

DOI <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2025-15-2-22>

УДК 621.384.4

Р. Є. Кригуль¹, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0002-3061-9176

С. П. Шаповал², д-р. техн. наук

ORCID: 0000-0003-4985-0930

С. В. Сиротюк¹, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0001-9966-6299

М. Є. Касинець², канд. техн. наук

ORCID: 0000-0002-7686-7482

Т. О. Станицький¹, старший викладач

ORCID: 0009-0006-3897-4267

І. О. Дудко¹, асистент

ORCID: 0009-0003-0389-9226

¹ Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені

С. З. Гжицького

² Національний університет «Львівська політехніка»

e-mail: krrroma@ukr.net

СИСТЕМА ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ ТЕПЛИЦІ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Анотація. Сьогодні завдання розвитку альтернативного одержання енергії надзвичайно актуальне. Традиційні ресурси досить дорогі та впливають на розвиток держави. Це змушує шукати нові способи отримання енергії. Важливим чинником максимізації продуктивності та покращення механізації праці, якості й асортименту продукції є автоматизація технологічних процесів. У роботі представлено систему покращення енергоефективності споруди завдяки застосуванню поновлюваних джерел енергії. Представлені потрібні розрахунки. Для знаходження технічних параметрів цієї системи енергопостачання споруди закритого ґрунту з використання відновлюваних джерел енергії потрібно знати період використання теплиці, вимоги щодо вирощування розсади, площу огорожувальної конструкції. Це дає змогу знайти тепловий баланс, дібрати тепловий вентилятор та акумуляторну батарею, відшукати технічні параметри фотоелектричної панелі.

Ключові слова: споруда закритого ґрунту, сонячна фотопанель, сонце, акумуляторний елемент.

Постановка проблеми. У країнах із теплим літом і холодною зимою вирощувати овочеві культури, як-от червоний перець та помідори, не завжди доречно. Наприклад, овочі, вирощені в теплицях у теплих країнах, все одно будуть дешевшими. За останні роки імпорту таких культур збільшився вдвічі.

У нашій Україні приблизно 15 % помідорів та перцю вирощують у спорудах закритого ґрунту. Через значні затрати на опалення вартість продукту виходить неконкурентною. У сучасних теплицях близько 40 % собівартості припадає на обігрівання, інколи може доходити і до 50 %. Тому перець та помідори з теплих країн чи країн з дешевими енергоносіями навіть з урахуванням транспортування коштують менше. Максимальне надходження імпортованих помідорів переважно припадає на квітень та травень, коли потреба у свіжих овочах зростає, однак внутрішній ринок пропозиції ще не достатній. Та мінімальне постачання таких овочів є в травні – вересні, коли максимальна внутрішня пропозиція.

Аналіз останніх досліджень. Нині в країні є велика кількість споруд ґрунту, у яких вирощують різноманітні сільськогосподарські культури. Однак у таких спорудах застосовують морально та фізично застарілі системи управління процесами енергопостачання, а це мінімізує ефективність споруд. Сьогодні завдання піднесення альтернативних методик отримання енергії є актуальним. Звичні джерела енергії швидко вичерпуються та через незначний період часу можуть взагалі зникнути. Енергетичні ресурси досить дорогі та значно впливають на еко-

номіку держави. Тож цей фактор змушує людство шукати нові способи та методи отримання енергії.

Автоматизована система управління технологічними процесами є надзвичайно вирішальним і важливим фактором максимізації продуктивності та покращення умов праці, а це в подальшому збільшує якість і розширює асортимент продукції.

Автоматизоване регулювання будь-якого процесу дає змогу змінювати технологічні параметри [1; 2; 5; 6].

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Завдання статті – підвищити енергоефективність споруд закритого ґрунту через застосування відновлюваних джерел енергії.

Основна частина. Об'єктом дослідження є споруди закритого ґрунту. Вони обладнані полицями, як зображено на рис. 1. Полиці дають змогу збільшити площу для висівання на розсади.

