

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ВИКОНАННЯ

контрольних робіт з дисципліни

"Поновлювані та альтернативні джерела енергії"

для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»
усіх форм навчання

2018

Методичні вказівки до виконання контрольних робіт з дисципліни "Поновлювані та альтернативні джерела енергії" для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» усіх форм навчання /Укл.: Д.С. Яримбаш – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018 – 38 с.

Укладачі: Д.С. Яримбаш, доцент, д.т.н.

Рецензент: П.Д. Андрієнко, професор, д.т.н.

Відповідальний за випуск: І.Д. Галушко, зав.лаб

Затверджено
на засіданні кафедри ЕМ
Протокол № 7
від 1 березня 2018 р

Затверджено
на засіданні НМК ЕТФ
Протокол № 8
від 29 березня 2018 р

ЗМІСТ

	с
Передмова	4
1 Розрахунок сонячної енергії, що надходить на земну поверхню	5
2 Розрахунок сонячних нагрівальних устав	11
3 Розрахунок вітроколiс та ВЕУ	16
4 Розрахунок гiдротурбiн для малих ГЕС	20
5 Пiролiз i газифiкацiя	23
6 Розрахунок бiогазогенераторних устав	28
7 Завдання до контрольної роботи	32
Лiтература	34
Додаток А – Довiдниковi данi	35

ПЕРЕДМОВА

Енергетична проблема на даному етапі розвитку стоїть дуже гостро, планеті загрожує загальна енергетична криза. Вихід з настільки складної ситуації полягає у використанні поновлювальних, тобто альтернативні джерела енергії. Саме за ними стоїть майбутнє земної цивілізації, саме на них і варто звернути пильну увагу світової наукової громадськості.

У поняття поновлювані джерела енергії (ПДЕ) включаються такі форми енергії: сонячна, геотермальна, вітрова, енергія морських хвиль, течій, припливів та океану, енергія біомаси, гідроелектроенергія, низькопотенційна теплова енергія та інші "нові" види відновлюваної енергії.

В останні роки тенденція зростання використання ПДЕ стає достатньо явною. Проблеми розвитку ПДЕ обговорюються на найвищому рівні. Практично в усіх розвинених країнах формуються і реалізуються програми їх розвитку.

Економічний потенціал поновлюваних джерел енергії в світі в даний час оцінюється в 20 млрд. т.у.п. на рік, це у два рази перевищує обсяг річного видобутку всіх видів викопного палива. Ця обставина вказує шлях розвитку енергетики найближчого майбутнього.

Головна перевага поновлюваних джерел енергії - невичерпна і екологічна чистота. Їх використання не змінює енергетичний баланс планети. Ці якості послужили причиною бурхливого розвитку відновлюваної енергетики за кордоном і дуже оптимістичних прогнозів її розвитку в найближчому десятилітті в Україні.

Можна виділити п'ять основних причин, що зумовило розвиток ПДЕ: забезпечення енергетичної безпеки; збереження навколишнього середовища і забезпечення екологічної безпеки; завоювання світових ринків ПДЕ, особливо в країнах, що розвиваються; збереження запасів власних енергоресурсів для майбутніх поколінь; збільшення споживання сировини для неенергетичних використання палива.

1 РОЗРАХУНОК СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ, ЩО НАДХОДИТЬ НА ЗЕМНУ ПОВЕРХНЮ

Сонячне випромінювання відноситься до невичерпних та екологічно чистих джерел енергії. За оцінками, величина енергії, яка надходить від Сонця на Землю становить приблизно $66,8 \cdot 10^{16}$ кВт·год в рік, що в свою чергу майже у 13 тис. раз перевищує сумарну енергію, яка виробляється на сьогодні у світі.

Середня інтенсивність сонячних променів на поверхні Землі знаходиться у межах $7,2 - 21,6$ МДж/м². Використання цієї енергії може здійснюватись як безпосередньо, шляхом перетворення в теплоту чи електроенергію, так і шляхом непрямих видів сонячної енергії, як енергія вітру, води, фотосинтезу.

Теплова дія сонячних променів на поверхню будь-якого об'єкту чи площини визначається інтенсивністю сонячної радіації, яка характеризується кількістю теплоти за одиницю часу, що надходить на одиницю площі поверхні від променів Сонця. Для розрахунку кількості сонячної енергії на певній місцевості необхідно знати кути падіння сонячних променів на похилу чи горизонтальну поверхні, котрі поглинають тепло. Інтенсивність сонячної енергії на поверхні Землі у довільній точці для заданого моменту часу визначається трьома основними кутами: схиленням δ , широтою φ та годинним кутом ω .

Схилення δ – це кут між лінією, яка з'єднує центри Землі і Сонця, і її проекцією на площину екватора; визначає місцезнаходження Сонця у сонячній півдудень відносно площини екватора і сезонні зміни.

Схилення δ визначають за співвідношенням:

$$\delta = \delta_0 \cdot \sin\left(360 \frac{284 + n}{365}\right), \quad (1.1)$$

де n – порядковий день року.

Для північної півкулі значення δ змінюється $-23,5^\circ$ (22 грудня) до $+23,5^\circ$ (22 червня), тобто він додатний для літа, а в інший період – від'ємний (додаток).

Широта φ – це кут між лінією, яка з'єднує довільну точку на верхні Землі з її центром, і її проекцією на площину екватора.

Годинний кут ω – це кут, виміряний в екваторіальній площині між проекцією лінії, яка з'єднує довільну точку на верхні Землі з її центром і проекцією лінії, яка з'єднує центри Землі і Сонця. Він дорівнює нулю у

сонячний полудень. Приріст цього кута на 15° довготи (внаслідок обертання Землі навколо осі) визначає зміну часу на 1 годину.

Величину кута визначають за формулою

$$\omega = 15 \cdot (12 - \tau), \quad (1.2)$$

де τ – добове значення години.

Поряд з трьома основними кутами δ , φ , ω , для розрахунків сонячного випромінювання використовують також зенітний кут Z , кут висоти Сонця h та азимут Сонця α .

Зенітний кут Сонця Z – це кут сонячним променем та нормаллю до горизонтальної площини в точці падіння променя.

Геометрична залежність між вказаними кутами має наступний вигляд

$$\cos Z = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \omega \cdot \cos \varphi \cdot \cos \delta. \quad (1.3)$$

Кут висоти Сонця h – це кут у вертикальній площині між сонячним променем та його проекцією на горизонтальну площину; визначається за таким співвідношенням:

$$h = \arcsin(\sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \omega \cdot \cos \varphi \cdot \cos \delta). \quad (1.4)$$

Азимут Сонця – це кут між нормаллю до поверхні та напрямком на південь, змінюється від 0 до 180° .

Геометричний зв'язок між іншими кутами:

$$\sin \alpha = \sec h \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega. \quad (1.5)$$

Кут падіння сонячних променів на довільно зорієнтовану поверхню з азимутом α_n і кутом нахилу до горизонту β визначається з рівняння

$$\begin{aligned} \cos \theta = \sin \beta \cdot \left[\cos \delta \cdot (\sin \varphi \cdot \cos \alpha_n \cdot \cos \omega + \sin \alpha_n \cdot \sin \omega) - \right. \\ \left. - \sin \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \alpha_n \right] + \\ + \cos \beta \cdot [\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \delta \cdot \sin \varphi], \end{aligned} \quad (1.6)$$

у випадку горизонтальної поверхні, коли $\beta = 0$:

$$\cos \theta = \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \delta \cdot \sin \varphi,$$

для вертикальної поверхні, коли $\beta = 90^\circ$:

$$\cos \theta = \cos \delta \cdot (\sin \varphi \cdot \cos \alpha_n \cdot \cos \omega + \sin \alpha_n \cdot \sin \omega) - \sin \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \alpha_n,$$

Для України, розташованій у північній півкулі, потрібно орієнтувати сонячний колектор на південь з відповідним кутом нахилу до поверхні Землі β . З врахуванням цього оптимальний кут нахилу колектора визначають за співвідношенням:

$$\beta = \varphi - \delta_{\text{сер}}, \quad (1.7)$$

де $\delta_{\text{сер}}$ – схилення Сонця, середнє за досліджуваний період.

Модуль середнього значення схилення визначається через середнє арифметичне косинусів максимального і мінімального схилення за місяць:

$$|\delta_{\text{сер}}| = \arccos \left(\frac{\cos \delta_{\text{max}} - \cos \delta_{\text{min}}}{2} \right). \quad (1.8)$$

З врахуванням цього, кут падіння променів на сонячний колектор визначається так

$$\cos \theta = \cos(\varphi - \beta) \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \delta \cdot \sin(\varphi - \beta). \quad (1.9)$$

Якщо висота Сонця над горизонтом $h < 5^\circ$, інтенсивністю сонячного випромінювання нехтують. Для значень $h > 5^\circ$ інтенсивність дії прямої сонячної енергії на поверхню, перпендикулярну до напрямку променів, наближено визначають за формулою:

$$E_{\text{пр}} = 1360 \sinh / [\sinh + (1 - P_{\text{пр}}) / P_{\text{пр}}], \text{ Вт/м}^2 \quad (1.10)$$

де $P_{\text{пр}}$ – коефіцієнт прозорості атмосфери (0,7...0,8).

