Solar TSM-DEG18MC.20 (II) -495M Bifacial

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Основи електротехніки та електропостачання. Денисюк С.П., Радиш І.П., Кабацій В.М., Дерев'янку Д.Г.: Навч. пос. Київ : Кондор-Видавництво, 2012. 216 с.
2. Електропостачання промислових підприємств : Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей / В.І. Мілих, Т.П. Павленко. – К.: «Каравела», 2018. 274 с.
3. Шестеренко В.Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. Підручник. – Вінниця: Нова книга, 2004.- 656 с.
4. Скидан О.В., Голуб Г.А., Кухарець С.М. Ярош О.Д., Чуба В.В., Медведський О.В., Цивенкова Н.М., Соколовський О.Ф., Кухарець В.В. Відновлювана енергетика в аграрному виробництві. За ред. О.В. Скидана і Г.А. Голуба. Київ, НУБіП України. 2018. 338 с.
5. Кудря С.О. Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії / С.О. Кудря, В.М. Головка. – Київ, 2009. – 201 с.
6. <https://theroyalfamily.ru/uk/poly/vertikalnyi-vetrogenerator-svoimi-rukami-kak-sobrat-vetryak-s-vertikalnoi-osyu-vrashcheniya-osobenno/>
7. <https://soncedim.com.ua/ru/product/soniachna-panel-trina-solar-tsm-deg18mc20ii-495m-bifical>
8. Кудря С. О. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України / С. О. Кудря, В.Ф. Резцов, Т.В. Суржик, Л.В. Яценко, Г.П. Душина, П.Ф. Васько, Ю.П. Морозов, Г.М. Забарний та інші // Інститут відновлюваної енергетики НАН України. – 2012. – 60 с.