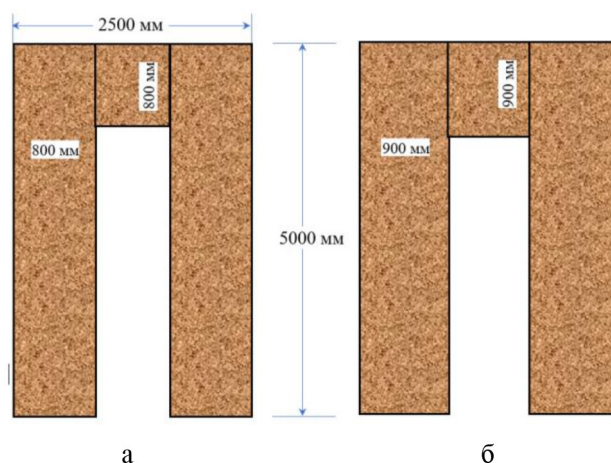


Рис. 1. Схема площі під розсаду (а) на полицях та (б) на ґрунті

Якщо розрахувати *корисну площу* під вирощування розсади, то вона буде становити приблизно 19 м².

Посів насіння на розсаду відбувається переважно в кінці лютого. На основі архівних даних Українського гідрометцентру проаналізовано значення температур зовнішнього середовища в березні й квітні у 2019–2021 роках [8]. З графіка рис. 2 та рис. 3 можна побачити, що середня температура вдень була близько +10 °С, а вночі заморозки до –4 °С.

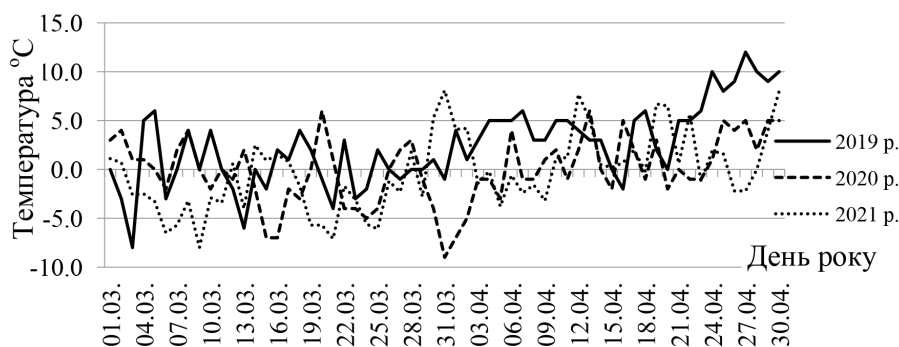


Рис. 2. Графік мінімальної температури впродовж доби

Вищенаведені дані є вхідними параметрами для обчислення теплового балансу споруди.

Система енергопостачання теплиці

Призначення системи – підігрів повітря в середині теплиці в холодний період доби, з використанням геотермального джерела та енергії променів сонця для заряджання акумуляторної батареї у світлий період.

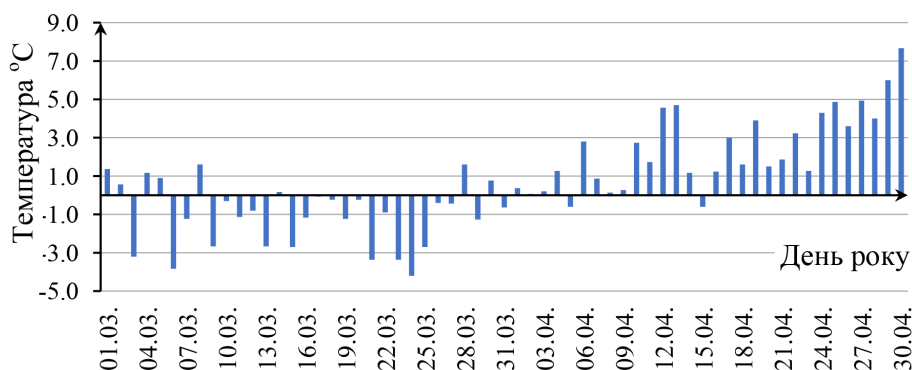


Рис. 3. Графік середньої мінімальної температури впродовж доби

Основні характеристики системи: автономність у роботі, стабільність температури в споруді в зимово-весняний період приблизно $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Система енергопостачання теплиці схематично зображена на рис. 4. Вона налічує: фотоелектричний модуль, контролер заряду АКБ, саму акумуляторну батарею, регулятор температури, витяжний вентилятор, колодязь завглибшки 8–9 м, трубопровід з утепленням.