Інтенсивність прямої сонячної енергії на плоских горизонтальних і вертикальних поверхнях визначається залежностями:

$$E_{\text{пр.г}} = I_{\text{пр}} \cdot \sinh, \quad (1.11)$$

$$E_{\text{пр.в}} = I_{\text{пр}} \cdot \cosh \cdot \sin|\alpha - \chi|. \quad (1.12)$$

Інтенсивність повної сонячної радіації визначають як суму інтенсивностей прямої і розсіяної радіації. Залежність інтенсивності розсіяної сонячної радіації у безхмарному небі, яка діє на горизонтальну поверхню, від висоти Сонця h приведена у додатку.

Інтенсивність розсіяної сонячної радіації для вертикальної поверхні орієнтовано визначається так:

$$E_{pv} = 0,5 \cdot E_{pg}. \quad (1.13)$$

Сумарну теплову енергію на поверхні, орієнтованій під кутом на південь, визначають за формулою:

$$E_c = 0,96 \cdot (K_{pr} \cdot E_{pr} \cdot \theta_{pr} + K_p \cdot E_p \cdot \theta_p), \quad (1.14)$$

де K_{pr}, K_p – коефіцієнти, які враховують орієнтацію колектора відносно прямої і розсіяної радіації; K_{pr} визначають в залежності від кута нахилу колектора (з додатку); K_p визначають так

$$K_p = \cos^2(\beta/2) = (\cos 2\beta + 1)/2. \quad (1.15)$$

Тривалість світового дня визначають за співвідношенням

$$T_d = (2/15) \arccos(-\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta). \quad (1.16)$$

Відбивна здатність прозорих матеріалів у випадку прямовисного падіння сонячних променів визначається так:

$$\rho = [(n_3 - 1)/(n_3 + 1)]^2, \quad (1.17)$$

Якщо сонячні промені падають під кутом θ , тоді

$$\rho(\theta) = (1/2) \left[\sin^2(\theta_2 - \theta_1) / \sin^2(\theta_2 + \theta_1) + \operatorname{tg}^2(\theta_2 - \theta_1) / \operatorname{tg}^2(\theta_2 + \theta_1) \right]. \quad (1.18)$$

Пропускна здатність шарів прозорого матеріалу

$$\tau_{pr} = (1 - \rho) / [1 + (2 \cdot i + 1) \cdot \rho], \quad (1.19)$$

де i – кількість шарів покрить.

Поглинаючу здатність прозорих матеріалів визначають з закону Бугера:

$$\tau_{\text{пог}} = \exp(-k \cdot L), \quad (1.20)$$

де k – коефіцієнт, який змінюється від $0,04 \text{ см}^{-1}$ (для чисто прозорого скла) до $0,32 \text{ см}^{-1}$ (для погано прозорого скла); L – товщина прозорого матеріалу.

Задача 1.1. Визначити кут падіння сонячних променів на поверхню, розташовану у м. Львів n -го дня року о 14 год 30 хвилин. Поверхня нахилена під кутом β° до горизонту і орієнтована під кутом 15° на захід від південного напрямку.

Задача 1.2. Визначити сумарну кількість енергії n -го дня для 2000 року о 12 годині, яка надходить на горизонтальну поверхню, розташовану на місцевості з північною широтою φ° .

Задача 1.3. Визначити щоденну сумарну кількість сонячної енергії у відповідному місяці року, яка надходить на поверхню колектора, повернуту на південь під кутом β° в точці місцевості північної широти φ° .

Задача 1.4. визначити тривалість світового дня на північній широті φ для n -го дня року, а також середнє добове значення густини потоку сонячної радіації.

Задача 1.5. Визначити пропускну здатність одно- і двошарових покрить зі скла кожне для кута падіння сонячних променів θ_1 .

Таблиця 1.1 – Вихідні дані для розрахунків задачі 1.1

Завдання	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
β°	20	30	30	30	45	30	45	30	45	35
n	110	120	130	150	160	180	220	240	250	140
Завдання	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
β°	25	35	35	35	50	35	40	35	40	35
n	115	125	120	130	140	190	200	220	230	130

Таблиця 1.2 – Вихідні дані для розрахунків задачі 1.2

Завдання	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
φ°	47	47	50	48	48	51	49	49	50	45
<i>n</i>	100	130	160	170	180	190	200	220	240	210
Завдання	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
φ°	42	43	54	38	58	41	39	34	40	47
<i>n</i>	110	140	150	160	170	180	210	230	200	220

Таблиця 1.3 – Вихідні дані для розрахунків задачі 1.3

Завдання	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Місяць	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
β°	35	30	45	35	50	45	30	45	65	90
φ°	46	47	47	50	48	48	45	45	49	50
Завдання	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Місяць	3	4	5	6	7	8	9	10	11	2
β°	37	32	47	37	52	47	32	47	67	80
φ°	44	43	43	47	44	44	47	47	42	40

Таблиця 1.4 – Вихідні дані для розрахунків задачі 1.4

Завдання	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
φ°	47	48	49	50	51	52	53	48	49	52
<i>n</i>	110	140	150	170	185	195	145	135	125	175
Завдання	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
φ°	42	43	44	45	46	47	48	42	47	49
<i>n</i>	115	145	155	175	190	200	150	140	130	180

Таблиця 1.5 – Вихідні дані для розрахунків задачі 1.5

Завдання	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
θ_1	20	30	30	30	45	30	45	30	45	40
Завдання	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
θ_1	25	35	35	35	50	35	50	35	50	45

2 РОЗРАХУНОК СОНЯЧНИХ НАГРІВАЛЬНИХ УСТАВ

Системи сонячного теплопостачання поділяються на пасивні і активні. Вони можуть мати природну або примусову циркуляцію нагрівної речовини, а також мати акумулятор теплової енергії.

Суть побудови пасивних нагрівальних сонячних систем полягає у виборі нагромаджувального майданчика певної маси, площі, поверненого до потоку сонячного випромінювання і з високим опором тепловим витратам, з метою отримання оптимальної кількості сонячного тепла для даної конструкції.

У пасивних системах теплопостачання сонячні промені сприймають конструкції будівлі, найчастіше стіни.

При розроблені конструкції пасивної системи теплопостачання необхідно правильно вибрати віддасть δ між сприймаючим екраном (стілкою) і склом (плівкою). Для цього використовують наступні емпіричні залежності:

- у випадку ламінарного руху повітря у каналі

$$\delta = \frac{2H}{Nu}, \quad (2.1)$$

де H – висота стінки; критерій Нусельта $Nu = 0,378(Gr)^{0,25}$; критерій Грасгофа $Gr = \Delta t \cdot g \cdot H^3 \cdot \beta / \nu^2$; Δt – різниця температур стінки і повітря; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; β – коефіцієнт розширення повітря, дорівнює $(t_{\text{пов}} + 273)^{-1}$; ν – кінематична в'язкість (з додатку).

- у випадку турбулентного руху повітря:

$$\delta = H \left[0,96 \cdot Ra^{-\frac{1}{6}} \right] \cdot \left(\frac{Pr^{\frac{2}{3}}}{2,14 + Pr^{\frac{2}{3}}} \right)^{-\frac{1}{6}} Pr^{-\frac{1}{6}}, \quad (2.2)$$

де $Ra = Gr \cdot Pr$, Pr – критерій Прандтля (з додатку).

Висота поверхні, котра сприймає тепло, сильно впливає на питому масову витрату повітря, що визначається з умови

$$(\alpha_F \cdot F_x) / (m \cdot C_p) \geq 4, \quad (2.3)$$

де α_F – коефіцієнт тепловіддачі між поверхнею стінки і повітрям; F_x – площа поверхні, яка сприймає тепло, м^2 ; C_p – теплоємність повітря, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; m – масова витрата повітря з 1 метра ширини нагрітої поверхні, визначають як

$$m = W \cdot \rho \cdot 4\delta, \quad (2.4)$$

де ρ – густина повітря, $\text{кг}/\text{м}^3$; W – швидкість руху повітря в прошарку, визначається за співвідношенням:

$$W = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,8 \cdot H \cdot (\rho_{вх} - \rho_{вих})}{\sum \xi \cdot \rho}}, \quad (2.5)$$

де $\sum \xi$ – сума місцевих опорів рухові повітря; $\rho_{вх}, \rho_{вих}, \rho$ – густина повітря відповідно на вході, виході та середня.

До активних сонячних нагрівальних систем відносяться нагрівачі води або повітря, які можна інстальовати на вже збудовані будинки.

Водо нагрівні системи вимагають теплообмінників, для нагрівних повітряних систем потрібні повітряні канали. Теплоносії циркулюють у них за допомогою електропомп або електровентиляторів. Активні, як і пасивні нагрівні системи працюють добре лише за мінімальних теплових витрат.

Основним елементом системи сонячного теплопостачання є колектор, які поділяють на фокусуючі (з концентрацією сонячних променів) та «гарячі скриньки» (без концентрації).

Розрахунок систем починають з визначення площі поверхні сонячного колектора за співвідношенням:

$$F = \frac{0,287 \cdot G_{\Gamma} \cdot C_{\text{в}} \cdot (t_{\Gamma} - t_{\text{х}})}{\eta \sum E_i}, \text{ м}^2 \quad (2.6)$$

де G_{Γ} – добова витрата гарячої води, $\text{кг}/\text{добу}$; $t_{\Gamma}, t_{\text{х}}$ – температури відповідно гарячої і холодної води, $^{\circ}\text{C}$; E_i – інтенсивність падіння сонячної радіації у площині сонячного колектора, $\text{Вт}/\text{м}^2$; $C_{\text{в}} = 4190 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ – теплоємність води; η – ККД устави сонячного теплопостачання:

$$\eta = 0,8 \left\{ \theta - \frac{8 \cdot \xi \cdot [0,5(t_1 + t_2) - t_c]}{\sum E_i} \right\}, \quad (2.7)$$

де θ – приведена оптична характеристика колектора прямої радіації (для колекторів з одним шаром скла $\theta = 0,73$, для двох шарів $\theta = 0,63$); t_1 , t_2 , t_c – температури відповідно на вході, виході з колектора, а також середнє значення температури для навколишнього повітря, °C; для двох- і три контурних устав можна приймати $t_1 = t_k + 5^\circ\text{C}$, $t_2 = t_r$; ξ – приведений коефіцієнт теплових втрат сонячного колектора, Вт/(м²·K), (для колекторів з одним шаром скла $\xi = 8$ Вт/(м²·K), для двох шарів $\xi = 5$ Вт/(м²·K)).