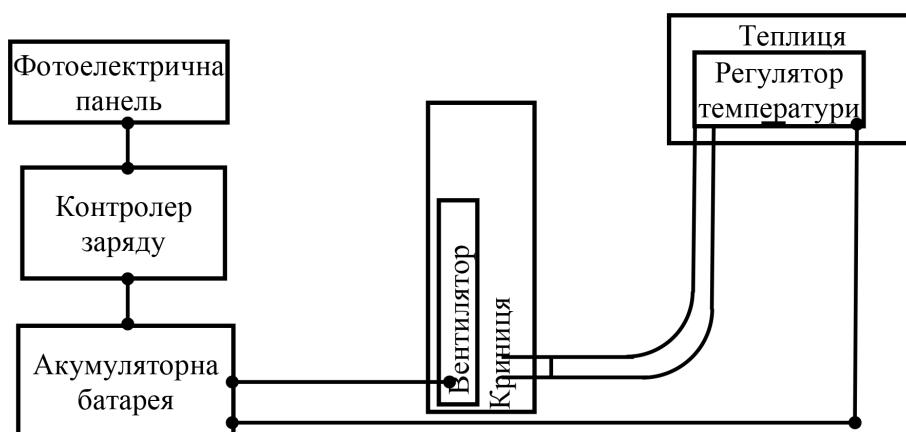


Рис. 4. Схема теплопостачання теплиці

Ми дослідили, що на глибині 6–7 м температура над водою становить $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, тоді як температура зовнішнього середовища – $5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Змонтувавши утеплений трубопровід колодязя на 5 метрів до споруди та скомпонувавши її системою постійної температури, можна підтримувати плюсову температуру без окремих джерел енергії.

Принцип роботи

Найперше налаштовують регулятор температури на змикання контактів тоді коли температура $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Тоді вмикається вентилятор, який подає тепле повітря в споруду.

Коли внутрішнє повітря досягне в теплиці до $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$, регулятор від'єднує вентилятор. Фотоелектрична панель з контролером за день заряджає акумуляторну батарею, яка дає безперервну роботу системи на період близько 15–17 годин.

Об'єктом випробувань вибрано споруду закритого ґрунту з обігрівом геотермальними джерелами енергії. Для визначення теплових втрат та надходжень у різних ділянках теплиці. Схема зображена на рис. 5.

Дослідження показали, що в криниці переважно стала температура повітряного прошарку, з якого тепло надходить утепленим трубопроводом за допомогою вентилятора всередину споруди. Для того щоб система енергопостачання працювала ефективно, ми пропонуємо рецир-

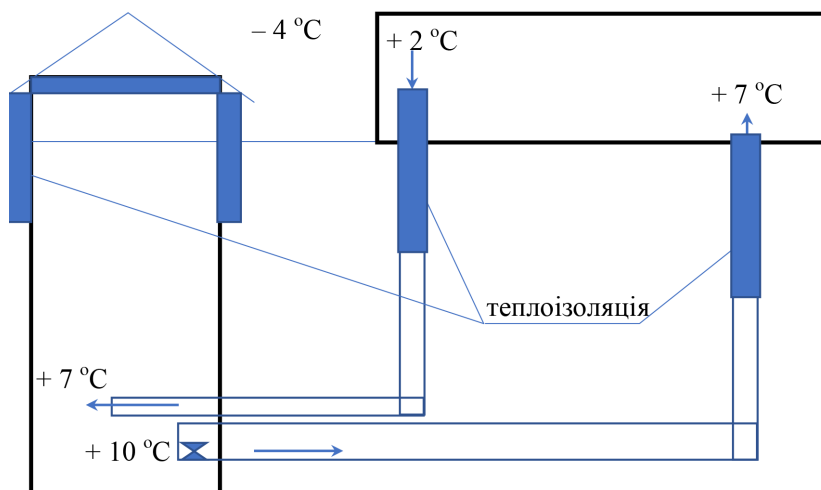


Рис. 5. Схема теплових втрат та надходжень

куляцію повітря за допомогою витяжного вентилятора й ще одного утепленого трубопроводу. Тобто в криницю зі споруди буде надходити підігріте повітря. Для споруд захищеного ґрунту нормові витрати теплової енергії визначаються умовами зовнішнього навколишнього середовища: температурою та відносною вологістю, кількістю сонячної енергії, швидкістю вітру та кількістю опадів. Вищенаведені фактори залежні одне від одного.

Знаходження конструктивних параметрів теплиці

Досліджено: довжина споруди L приблизно 5 м., ширина B – 2,5 м, її висота H до дуги – 1,1 м, радіус дуги приблизно становить 1,25 м.

Отже:

Площа S_1 частини теплиці буде рівною:

$$S_1 = (L \cdot H) \cdot 2 + (B \cdot H) \cdot 2; \quad (1)$$

$$S_1 = (5 \cdot 1,1) \cdot 2 + (2,5 \cdot 1,1) \cdot 2 = 16,4 \text{ м}^2.$$

Площа S_2 верхньої частини:

$$S_2 = L \cdot \pi \cdot R; \quad (2)$$

$$S_2 = 5 \cdot 3,14 \cdot 1,2 = 19,5 \text{ м}^2.$$

Далі знайдемо площу сторін S_3 теплиці, які описують двома арками:

$$S_3 = \pi \cdot R^2; \quad (3)$$

$$S_3 = 3,14 \cdot 1,25^2 = 5 \text{ м}^2.$$

Так, загальна площа конструкції становитиме:

$$S = S_1 + S_2 + S_3; \quad (4)$$

$$S = 16,5 + 19,5 + 5 \approx 41 \text{ м}^2.$$

Цей параметр є головним для знаходження параметрів для системи енергопостачання споруди, *втрати теплоти* через огороження теплиці.

Визначення теплового балансу теплиці

Під час вирощування розсади, яка має висоту менш ніж 0,35 м перед висаджуванням у відкритий ґрунт, немає потреби обігрівати повний об'єм висотою 3,5 м. Достатньо обігрівати тільки робочий нижній об'єм від 0 до 1,5 м, відділивши його від загального малогабаритними покриттям. Так, обігрів дає змогу мінімізувати витрату тепла та питому теплову потужність нагрівального обладнання.

Тепловий баланс споруди дасть змогу визначити величину втрат тепла і необхідну потужність теплоти для одержання заданих умов, у цьому разі найголовнішим параметром є тепло. Як було згадано, допустима температура в споруді t_g для проростання розсади має бути не менш ніж $+1-2$ °С. Проаналізувавши мінімальні значення температур повітря в березні та квітні впродовж 2019–2021 років, робимо висновок про те, що мінімальною температурою була t_3 , -4 °С.

Обчислимо *тепловтрати* через огородження.

$$Q_{oz} = k_m \cdot S(t_g - t_3) \text{ кВт}, \quad (5)$$

де k_m – коефіцієнт теплопередачі, для стільникового полікарбонату товщиною 10 мм, становить $2,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$; S – площа поверхні огородження, м^2 .

$$Q_{oz} = 2,3 \cdot 41 (1 - (-4)) = 470 \text{ Вт}$$

Розраховуємо потрібний об'єм V_p теплого повітря, який буде надходити від вентилятора через трубопровід, утеплений з криниці у споруду, щоб компенсувати $0,47 \text{ кВт} \cdot \text{год}$.

Досліджено, що за температури повітря зовнішнього навколишнього середовища на ґрунті -4 °С в криниці на глибині 7 м температура повітря буде $+10$ °С.

Питома теплоємність повітря C $1 \text{ Дж}/\text{м}^3 \cdot \text{град}$ 1 ккал становить $0,43 \text{ Дж}$, а $1 \text{ Вт} = 1,16 \text{ ккал}$. Тобто потрібний об'єм повітря V_p для нагрівання теплиці розраховується з виразу.

$$471 \text{ Вт} = 546 \text{ ккал} = 229 \text{ Дж або } 229 \text{ м}^3 \text{ повітря.}$$

Це дає змогу для знаходження параметрів вентилятора.

Вибір вентилятора. Знайшовши об'єм повітря, добираємо припливну установку потрібної потужності. При цьому необхідно враховувати падіння продуктивності вентилятора в повітропроводі.

На сьогодні в ринку промислової та комерційної вентиляції представлено достатній добір обладнання. Здійснивши аналіз за ціною, технічними характеристиками, вибрано малогабаритний вентилятор з постійним струмом $0,7 \text{ А}$ розмірами $120 \times 120 \text{ мм}$ потужністю 5 Вт , швидкістю обертання $2,7 \text{ тис об/хв}$. Напруга живлення 12 В за $230 \text{ м}^3/\text{год}$. Графік продуктивності див. на рис. 6 [9].