Об'єм акумулятора теплоти:

$$V = (0,6 \dots 0,8) F. \quad (2.8)$$

Річна частка сонячної енергії в покритті теплового навантаження:

$$f_{pic} = \frac{E_k}{Q_n^{pic}}, f_{pic} = 0 \dots 1. \quad (2.9)$$

Теплова потужність сонячного колектора:

$$Q_k = F [E_k \cdot \eta - K_{втр} (t_1 - t_{нс})] = G_r \cdot C_v \cdot (t_2 - t_1), \quad (2.10)$$

де G_r – добова витрата гарячої води, кг/добу; t_1 , t_2 – температури відповідно на вході, виході з колектора, °C; $t_{нс}$ – температура навколишнього середовища; E_k – інтенсивність падаючої сонячної радіації у площині сонячного колектора, Вт/м²; $C_v = 4190$ Дж/(кг·K) – теплоємність води; $K_{втр}$ – коефіцієнт теплових втрат (з додатку).

Енергія, яка передається в повітря від поглинаючої поверхні за одиницю часу:

$$E = \rho \cdot c \cdot V \cdot (t_2 - t_1), \quad (2.11)$$

де $\rho = m/V$ – густина потоку повітря (для сталої величини тиску); V – об'ємна витрата повітря через поперечний переріз даного об'єму; c – питома теплоємність повітря з незмінним тиском.

Задача 2.1. Для пасивної системи опалення будинку визначити віддаль між екраном та поверхнею (стіною), котра сприймає тепло. Висота поверхні

$H(m)$, середні значення температури стінки і повітря відповідно дорівнюють $t_{ст}, ^\circ C$ і $t_{пов}, ^\circ C$.

Задача 2.2. Визначити питому масову витрату повітря у прошарку δ (см) між склом та стінкою висотою H (м). Температури повітря на вході ті виході із колектора відповідно дорівнюють $t_{ст}, ^\circ C$ та $t_{пов}, ^\circ C$.

Задача 2.3. Визначити площу поверхні сонячного колектора для добового забезпечення гарячою водою G (кг/год) з температурою $t_r, ^\circ C$, а також об'єм теплового акумулятора. Температура холодної води $10\ ^\circ C$.

Задача 2.4. Розрахувати сонячну уставу для нагрівання води протягом доби, розташовану на північній широті ϕ . Добове споживання гарячої води $V_{гв}$ (м³/день), а її температура $t_{гв}$. Температура холодної води $t_{хв} = 10^\circ C$. Визначити площу поверхні сонячного колектора, об'єм акумулятора тепла і річну економію палива B , якщо $\eta_{гг} = 0,6$.

Задача 2.5. Розрахувати сонячну уставу, розташовану на широті ϕ для нагрівання води з використанням її для опалювання будинку з кубатурою $V(m^3)$. Відома температура повітря $t_{зов}$ зовні будинку на протязі n днів опалювального сезону. Визначити площу поверхні сонячного колектора, об'єм акумулятора і економію палива B , якщо $\eta_{гг} = 0,7$.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для розрахунків задачі 2.1

Завдання	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110
H, m	2,6	2,8	2,5	2,0	2,2	2,5	2,0	3,5	3,0	3,2
$t_{ст}, ^\circ C$	40	42	44	45	48	50	46	43	48	44
$t_{пов}, ^\circ C$	27	26	28	30	32	35	34	31	34	36
Завдання	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
H, m	2,8	2,9	2,4	2,1	2,3	2,7	2,2	3,2	3,1	3,5
$t_{ст}, ^\circ C$	41	43	45	46	49	52	43	42	45	40
$t_{пов}, ^\circ C$	24	27	24	33	30	31	32	34	30	32

Таблиця 2.2 – Вихідні дані для розрахунків задачі 2.2

Завдання	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130
H, m	2,6	2,8	2,5	2,0	2,2	2,5	2,0	3,5	3,0	3,2
$t_{ст}, ^\circ C$	40	42	44	45	48	50	46	43	48	44
$t_{пов}, ^\circ C$	27	26	28	30	32	35	34	31	34	36
δ, cm	4,0	5,0	3,0	3,5	4,5	5,5	6,0	6,5	7,0	5,5
Завдання	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140
H, m	2,8	2,9	2,4	2,1	2,3	2,7	2,2	3,2	3,1	3,5
$t_{ст}, ^\circ C$	41	43	45	46	49	52	43	42	45	40
$t_{пов}, ^\circ C$	24	27	24	33	30	31	32	34	30	32
δ, cm	4,5	5,5	3,5	4,0	5,0	6,0	6,5	7,0	7,5	6,0

Таблиця 2.3 – Вихідні дані для розрахунків задачі 2.3

Завдання	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150
G, кг/год	100	45	50	110	60	120	70	80	90	100
t _г , °C	45	50	55	65	55	50	46	45	55	50
Завдання	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160
G, кг/год	110	55	60	120	70	100	80	90	70	120
t _г , °C	40	55	60	70	50	45	41	50	60	550

Таблиця 2.4 – Вихідні дані для розрахунків задачі 2.4

Завдання	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170
V _{гв} , м ³ /день	0,6	0,8	0,5	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
t _{гв} , °C	40	42	44	45	48	50	46	43	48	50
φ, °	47	47	48	48	48	49	49	50	50	47
Завдання	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180
V _{гв} , м ³ /день	0,65	0,85	0,55	1,05	1,25	1,55	2,05	2,55	3,05	3,55
t _{гв} , °C	42	44	46	47	50	52	48	45	50	52
φ, °	46	46	47	47	47	48	48	49	49	46

Таблиця 2.5 – Вихідні дані для розрахунків задачі 2.5

Завдання	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190
Будинок	житл	адмін	школа	лікар	гуртож	житл	адмін	школа	лікар	житл
V·10 ³ , м ³	3	5	10	15	20	3	5	10	15	6
φ, °	47	47	48	48	48	49	49	50	50	46
п, днів	120	130	125	140	135	115	125	120	110	100
Завдання	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200
Будинок	житл	адмін	школа	лікар	гуртож	житл	адмін	школа	лікар	житл
V·10 ³ , м ³	5	7	12	17	22	8	9	15	17	16
φ, °	44	44	45	45	43	47	48	49	49	48
п, днів	110	120	115	130	125	105	115	110	120	130

3 РОЗРАХУНОК ВІТРОКОЛІС ТА ВЕУ

У вітроенергетиці існують дві основні проблеми – одержання максимальної проектної потужності ВЕУ та ефективний захист від руйнівних поривів вітру.

Кінетична енергія вітрового потоку зі швидкістю вітру W_0 (м/с):

$$E = m \cdot W_0^2 / 2, \quad (3.1)$$

де m – масова витрата повітря, котру можна визначити з рівняння нерозривності потоку (за відсутності турбулентності):

$$m = \rho \cdot E_k \cdot W_0, \quad (3.2)$$

де ρ – густина повітря, кг/м³; E_k – площа диску, створеного обертанням вітроколеса, через яку проходить вітровий потік.

Потужність потоку вітру розраховують як:

$$N_0 = 1/2 (\rho \cdot E_k \cdot W_0^3), \text{ Вт} \quad (3.3)$$

При адіабатичному градієнті температур в нижніх шарах атмосфери вертикальний профіль вітру $W(h)$ апроксимується залежністю:

$$W(h) = W_1 \left(\frac{H}{h} \right)^{0,2}, \quad (3.4)$$

де h, H – відповідно висоти 10 м і вище; W_1 – швидкість вітру на висоті 10 м.

Потужність ВЕУ горизонтального типу:

$$N = \frac{\rho \cdot E_k \cdot W^3 \cdot \xi \cdot \eta_r}{2}, \text{ кВт} \quad (3.5)$$

де $\xi = 0,3 - 0,35$ – коефіцієнт використання енергії вітру; η_r – ККД електричного генератора, близько 0,875.

Потужність ВЕУ вертикального типу:

$$N = \bar{N} \cdot \frac{\rho \cdot W^3}{2} \cdot i \cdot b \cdot L \cdot \xi \cdot \eta_r, \text{ кВт} \quad (3.6)$$

де i – кількість лопатів; b – довжина хорди лопаті; $\bar{N}$ – відносна потужність, яка залежить від конструкції агрегату, відносної швидкості лопатів ($W_b = W_r/W_0$) і аеродинамічних якостей лопатів; L – довжина лопаті.

Потужність генератора ВЕУ

$$N_r = N_b \cdot \eta_r \cdot \eta_{\Pi}, \text{ кВт} \quad (3.7)$$

де η_r – коефіцієнт передачі, дорівнює 1.