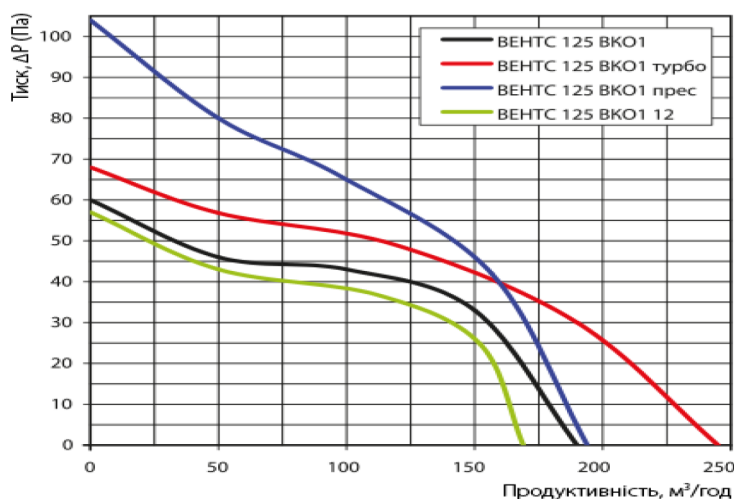


Рис. 6. Залежність продуктивності вентилятора

Із широкого ринку комерційної та промислової вентиляції обрано вентилятор Vents, 125 ВКО1 turbo.

*Знаходження ємності акумуляторної батареї*

Розділивши потужність навантаження, що виражена у Вт, на напругу акумулятора U 12 В, отримаємо струм I , в А, споживання приладу, за годину.

$$I = P/U \text{ А.} \quad (6)$$

Добуток струму на необхідний період безперервної роботи акумулятора дасть його ємність E .

$$E = I \cdot t \text{ А} \cdot \text{год.} \quad (7)$$

Наприклад: вентилятор споживаючу потужністю 5 Вт, період його роботи приблизно з 00:00 год, до 09:00 год, становитиме 9 годин. Тобто:

$$I = 5/12 = 0,4 \text{ А} \cdot \text{год.}$$

Це струм споживання вентилятором від АКБ впродовж 1 години. Помноживши струм на період роботи від акумулятора.

$$E = 0,42 \cdot 9 = 3,7 \text{ А} \cdot \text{год.}$$

Для того щоб подовжити термін служби акумулятора, наприклад, до десяти років, нам необхідно, щоб ступінь регулярного розряду був меншим. Глибина розряду не має бути більш ніж 30 % від номінальної. Оскільки акумулятори працюватимуть у холодну пору року, то глибина розряду знижується до 80 % ємності. У цьому разі:

$$E_{\text{АКБ}} = 3,77/0.3 \cdot 0.8 = 15,75 \text{ А} \cdot \text{год.}$$

Характеристика потрібна для розрахунку й вибору сонячної фотоелектричної панелі.

Розрахунок сонячної фотоелектричної панелі

Наприклад використовуватимемо сонячний фотоелектричний елемент з характеристиками:

Таблиця 1

Характеристики фотоелектричного елемента

Тип	монокристалічний
Потужність	4.3 Вт
Напруга	0.611 В
Робоча напруга	$U_{ce} = 0.5 \text{ В}$
Робочий струм	$I_{ce} = 8 \text{ А}$
Струм короткого замикання	8.4 А
Фізичні характеристики	
Габарити	156 × 156 мм

Через фотоелектричний модуль відбувається заряджання акумуляторної батареї. Щоб зарядити акумулятор упродовж світлого періоду дня, необхідно одержати на виході фотоелектричної панелі відповідний струм. Струм заряду акумулятора вибирають 10–17 % від його ємності.

$$I_{\text{зар}} = E_{\text{акб}} \cdot 0.17 = 3 \text{ А, напруга} \cdot U_{\text{зар}} = 12 \text{ В.}$$

Таблиця 2

Середні значення інсоляції сонця в Україні

Місяць року	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
кВт · год/м ²	1,2	1,9	2,8	3,9	5,2	5,3	5,5	5,4	3,8	2,1	1,3	1,1

Потужність сонячної фотоелектричної установки залежатиме від добового надходження сонячної радіації та її сумарної площі і $n_{\text{ФЕП}}$ – коефіцієнта корисної дії фотоелектричного модуля.