Площа диску, створеного обертанням вітроколеса, через яку проходить вітровий потік розраховується як

$$F_k = \sqrt{\frac{2 \cdot N_b}{\rho \cdot W_c^2 \cdot \xi}}, \text{ м}^2 \quad (3.8)$$

Діаметр вітроколеса:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F_k}{\pi}}, \text{ м} \quad (3.9)$$

Частота обертання:

$$\nu = \frac{Z \cdot W_c}{2\pi \cdot R}, \text{ с}^{-1} \quad (3.10)$$

де Z – швидкохідність вітроколеса, розраховується як

$$Z = \frac{W_{кл}}{W_0} = \frac{R \cdot \omega}{W_0} \quad (3.11)$$

Задача 3.1. Визначити швидкість потоку вітру на висоті H (м), якщо середня швидкість на висоті $h = 10$ м дорівнює W_1 (м/с).

Задача 3.2. Визначити потужність вітрового потоку на 1 м^2 площі, перпендикулярної до нього, якщо протягом місяці середня швидкість вітру $\bar{W}$ (м/с). Густина повітря $1,2 \text{ кг/м}^3$. Визначте потужність вітрового потоку повітря внаслідок зміни його густини у різні пори року.

Задача 3.3. ВЕУ з горизонтальною віссю обертання для будь якої швидкості вітру підтримує сталим коефіцієнт швидкохідності, $Z = 8$. Визначити, для якої швидкості вітру в кінці лопаток вітроколеса досягнуть звукової швидкості. Температура повітря t , °С.

Задача 3.4. Визначити діаметр вітроколеса і частоту його обертання для ВЕУ з горизонтальною віссю обертання за такими даними: потужність генератора ВЕУ N_r (кВт), середня швидкість потоку повітря W_c (м/с), коефіцієнт використання енергії вітру $\xi = 0,32$. Коефіцієнт швидкохідності Z ; ККД генератора – 0.98.

Задача 3.5. Побудувати графічну залежність потужності на валу ВЕУ від швидкості потоку повітря $N_b = f(W)$, яка змінюється в межах від 5 до 12 м/с. Діаметр вітроколеса D , м, коефіцієнт використання енергії вітру ξ . Густина повітря ρ , кг/м³. 1,18

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для розрахунків задачі 3.1

Завдання	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210
H , м	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
W_1 , м/с	6	8	7	9	11	10	5	6,5	7,5	8
Завдання	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220
H , м	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
W_1 , м/с	8	9	8	10	12	11	6	7,5	8,5	9

Таблиця 3.2 – Вихідні дані для розрахунків задачі 3.2

Завдання	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230
$\bar{W}$, м/с	4,2– 4,8	4,8– 5,1	3,9– 4,4	3,8– 4,2	3,2– 3,7	3,0– 3,5	3,1– 3,6	3,2– 3,8	3,3– 3,7	4,3– 4,7
Завдання	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240
$\bar{W}$, м/с	4,5– 5,3	4,6– 5,8	4,9– 5,4	4,8– 5,2	4,2– 4,7	4,0– 4,5	4,1– 4,6	5,2– 5,8	5,3– 5,7	4,3– 5,7

Таблиця 3.3 – Вихідні дані для розрахунків задачі 3.3

Завдання	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250
t , °С	32	30	28	17	20	21	22	23	24	25
Завдання	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260
t , °С	33	31	29	18	21	22	23	24	25	26

Таблиця 3.4 – Вихідні дані для розрахунків задачі 3.4

Завдання	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270
N_{Γ} , кВт	1,5	2,6	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	11,0
W_c , м/с	6	8	7	9	11	10	5	6,5	7,5	8
Z	7	8	9	7	8	9	7	8	9	7
Завдання	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280
N_{Γ} , кВт	1,7	2,8	3,2	4,2	5,2	6,5	8,5	10,5	12,7	11,8
W_c , м/с	6,5	8,5	7,5	9,7	11,3	10,9	5,5	6,8	7,2	8,5
Z	6	7	8	5	7	8	5	7	6	8

Таблиця 3.5 – Вихідні дані для розрахунків задачі 3.5

Завдання	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290
D , м	1,5	2,6	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	11,0
ξ	0,3	0,32	0,33	0,31	0,34	0,31	0,33	0,34	0,35	0,36
ρ	1,17	1,16	1,18	1,19	1,2	1,21	1,16	1,18	1,19	1,2
Завдання	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300
D , м	2,5	3,6	4,0	5,0	6,0	7,0	9,0	11,0	13,0	12,0
ξ	0,35	0,37	0,38	0,36	0,39	0,35	0,38	0,39	0,4	0,41
ρ	1,18	1,17	1,19	1,2	1,16	1,17	1,18	1,19	1,18	1,19

4 РОЗРАХУНОК ГІДРОТУРБІН ДЛЯ МАЛИХ ГЕС

ГЕС мають такий принцип використання енергії води. Якщо V – об'єм води, що падає на лопаті турбіни за одиницю часу; ρ – густина води, то добуток $\rho \cdot V$ визначить масу падаючої води. Приріст за одиницю часу потенціальної енергії падаючої води:

$$E_0 = \rho \cdot V \cdot g \cdot H, \quad (4.1)$$

де g – прискорення вільного падіння; H – висота падіння води.

Ця енергія перетворюється в механічну або електричну.

Ефективну потужність, яка розвиває турбіна визначають за співвідношенням

$$N_{\text{еф}} = (K \cdot F \cdot \rho_v \cdot \vartheta^3 \cdot N \cdot \eta_t) / 2, \quad (4.2)$$

де K – коефіцієнт, що залежить від форми тіла; F – площа найбільшого перетину тіла в площині, перпендикулярній до напрямку потоку рідини ($F = 0,02 - 0,1 \text{ м}^2$); ρ_v – густина води; ϑ – відносна швидкість лопаті у воді; N – число лопаток, занурених у воду; η_t – коефіцієнт корисної дії турбіни (0,5...0,75).

Потужність на лопатках гідротурбіни (індикаторна потужність) визначається так:

$$N_t = 9,8 \cdot \rho \cdot V \cdot H, \text{ Вт} \quad (4.3)$$

де H – напір, м; V – об'ємна витрата води, $\text{м}^3/\text{с}$; ρ – густина води, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Ефективна потужність гідравлічної турбіни:

$$N_{\text{еф}} = N_t \eta_t, \quad (4.4)$$

Кутова швидкість обертання колеса турбіни

$$\omega = \xi \cdot \rho^{0,5} \cdot (g \cdot H_p)^{1,25} / N_t^{0,5}, \text{ рад/с} \quad (4.5)$$

де ξ – коефіцієнт швидкохідності.

Діаметр робочого колеса можна визначити із співвідношення:

$$D = 2 \cdot W_n / \omega, \text{ м} \quad (4.6)$$

Залежність між швидкістю падаючого потоку і напором визначають так:

$$W_{\Pi} = (2g \cdot H_p)^{0,5}, \text{ м/с} \quad (4.7)$$

Між кутовою швидкістю обертання колеса турбіни і набігаючим потоком води існує наступна залежність:

$$\omega_1/\omega_2 = (H_{p2}/H_{p1})^{1,25}. \quad (4.8)$$

Задача 4.1. На турбіну Пельтона падає потік води з напором H , м і витратою $V_{\text{мін}}$, м³/с. Нехтуючи тертям, визначити: швидкість потоку; ефективну потужність турбіни; радіус двох сопел; діаметр колеса; кутову швидкість обертання колеса. ККД дорівнює $\eta = 0,9$. Коефіцієнт швидкохідності колеса $\xi = 0,1$.

Задача 4.2. Пропелерна турбіна з коефіцієнтом швидкохідності ξ розвиває потужність на валу $N_{\text{еф}}$, кВт для робочого напору води H_1 , м ККД турбіни $\eta_t = 70\%$. Визначити швидкість потоку; кутову швидкість обертання ротора турбіни. Як зміниться кутова швидкість, якщо напір зменшиться до H_2 .

Задача 4.3. Активна гідротурбіна з одним соплом має потужність $N_{\text{еф}}$, кВт. Визначити діаметр колеса для робочого напору H_a , м і відповідну кутову швидкість обертання, коли досягається максимальне значення ККД.

Задача 4.4. Гідравлічна турбіна потужністю N_t , кВт працює з напором H , м, ККД турбіни η_t . Визначити витрати води і діаметр колеса турбіни.

Задача 4.5. Розрахувати довжину трубопроводу діаметром d для забезпечення напору H , м для турбіни малої ГЕС. Яка буде витрата води трубопроводом і потужність гідротурбіни? Кут нахилу трубопроводу дорівнює α .

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для розрахунків задачі 4.1

Завдання	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310
H , м	15	16	17	18	19	21	14	20	23	24
$W_{\text{мін}}$, м/с	6	8	7	9	11	10	5	6,5	7,5	8
Завдання	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320
H , м	25	26	27	28	29	11	24	30	33	34
$W_{\text{мін}}$, м/с	9	10	11	12	11	13	15	16,5	17,5	18

Таблиця 4.2 – Вихідні дані для розрахунків задачі 4.2

Завдання	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330
H_1 , м	5	5,4	4	5	6	5,8	6,4	6,0	6,4	6,8
$N_{\text{ед}}$, кВт	100	150	200	250	300	350	400	230	260	290
ξ	2	2	2	3	3	3	4	4	4	4
H_2 , м	4,4	4,8	3,6	4,2	5,4	5,1	5,9	5,4	5,7	6,1
Завдання	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340
H_1 , м	5,5	7,4	8	7	9	6,8	5,4	7,0	7,4	7,8
$N_{\text{ед}}$, кВт	140	190	230	280	320	300	270	290	310	330
ξ	3	3	3	4	4	4	2	2	2	2
H_2 , м	5,1	6,4	7	5,4	6,7	4,6	5,1	6,3	5,8	6,1

Таблиця 4.3 – Вихідні дані для розрахунків задачі 4.3

Завдання	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350
H_a , м	78/4	80/4	76/5	80/5	75/5	5,8	6,4	6,0	6,4	6,0
$N_{\text{ед}}$, кВт	100	150	200	50	80	250	90	180	230	120
Завдання	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360
H_a , м	74/4	76/4	78/5	85/5	65/5	6,8	7,4	8,0	8,4	7,0
$N_{\text{ед}}$, кВт	120	110	180	150	90	220	190	140	210	160

Таблиця 4.4 – Вихідні дані для розрахунків задачі 4.4

Завдання	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370
N_T , кВт	1,0	12	2,0	10	3	9	4	8	5	5,5
η_T	0,9	0,88	0,8	0,87	0,91	0,93	0,88	0,92	0,78	0,86
H , м	2	6	4	5	1,6	3	3,2	4	2,8	3,4
Завдання	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380
N_T , кВт	1,8	11	12,0	9	5	8	6	8,5	6,5	7,5
η_T	0,91	0,89	0,83	0,84	0,93	0,91	0,86	0,91	0,79	0,83
H , м	3	7	5	6	2,6	4	4,2	5	3,8	4,4

Таблиця 4.5 – Вихідні дані для розрахунків задачі 4.5

Завдання	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390
d , мм	50	60	70	80	90	80	40	90	70	60
α°	10	15	20	25	30	35	10	15	20	25
H , м	2	6	4	5	7	9	2,5	10	8	3,5
Завдання	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400
d , мм	55	65	75	85	95	85	45	95	75	65
α°	30	35	10	15	20	25	30	35	10	15
H , м	2,5	6,5	4,5	5,5	7,5	9,5	3,0	11	9	4,5

5 ПІРОЛІЗ І ГАЗИФІКАЦІЯ

Піроліз – це процес термічного розкладу органічних речовин, без доступу кисню, за відносно низької температури 500...800°C у порівнянні за газифікацією (800...1300°C) і горінням (1000...2000°C).

Первинною сировиною при цьому можуть бути: деревина, відходи біомаси, сміття, вугілля. Продуктами піролізу є: кокс (дерев'яне вугілля), гази, рідкий конденсат у вигляді смоли або олії.

Протікання піролізу різних порід деревини в однакових умовах сприяє одержанню вугілля приблизно однакової якості. Калорійність дерев'яного вугілля за температури піролізу 400...450°C складає приблизно 30 МДж/кг, зі зростанням температури піролізу кількість вуглецю збільшується. Тому дерев'яне вугілля часто використовують як цінне паливо.

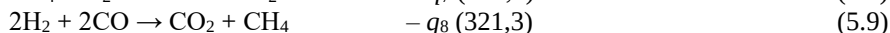
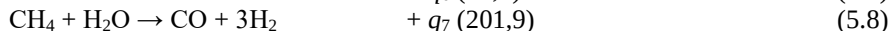
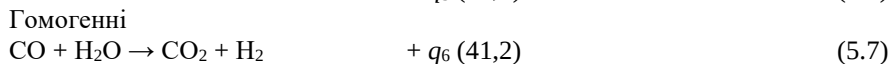
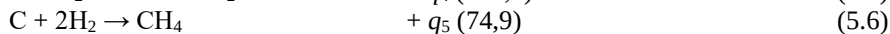
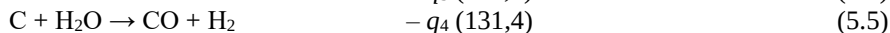
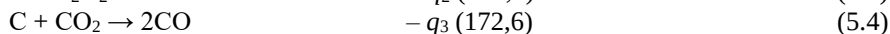
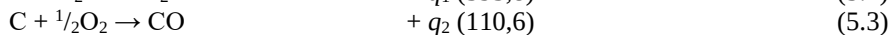
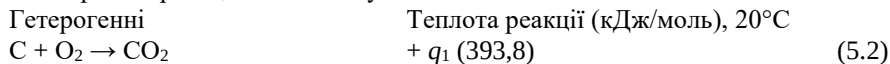
Теплотворну здатність дерев'яного вугілля можна оцінити за допомогою формули Д.І. Менделєєва:

$$Q^p_H = 339C^p + 1030H^p - 109,5(O^p - S^p) - 25W^p, \text{ кДж/кг} \quad (5.1)$$

де C^p , H^p , O^p , S^p , W^p – відповідно вміст вуглецю, водню, кисню, сірки і вологості у % відношенні до робочої маси.

Газифікація – це високотемпературний процес, в якому вуглець твердого палива в обмеженій кількості повітря або кисню перетворюється в генераторний газ.

В процесі газифікації протікають гетерогенні і гомогенні, ендотермічні і екзотермічні реакції такого типу:



Залежність об'ємного виходу газів від температури і тиску в процесі газифікації описується такими співвідношеннями:

- об'ємний вихід CO:

$$V_{CO} = 0,3025 \cdot K_p \cdot P^{-1} \pm \sqrt{(0,3025 \cdot K_p \cdot P^{-1})^2 + 0,21 \cdot K_p \cdot P^{-1}}, \quad (5.10)$$

де P – тиск газової суміші; K_p – константа рівноваги складу газової суміші, для вугілля визначається так:

$$\lg K_p = 3,2673 - 8820,69/T - 0,001208714 \cdot T + 0,153734 \cdot T^2 + 2,2954831 \cdot T^3, \quad (5.11)$$

- вихід CO_2 :

$$V_{CO_2} = 0,21 - 0,605 \cdot V_{CO}, \quad (5.12)$$

- вихід азоту:

$$V_N = 1 - V_{CO} - V_{CO_2}. \quad (5.13)$$

Маса сухих газів, які утворюються з 1 кг сухого матеріалу за одиницю часу визначається так:

$$V_{сг} = G_{ac} \cdot K_{г}, \text{ кг/год}, \quad (5.14)$$

де кількість сухого матеріалу:

$$G_{ac} = G_w \cdot \frac{100 - W^P}{100}, \quad (5.15)$$

$K_{г} = 1,3 - 1,7$ – коефіцієнт виходу газу з сухої деревини; G_w – маса вологого матеріалу; W^P – вологість цього матеріалу.

Об'ємна витрата газів:

$$V_{г} = M_{сг}/\rho_{г}, \quad (5.16)$$

де $\rho_{г}$ – густина газу, визначається за співвідношенням:

$$\rho_{г} = [44 \cdot CO_2 + 28 \cdot (CO + C_nH_m + N_2) + 36 \cdot O_2 + 2 \cdot H_2 + 16 \cdot CH_4]/2244, \quad (5.17)$$

Площа поперечного перерізу газогенератора:

$$F = G_{ac}/R, \quad (5.18)$$

де $R = 300 \dots 400 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{год}$ – інтенсивність газифікації.

Витрата повітря на газифікацію:

$$V_{\text{пов}} = (N_2/79) \cdot V_{\text{сг}}. \quad (5.19)$$

Об'єм газів визначають так:

$$V_{\text{сг}} = V_{\text{г}} + V_{\text{вп}}. \quad (5.20)$$

Калорійність газоподібного палива в кДж/м^3 визначають за співвідношенням:

$$Q_{\text{Н}}^{\text{P}} = 358 \cdot \text{CH}_4 + 640 \cdot \text{C}_2\text{H}_6 + 915 \cdot \text{C}_3\text{H}_8 + 1190 \cdot \text{C}_4\text{H}_{10} + \\ + 1465 \cdot \text{C}_5\text{H}_{12} + 126,5 \cdot \text{CO} + 107,5 \cdot \text{H}_2 + 234 \cdot \text{H}_2\text{S}. \quad (5.21)$$

В процесі практичного використання відходів деревини (генераторного газу, біогазу) як вторинних енергетичних ресурсів, застосовують калорійний еквівалент E (кг ум.п./м^3), котрий залежить від теплоти згоряння, вологості і густини деревини.

$$E = Q_{\text{Н}}^{\text{P}} \cdot \rho / 29300, \text{ кг ум.п./м}^3 \quad (5.22)$$

Перерахунок витрати з робочої маси палива $B_{\text{р}}$ в умовну $B_{\text{ум}}$ здійснюють за співвідношенням:

$$B_{\text{ум}} = B_{\text{р}} \cdot \frac{Q_{\text{Н}}^{\text{P}}}{29300} = B_{\text{р}} \cdot E. \quad (5.23)$$

Задача 5.1. Визначити калорійність деревного вугілля з N -го матеріалу, якщо середня температура в реторті $t, ^\circ\text{C}$.

Задача 5.2. Визначити як змінюється склад генераторних газів від температури $t, ^\circ\text{C}$ в газогенераторній установці, яка заповнена матеріалом (вугілля, торф, відходи деревини, солома і т.п.).

Задача 5.3. В газогенератор подають G (кг/год) відходів деревини з вологістю W . Визначити об'єм генераторних газів, які утворюються в установці за одиницю часу, якщо коефіцієнт виходу газу $K_{\text{г}}$.

Задача 5.4. Розрахувати геометричні розміри газогенератора для утилізації G_{ac} (кг/год) відходів деревини, які є абсолютно сухими. Інтенсивність газифікації R ($\text{кг/м}^2 \cdot \text{год}$). Склад генераторних газів орієнтовно є

таким: $\text{CO}_2 = 5...6\%$; $\text{CO} = 29...31\%$; $\text{N}_2 = 46...48\%$; $\text{H}_2 = 13...15\%$; $\text{CH}_4 = 2,5...3,0\%$; $\Sigma \text{C}_n\text{H}_m = 0,3...0,4\%$; $\text{O}_2 = 0...0,3\%$. Температура генераторних газів на виході з установки $t_r^\circ\text{C}$. Визначити кількість повітря, необхідного для газифікації. Коефіцієнт виходу газу $K_r = 1,7$.