Для розрахунку добової електроенергії виробленої установкою використаємо математичний вираз:

$$P_{\text{ФЕП доб.}} = E \times S \times N_{\text{ФЕП}} \times n_{\text{ФЕП}} \times n_{\text{ТЕП}}; \quad (8)$$

$$P_{\text{ФЕП доб.}} = 1900 \times 0.024336 \times 8 \times 0.17 \times 1 = 65 \text{ Вт} \times \text{год},$$

де $P_{\text{ФЕП доб.}}$ – енергія вироблена системою, Вт × год у день;

E – середньомісячна радіація, Вт × год/м²;

S – площа фото елемента, м²;

$N_{\text{ФЕП}}$ – кількість фотоелектричних елементів;

$n_{\text{ФЕП}}$ – коефіцієнт корисної дії фотоелектричних елементів;

$n_{\text{ТЕП}}$ – тепловий коефіцієнт фото модуля, який враховує втрати під час нагрівання фотоелектричної панелі в сонячний період, приблизно рівний 85–100 %.

З наступного виразу визначаємо необхідну кількість фотоелектричних перетворювачів, округливши їх до більшого значення:

$$N_{\text{ФЕП}} = P_{\text{ФЕП}} / E \times S \times n_{\text{ФЕП}} \times n_{\text{ТЕП}}, \quad (9)$$

де $P_{\text{ФЕП}} = P_{\text{ФЕП доб.}} \cdot 1.2$ – потужність, яка споживається системою та враховує втрати на заряджання-розряджання акумулятора приблизно рівний 20 %, Вт × год / добу.

Використавши дані з таблиці сонячної інсоляції, наприклад, обравши місяць з мінімальною сонячною радіацією, знайдемо кількість елементів:

$$N_{\text{ФЕП}} = 54/1900 \times 0.02436 \times 0.17 \times 1 = 7,9 \approx 8 \text{ ел.}$$

Добір контролера заряду. На виході із сонячної фотоелектричної панелі струм 8А і напруга 12 В. Для цього підійде контролер типу PWM зі струмом 10 А та напругою 12 В, температурою – 30–60 °С

Система енергопостачання теплиці з використанням відновлюваних джерел енергії призначена для підігріву повітря всередині споруди приблизно від 00:00 до 08:00 год завдяки теплу геотермальних джерел і енергії сонця для заряджання акумулятора у світлий період доби.

Склад системи:

Сонячна фотоелектрична панель – KV 65Вт/12В; контролер заряду – 10А/12В; акумулятор – 12В/16А × год; регулятор температури РТ-0102; датчик температури РТ-100; вентилятор 5Вт; криниця глибиною 8 м; утеплений трубопровід.

Досліджено, що на глибині 6–7 м температура повітря над поверхнею води приблизно +10 °С за температури над поверхнею ґрунту – 5 °С [7].

Провівши утеплений канал з глибини колодязя всередину теплиці й облаштувавши її системою постійної температури, забезпечуємо додатну температуру в споруді.

Висновки. На цьому етапі розвитку виняткову увагу необхідно приділити підвищенню енергопостачання в споруді закритого ґрунту. Необхідно особливо звернути увагу на застосування відновлюваних джерел енергії.

Найперше для знаходження параметрів запропонованої нами системи підвищення ефективності енергопостачання потрібно вивчити період застосування теплиці, вимоги щодо вирощування овочів і габаритні розміри огорожувальної конструкції.

Це дасть змогу безпомилково обрати складники системи підвищення енергопостачання теплиці завдяки використанню відновлюваних джерел енергії та знайти її параметри: потужність вентилятора, тепловий баланс, підібрати акумулятор і знайти параметри сонячної фотоелектричної панелі.