Задача 5.5. Газогенератор виробляє газ орієнтовано такого складу: $\text{CO}_2 = 6...7\%$; $\text{CO} = 28...31\%$; $\text{N}_2 = 45...47,2\%$; $\text{H}_2 = 14...19\%$; $\text{CH}_4 = 2,5...4,0\%$; $\text{O}_2 = 0,2\%$. Температура газу на виході коливається у межах $75...90^\circ\text{C}$. а продуктивність газогенератора V_r ($\text{м}^3/\text{год}$). Визначити теплотворну здатність і теплову потужність генераторних газів, калорійний еквівалент і витрату повітря на газифікацію.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для розрахунків задачі 5.1

Завдання	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410
Деревина	дуб	ялина	ялиця	бук	гополя	береза	осика	ялина	дуб	осика
$t, ^\circ\text{C}$	600	500	450	500	550	600	500	650	700	750
Завдання	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420
Деревина	дуб	ялина	ялиця	бук	гополя	береза	осика	ялина	дуб	осика
$t, ^\circ\text{C}$	650	550	500	550	600	650	550	700	750	450

Таблиця 5.2 – Вихідні дані для розрахунків задачі 5.2

Завдання	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430
$t, ^\circ\text{C}$	600 – 1500	500 – 1400	450 – 1500	700 – 1600	650 – 1450	500 – 1200	700 – 1500	650 – 1300	600 – 1200	690 – 1400
Завдання	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440
$t, ^\circ\text{C}$	650 – 1550	550 – 1450	500 – 1550	750 – 1650	70 – 1500	550 – 1250	750 – 1550	650 – 1350	650 – 1250	740 – 1450

Таблиця 5.3 – Вихідні дані для розрахунків задачі 5.3

Завдання	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450
G (кг/год)	200	300	400	500	100	600	700	800	900	1000
$W, \%$	30	35	40	45	50	55	60	32	38	56
K_r	1,7	1,8	1,9	1,6	1,4	1,35	1,75	1,3	1,4	1,55
Завдання	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460
G (кг/год)	250	350	450	550	150	650	750	850	950	1050
$W, \%$	33	38	44	49	57	52	64	36	30	53
K_r	1,75	1,85	1,95	1,65	1,45	1,3	1,7	1,36	1,44	1,52

Таблиця 5.4 – Вихідні дані для розрахунків задачі 5.4

Завдання	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470
G_{ac} (кг/год)	200	300	400	500	100	600	700	800	900	1000
R (кг/м ² год)	370	340	360	380	400	310	330	350	370	390
t_r °C	70	72	74	76	78	80	82	84	73	76
Завдання	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480
G_{ac} (кг/год)	250	350	450	550	150	650	750	850	950	1050
R (кг/м ² год)	360	330	350	370	390	300	320	340	360	380
t_r °C	71	73	75	77	79	81	83	85	74	77

Таблиця 5.5 – Вихідні дані для розрахунків задачі 5.5

Завдання	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490
V_r (м ³ /год)	2000	3000	4000	5000	1000	1600	2700	800	500	900
Завдання	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500
V_r (м ³ /год)	2500	3500	4500	5500	1500	2100	3200	1200	1400	1700

6 РОЗРАХУНОК БІОГАЗОГЕНЕРАТОРНИХ УСТАВ

Продуктивність біогазової установки визначають так:

$$V_{\bar{o}} = B_{\text{ек}} \cdot a \cdot \vartheta \cdot K, \quad (6.1)$$

де a – кількість органічних речовин, %; ϑ – вихід біогазу на 1 кг органічної речовини. Орієнтовані значення ϑ : для великої рогатої худоби – 0,24...0,3 м³/кг; для свиней – 0,4...0,45 м³/кг; для птиці – 0,6 м³/кг; K – коефіцієнт бродіння (0,4 – 0,3); $B_{\text{ек}}$ – кількість екскрементів за добу:

$$B_{\text{ек}} = n_1 \cdot b_1 + n_2 \cdot b_2, \quad (6.2)$$

де n_1, n_2 – кількість тварин різного виду; b_1, b_2 – питомий вихід екскрементів на одну тварину різного виду.

Для розрахунку добового виходу біогазу використовують універсальне співвідношення Чена і Хошіміто, котре враховує тип біомаси і операційні характеристики метантенка:

$$V_{\bar{o}} = \frac{(\vartheta_{\text{гр}} \cdot K_{\text{ор.р}})}{\tau} \cdot \left(1 - \frac{K}{(\tau \cdot w_{\text{max}} - 1 + K)} \right), \quad (6.3)$$

де $V_{\bar{o}}$ – добовий вихід метану СН₄ (м³ за добу з 1 м³ реактора); $\vartheta_{\text{гр}}$ – граничний вихід метану за добу (м³ за добу з 1 м³ органічної речовини):

- для гною великої рогатої худоби 0,2±0,05;
- для свинячого гною 0,5±0,05;

$K_{\text{ор.р}}$ – концентрація органічних речовин на виході, м³/кг; τ – час повного обміну речовини в реакторі, год; K – кінематичний коефіцієнт:

- для гною великої рогатої худоби $K = 0,8 + 0,001e^{0,06S}$;
- для свинячого гною $K = 0,5 + 0,0043e^{0,091S}$;

w_{max} – максимальна швидкість росту мікроорганізмів (доба⁻¹), яка залежить від температури бродіння $T_{\text{ф}}$: $w_{\text{max}} = 0,013 \cdot T_{\text{ф}} - 0,129$.

Об'єм метантенка:

$$V_{\text{м}} = \tau \cdot V_{\text{р}} \cdot K_3, \quad (6.4)$$

де $V_{\text{р}}$ – об'єм рідкої маси екскрементів, які подають в установку за добу; K_3 – коефіцієнт. Який враховує поправку на об'єм біогазу.

Рівняння теплового балансу метантенка:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4, \quad (6.5)$$

де Q – кількість тепла, виробленого з біогазу протягом доби:

$$Q = V_6 \cdot Q^C_H. \quad (6.6)$$

V_6 – кількість біогазу, який утворюється на протязі доби; Q^C_H – теплотворна здатність біогазу, кДж/м^3 ; Q_1 – кількість теплоти, яка необхідна для підігрівання органічних речовин в об'ємі добової продуктивності установки:

$$Q_1 = B_{\text{ек}} \cdot C_p \cdot \Delta t \cdot (t_k - t_n), \text{ МДж/добу}, \quad (6.7)$$

Q_2 – витрати теплоти через поверхню реактора; Q_3 – кількість теплоти, яка еквівалента спожитій електричній енергії; Q_4 – кількість теплоти, яка еквівалентна енергії затраченій на перемішування органічних речовин в метантенку.

Задача 6.1. Розрахувати продуктивність біогазової устави V_6 , якщо в господарстві є n_1 тварин великої рогатої худоби і n_2 свиней. Тривалість бродіння τ діб, температура ферментації $t, ^\circ\text{C}$.

Задача 6.2. Визначити об'єм газу з біогазогенератора внаслідок утилізації гною з n корів. Тривалість циклу бродіння τ_6 , температура t_ϕ , надходження сухого бродильного матеріалу від однієї корови складає $m_0 = 2$ кг/добу. Вихід біогазу $\vartheta = 0,24$ $\text{м}^3/\text{кг}$, вміст CH_4 в біогазі 0,78. Розрахувати потужність біогазогенератора.

Задача 6.3. Визначити розміри метантенка (об'єм, діаметр і висоту) для анаеробного процесу перероблення екскрементів $B_{\text{ек}}$ (кг/добу). Тривалість ферментації τ_{6p} (діб).

Задача 6.4. Біогазогенераторна устава об'ємом V переробляє с/г відходи (гній великої рогатої худоби). Технологічні параметри анаеробного процесу: температура ферментації t_ϕ , тривалість повного обміну біомаси τ_{6p} . Визначити продуктивність устави з біогазу за добу.

Задача 6.5. розрахувати об'єм біогазу V_6 , отриманого за допомогою біогазогенератора на утилізованому ним гної від n корів та його енергетичну потужність. Час циклу зброджування становить τ_r , діб, температура $t, ^\circ\text{C}$, подача сухого зброджуваного матеріалу від однієї тварини здійснюється зі швидкістю $V_k = 2$ кг/добу, вихід біогазу складає $\vartheta = 0,34$ $\text{м}^3/\text{кг}$, ефективність пального пристрою $\eta = 0,6$, вміст метану в отриманому біогазі складає 0,8.

Таблиця 6.1 – Вихідні дані для розрахунків задачі 6.1

Завдання	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510
n_1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
n_2	10	12	14	16	18	20	22	24	26	30
τ , діб	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
t , °C	10	15	20	25	30	20	25	30	10	15
Завдання	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520
n_1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
n_2	11	13	15	17	18	21	23	25	27	31
τ , діб	33	35	37	39	41	43	45	47	49	51
t , °C	12	17	22	27	32	22	27	32	12	17

Таблиця 6.2 – Вихідні дані для розрахунків задачі 5.2

Завдання	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530
n	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
$t_{\text{ф}}$, °C	36	38	40	42	44	46	48	50	34	32
τ_6 , діб	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9
Завдання	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540
n	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
$t_{\text{ф}}$, °C	35	37	39	41	43	45	47	49	33	31
τ_6 , діб	10	10	5	5	6	6	7	7	8	8

Таблиця 6.3 – Вихідні дані для розрахунків задачі 6.3

Завдання	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550
$B_{\text{ек}}$, кг/добу	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320
$\tau_{\text{бр}}$, діб	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Завдання	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560
$B_{\text{ек}}$, кг/добу	150	170	190	210	230	250	270	290	310	330
$\tau_{\text{бр}}$, діб	15	16	17	18	19	20	5	6	7	8

Таблиця 6.4 – Вихідні дані для розрахунків задачі 6.4

Завдання	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570
$V_{\text{м}}$, м ³	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25
$t_{\text{ф}}$, C	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
$\tau_{\text{бр}}$, діб	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Завдання	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580
$V_{\text{м}}$, м ³	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
$t_{\text{ф}}$, C	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36
$\tau_{\text{бр}}$, діб	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

Таблиця 6.5 – Вихідні дані для розрахунків задачі 6.5

Завдання	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590
n	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
$t, ^\circ\text{C}$	36	38	40	42	44	46	48	50	34	32
$\tau_r, \text{діб}$	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9
Завдання	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600
n	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
$t, ^\circ\text{C}$	35	37	39	41	43	45	47	49	33	31
$\tau_r, \text{діб}$	10	10	5	5	6	6	7	7	8	8

7 ЗАВДАННЯ ДО КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

Таблиця 7.1 – Вибір варіантів та завдань

Вар	Завдання	Вар	Завдання
00	1,101,201,301,401,501,	25	26,126,226,326,426,526,
01	2,102,202,302,402,502,	26	27,127,227,327,427,527,
02	3,103,203,303,403,503,	27	28,128,228,328,428,528,
03	4,104,204,304,404,504,	28	29,129,229,329,429,529,
04	5,105,205,305,405,505,	29	30,130,230,330,430,530,
05	6,106,206,306,406,506,	30	31,131,231,331,431,531,
06	7,107,207,307,407,507,	31	32,132,232,332,432,532,
07	8,108,208,308,408,508,	32	33,133,233,333,433,533,
08	9,109,209,309,409,509,	33	34,134,234,334,434,534,
09	10,110,210,310,410,510,	34	35,135,235,335,435,535,
10	11,111,211,311,411,511,	35	36,136,236,336,436,536,
11	12,112,212,312,412,512,	36	37,137,237,337,437,537,
12	13,113,213,313,413,513,	37	38,138,238,338,438,538,
13	14,114,214,314,414,514,	38	39,139,239,339,439,539,
14	15,115,215,315,415,515,	39	40,140,240,340,440,540,
15	16,116,216,316,416,516,	40	41,141,241,341,441,541,
16	17,117,217,317,417,517,	41	42,142,242,342,442,542,
17	18,118,218,318,418,518,	42	43,143,243,343,443,543,
18	19,119,219,319,419,519,	43	44,144,244,344,444,544,
19	20,210,220,320,420,520,	44	45,145,245,345,445,545,
20	21,211,221,321,421,521,	45	46,146,246,346,446,546,
21	22,212,222,322,422,522,	46	47,147,247,347,447,547,
22	23,213,223,323,423,523,	47	48,148,248,348,448,548,
23	24,214,224,324,424,524,	48	49,149,249,349,449,549,
24	25,215,225,325,425,525,	49	50,150,250,350,450,550,

Продовження табл.7.1

Вар	Завдання	Вар	Завдання
50	50,150,250,350,450,550,	75	76,176,276,376,476,576,
51	51,151,251,351,451,551,	76	77,177,277,377,477,577,
52	53,153,253,353,453,553,	77	78,178,278,378,478,578,
53	54,154,254,354,454,554,	78	79,179,279,379,479,579,
54	55,155,255,355,455,555,	79	80,180,280,380,480,580,
55	56,156,256,356,456,556,	80	81,181,281,381,481,581,
56	57,157,257,357,457,557,	81	82,182,282,382,482,582,
57	58,158,258,358,458,558,	82	83,183,283,383,483,583,
58	59,159,259,359,459,559,	83	84,184,284,384,484,584,
59	60,160,260,360,460,560,	84	85,185,285,385,485,585,
60	61,161,261,361,461,561,	85	86,186,286,386,486,586,
61	62,162,262,362,462,562,	86	87,187,287,387,487,587,
62	63,163,263,363,463,563,	87	88,188,288,388,488,588,
63	64,164,264,364,464,564,	88	89,189,289,389,489,589,
64	65,165,265,365,465,565,	89	90,190,290,390,490,590,
65	66,166,266,366,466,566,	90	91,191,291,391,491,591,
66	67,167,267,367,467,567,	91	92,192,292,392,492,592,
67	68,168,268,368,468,568,	92	93,193,293,393,493,593,
68	69,169,269,369,469,569,	93	94,194,294,394,494,594,
69	70,170,270,370,470,570,	94	95,195,295,395,495,595,
70	71,171,271,371,471,571,	95	96,196,296,396,496,596,
71	72,172,272,372,472,572,	96	97,197,297,397,497,597,
72	73,173,273,373,473,573,	97	98,198,298,398,498,598,
73	74,174,274,374,474,574,	98	99,199,299,399,499,599,
74	75,175,275,375,475,575,	99	100,200,300,400,500,600,

Примітка: *приклад визначення варіанту:* номер з/кн №234652 за варіантом 52 розв'язати завдання під номером 53, 153, 253, 353, 453, 553 за табл.1.1 –1.5, 2.1 –2.5, 3.1 – 3.5, 4.1 – 4.5, 5.1 – 5.5, 6.1 – 6.5.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дудюк, Д. Нетрадиційні (відновні) джерела енергії [навч.посібн] / Д. Дудюк, С. Мазепа. – Львів: РВВ УкрДЛТУ. – 2004. – 68 с.
2. Твайделл, Дж. Возобновляемые источники энергии [пер с англ.] / Дж. Тваделл, А. Уэйр. – М.: Энергоатомиздат. – 1990. – 390 с.
3. Ахметов, Р.Б. Перспективы использования нетрадиционных источников энергии / Р.Б. Ахметов. – М.: Информэнерго. – 1985. – 60 с.
4. Ветроэнергетика. Новейшие разработки / под ред. Д. де Рензо. – М.: Энергоатомиздат. – 1984. – 110 с.
5. Щербина, О.М. Енергія для всіх [техн.довідник] / О.М. Щербина. – Ужгород. – 2000. – 80 с.
6. Гаджиев, А.Г. Геотермальное теплоснабжение / А.Г. Гаджиев, Ю.И. Султанов, П.Н. Ригер. – М.: Энергоатомиздат. – 1984. – 110 с.
7. Кробков, В.А. Преобразование энергии океана / В.А. Кробков. – Л.: Судостроение. – 1986. – 120 с.
8. Берштейн, Л.Б. Приливные электростанции / Л.Б. Бернштейн, В.Н. Силаков, Б.Л. Эрихман. – М.: Энергоатомиздат. – 1986. – 90 с.
9. Ярымбаш Д.С. Особенности идентификации интенсивности солнечной радиации при проектировании солнечных электростанций / Д. С. Ярымбаш, Ю.В. Даус // Електротехніка та електроенергетика. - 2014 - № 1 - С. 74-78.
10. Ярымбаш Д.С. Повышение эффективности использования фотопанелей на солнечных электростанциях / Д. С. Ярымбаш, Ю. В. Даус // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. - 2015. - № 1. - С. 22-28
11. Голубенко Н.Г. Моделирование электромеханической системы ВЭУ с аэродинамическим мультипликатором в режиме стабилизации скорости ветротурбин / Н. Г. Голубенко, П. Д. Андриенко, Д. Г. Алексеевский, И. Ю. Немудрый // Електротехніка та електроенергетика. - 2011. - № 1. - С. 64-69.
12. Дзензерский В.А. Принципы построения гибридных ветро-солнечных энергоустановок / В.А. Дзензерский, Н.Е. Житник, С.В. Плаксин, Л.М. Погорелая // Електротехніка та електроенергетика. – 2007-№1 - С. 67-72.
13. Алексеевский Д. Г. Анализ режимов работы ветроэлектрической установки с аэродинамической мультипликацией / Д. Г. Алексеевский, П. Д. Андриенко, В. П. Метельский, И. Ю. Немудрый // Електротехніка та електроенергетика. - 2012. - № 1. - С. 69-72.
14. Олейников А.М. Математическая модель автономной безредукторной ветроэлектрической установки на генераторе с постоянными магнитами / Олейников А.М., Канов Л.Н., Матвеев Ю. В., Зарицкая Е.И. // Електротехніка та електроенергетика. - 2010. - № 2. - С. 62-67.