Список використаних джерел

1. Іваненко В. Ф. Особливості формування енерговитрат на виробництво продукції овочівництва закритого ґрунту. *Науковий вісник ЛНУВМБТ ім. Гжицького*. 2011. № 2(48). С. 71–78.
2. Мартиненко І. І. Автоматизація технологічних процесів сільськогосподарського виробництва. Київ : Урожай, 1995. 224 с.
3. Статистичні нотатки. Аграрний сектор. *Державна служба статистики України*. 2018. URL: www.ukrstat.gov.ua (дата звернення: 25.09.2020).
4. Тиравський В. Парниковый эффект. *Статус*. 2011. № 22(192). URL: <http://statuspress.com.ua/nisha/parnikovuj-effekt-2.html> (дата обращения: 25.09.2020).
5. Гіль Л. С. Сучасні технології овочівництва закритого і відкритого ґрунту. Ч. 1. Закритий ґрунт. Навчальний посібник / Л. С. Гіль, А. І. Пашковський, Л. Т. Суліма. Вінниця : Нова Книга. 2008. 368 с.
6. Іваненко П. П., Прісіпка О. В.. Закритий ґрунт : навч. посібник для вищ. агр.. зал. освіти II–IV рівнів акриду. Київ, Урожай, 2001. 360 с.
7. Технологічні процеси галузей промисловості : навч. посібник / Д. М. Колотило, А. Т. Соколовський, С. В. Гарбуз; За наук. ред. Д. М. Колотила, А. Т. Соколовського. Київ : КНЕУ, 2003. 380 с.
8. Архівні дані «Українського гідрометеорологічного центру». URL: <https://meteo.gov.ua/ua/33393/services/> (дата звернення: 30.04.2021).
9. Вентиляційні системи Вентс. URL: <https://vents.ua/ua/modification/vents-125-vko1-turbo-220-60#characteristic> (дата звернення: 25.09.2020).
10. de Almeida, A., Quaresma, N. & Biosse, E. (2022). The role of energy efficiency and renewable energies to accelerate sustainable energy access – a perspective case study of Mozambique. *Energy Efficiency* 15, 36. URL: <https://doi.org/10.1007/s12053-022-10045-w>
11. Wciślik, S., Kotrys-Działak, D. (2021). Thermal building upgrade with off-grid PV system: a Polish case. *Energy Efficiency* 14, 70 URL: <https://doi.org/10.1007/s12053-021-09980-x>
12. García-López, M., Montano, B. & Melgarejo, J. (2023) Household energy consumption and the financial feasibility of self-consumption through photovoltaic panels in Spain. *Energy Efficiency* 16, 57. URL: <https://doi.org/10.1007/s12053-023-10139-z>
13. Mahjoob Karambasti, B., Ghodrati, M., Naghashzadegan, M. et al. (2022) Optimum design of a greenhouse for efficient use of solar radiation using a multi-objective genetic algorithm. *Energy Efficiency* 15, 66. URL: <https://doi.org/10.1007/s12053-022-10073-6>
14. de Almeida, A., Moura, P. & Quaresma, N. (2020) Energy-efficient off-grid systems-review. *Energy Efficiency* 13, 349–376. URL: <https://doi.org/10.1007/s12053-019-09813-y>
15. Barbato, A., Capone, A., Carello, G. et al. (2014) A framework for home energy management and its experimental validation. *Energy Efficiency* 7, 1013–1052. URL: <https://doi.org/10.1007/s12053-014-9269-3>
16. Hoque MDJ, Ahmed MR, Hannan S (2020) Автоматизована система моніторингу та управління теплою за допомогою датчиків і сонячної енергії. *Eur J Eng Res Sci* 5(4):510–515. URL: <http://doi.org/10.24018/ejers.2020.5.4.1887>
17. Selmani MO, El Khayat M, Guerbaoui M, Ed-Dahhak A, Lachhab A, Bouchihi B (2019) До автономних теплиць на сонячній енергії. *Procedia Comput Sci* 148:495–501. ISSN 1877-0509
18. Aakanksha A, Anand C, Shameem Akhter S, Nikitha S, Pavan Kumar N (2021) Розумна автоматизація теплиць за допомогою сонячної енергії. *IJCRT* 9(6). ISSN: 2320-2882

*Стаття надійшла до редакції 15.10.2025**Стаття прийнята 01.11.2025**Статтю опубліковано 22.12.2025*



R. Krygul¹, S. Shapoval², S. Syrotyuk¹, M. Kasynets², T. Stanytskyy¹, I. Dudko¹

¹ Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv

² Lviv Polytechnic National University

GREENHOUSE POWER SUPPLY SYSTEM USING RENEWABLE ENERGY SOURCES

Summary

Today, task developing alternative energy sources is extremely relevant. Traditional resources are quite expensive and affect the development of the state. This forces us to look for new ways to obtain energy. An important factor in increasing productivity and improving working conditions, increasing quality and expanding the range of products is the automation of technological processes. The work presents system for increasing the energy efficiency of a greenhouse through the use of renewable energy sources. The necessary calculations are presented. To determine the technical parameters of the system we have proposed for increasing the efficiency of energy supply of a closed ground structure using renewable energy sources, it is necessary to know the period of use of the greenhouse, requirements for growing seedlings, the area of the enclosing structure. This in turn makes it possible to find the following parameters: heat balance, select a thermal fan, select a battery, and find the technical parameters of the photovoltaic panel.

Keywords: greenhouse, photovoltaic panel, sun, well, battery.