Додаток А Довідникові дані

Таблиця А.1 – Щоденне надходження сумарної E , розсіяної сонячної енергії (МДж/м^2) та температури повітря ($^{\circ}\text{C}$) у відповідному місяці року для місцевості північної широти

Показник	Місяці рік											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Північна широта 47°												
E	4,05	6,26	10,8	15,84	20,25	23,07	23,62	20,11	14,73	9,18	4,03	2,7
$E_p, ^{\circ}\text{C}$	2,56	3,87	5,8	8,48	9,18	10	9,04	7,83	5,98	4,32	2,36	1,8
$t, ^{\circ}\text{C}$	-4,5	-2,6	2,5	9,3	15,6	19,2	21,4	20,5	15,7	10	3,9	-1
Північна широта 48°												
E	3,75	5,92	10,49	15,21	19,73	22,54	22,83	19,21	14,06	8,43	3,68	2,5
$E_p, ^{\circ}\text{C}$	2,48	3,75	5,7	8,18	9,18	10,0	9,22	7,8	5,94	4,28	2,27	1,75
$t, ^{\circ}\text{C}$	-4,5	-2,4	2,2	9,0	15,5	19,0	21,0	20,0	15,6	9,9	3,8	-1,0
Північна широта 49°												
E	3,45	5,87	10,12	14,52	19,21	22,22	21,41	18,24	13,29	7,81	3,31	2,33
$E_p, ^{\circ}\text{C}$	2,38	3,61	5,61	7,82	9,18	10,0	9,35	7,74	5,9	4,15	2,18	1,7
$t, ^{\circ}\text{C}$	-5,5	-3,69	2,25	9,2	15,3	18,9	20,9	19,8	15,5	9,9	3,7	-0,8
Північна широта 50°												
E	3,1	5,36	9,72	13,9	18,76	21,82	2,52	17,28	12,65	7,29	2,92	2,16
$E_p, ^{\circ}\text{C}$	2,29	3,43	5,53	7,51	9,18	10	9,45	7,69	5,84	3,91	2,08	1,62
$t, ^{\circ}\text{C}$	-6,1	-5,6	-0,7	7,2	14,3	17,6	18,8	17,7	13,7	7,2	1,0	-3,7

Таблиця А.2–Насипна густина подрібненої деревини з вологістю 3–5%

Сортимент подрібненої деревини	Насипна густина, $\rho_n, \text{кг/м}^3$
Тріска після переробки крупної деревини	250 – 315
Тріска після переробки горбулів і рейок	200 – 250
Подрібнені частинки, отримані в молотковій дробарці довга / середня / коротка	140 / 170 / 200
Тирса	120 – 140
Стружка, отримана від обробки деревини на верстатах	90
Деревинний порошок	200 – 250

Таблиця А.3 – Поправочний коефіцієнт α для будинків

Середня температура найбільш холодних 5-ти днів	-10	-15	-20	-25	-30
Поправочний коефіцієнт	1,45	1,29	1,17	1,08	1,0

Таблиця А.4 – Середньомісячні значення K_{np} для сонячних колекторів південної орієнтації з різними кутами їх нахилу до горизонту

Кут нахилу колектору $\beta, ^\circ$	Місяці року											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Північна широта 45°												
30	2,14	1,71	1,42	1,19	1,07	1,02	1,04	1,13	1,30	1,56	1,86	2,31
45	2,86	1,99	1,49	1,17	1,00	0,92	0,95	1,08	1,33	1,74	2,27	3,27
60	3,13	2,07	1,45	1,09	0,89	0,80	0,84	0,99	1,26	1,76	2,66	3,64
Північна широта 48°												
30	2,21	1,72	1,49	1,21	1,08	1,05	1,06	1,15	1,32	1,59	1,86	2,34
45	2,95	2,05	1,53	1,19	1,07	0,95	0,99	1,11	1,38	1,78	2,27	3,29
60	3,19	2,11	1,49	1,12	0,93	0,86	0,88	1,05	1,31	1,8	2,71	3,67
Північна широта 49°												
30	2,25	1,76	1,52	1,26	1,09	1,07	1,08	1,17	1,35	1,61	1,88	2,35
45	3,00	2,09	1,57	1,22	1,11	0,99	1,03	1,14	1,4	1,72	2,28	3,32
60	3,2	2,13	1,51	1,15	0,95	0,88	0,91	1,07	1,34	1,83	2,73	3,69
Північна широта 50°												
35	2,29	1,81	1,55	1,29	1,11	1,09	1,1	1,2	1,38	1,65	1,9	2,38

Таблиця А.5 – Фізичні параметри сухого повітря для тиску 760 мм. рт. ст.

T, K	t, °C	ρ , кг/м ³	C_p , кДж/кг·K	$\lambda \cdot 10^{-2}$, Вт/м·K	$\alpha \cdot 10^{-5}$, м ² /с	$\mu \cdot 10^{-6}$	$\nu \cdot 10^{-6}$, м ² /с	Pr
253	-20	1,395	1,009	2,28	1,620	16,19	12,79	0,716
263	-10	1,342	1,009	2,36	1,745	16,68	12,43	0,712
273	0	1,293	1,005	2,44	1,881	17,17	13,28	0,707
283	10	1,247	1,005	2,51	2,006	17,66	14,16	0,705
293	20	1,205	1,005	2,59	2,142	18,15	15,06	0,703
303	30	1,165	1,005	2,67	2,286	18,64	16,00	0,701
313	40	1,128	1,005	2,76	2,431	19,13	16,96	0,699
323	50	1,093	1,005	2,83	2,572	19,62	17,95	0,698
333	60	1,060	1,005	2,90	2,720	20,11	18,97	0,696
343	70	1,029	1,009	2,97	2,856	20,60	20,02	0,694
353	80	1,000	1,009	3,05	2,020	21,09	21,09	0,692
363	90	0,972	1,009	3,13	2,189	21,48	22,10	0,690
373	100	0,946	1,009	3,21	3,364	21,88	23,13	0,688

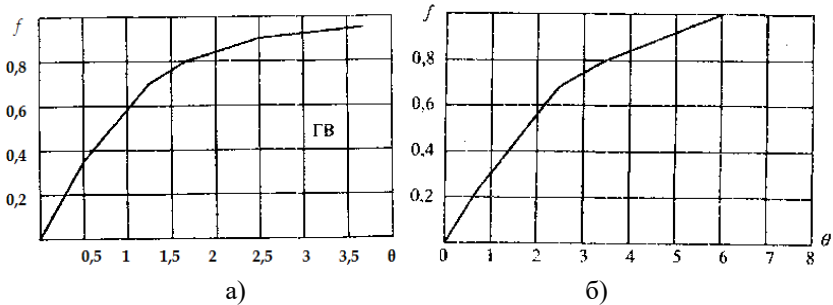


Рисунок А.1 – Залежність коефіцієнта покриття f теплового навантаження від θ

Таблиця А.6 – Питомі теплові характеристики будинків, q_0 [Вт/(м·К)] (для розрахункової зовнішньої температури -30°C)

Будинок	Об'єм будинку, тис. м ³				
	3	5	10	15	20
1. Житловий, включаючи готель і гуртожиток	0,49	0,44	0,39	0,36	0,34
2. Адміністративний	—	0,50	0,44	0,41	0,37
3. Школа	—	0,46	0,41	0,38	—
4. Лікарня	—	0,47	0,42	0,37	0,35

Таблиця А.7 – Характеристики приймачів сонячного випромінювання

Поверхня	Скляне накриття	R , м ² ·К·Вт ⁻¹	t_p , °C
Чорна	Немає	0,031	40
	Один шар	0,13	95
	Два шари	0,22	140
Селективна	Один шар	0,40	240
	Два шари	0,45	270
	Вакуумована трубка	0,48	160

Таблиця А.8 – Значення схилення у різні дні року

n	17	47	75	105	135	162	198	228	258	288	318	344
δ_0 , °	-22,9	-13	-2,4	9,4	18,8	23,1	21,2	13,5	2,2	-9,6	-18,9	-23

Таблиця А.9 – Інтенсивність розсіяної сонячної радіації

h , °	10	20	30	40	50	60	70
E_{pg} , Вт/м ²	31,4	43,1	52,4	60,5	65,2	67,5	68,6

Таблиця А.10 – Елементний склад деревини і деревного вугілля різних порід

Назва породи	С, %	Н, %	(О + N), %
Ялина / Деревне вугілля з неї	52,1 / 80,8	5,9 / 3,9	39,3 / 14,7
Береза / Деревне вугілля з неї	57,6 / 81,4	6,7 / 4,1	34,6 / 15,3
Осика / Деревне вугілля з неї	52,2 / 81,2	6,02 / 4,02	39,1 / 14,6
Ялиця / Деревне вугілля з неї	53,4 / 80,9	5,9 / 3,95	35,8 / 14,8

Таблиця А.11 – Середньодобовий вихід екскрементів на підпр-вах ВРХ

Тварини	Вихід екскрементів, кг/добу		
	Всього	кал	сеча
Бики	40	30	10
Корови	55	35	20
Молодняк на від кормлені віком: до 4 міс	7,5	5	2,5
4 – 6 міс	14,0	10	4
6 – 16 міс	26,0	14	12
старші 12 міс	35,0	23	12
Свині	15,0	11	4

Таблиця А.12 – Склад екскрементів тварин (в % до сухої речовини)

Компоненти	Екскременти			
	ВРХ	дійні корови	свині	кури
Органічні речовини	77 – 85	77 – 85	77 – 84	76 – 77
Азот	2,3 – 4,0	1,9 – 6,5	4,0 – 10,3	2,3 – 5,7
Фосфор	0,4 – 1,1	0,2 – 0,7	1,9 – 2,5	1,0 – 2,7
Калій	1,0 – 2,0	2,4	1,4 – 3,1	1,0 – 2,9
Кальцій	0,6 – 1,4	2,3 – 2,9	-	5,6 – 11,6
Магній	0,5 – 0,6	-	-	0,9 – 1,1
С : N	9 – 15	9 – 15	9 – 15	9 – 15
Сира клітчатка	-	27,6 – 50,3	19,5 – 21,4	13 – 17,8
Сирий жир	-	2,9 – 4,3	3,5 – 4,0	2,4 – 5,0
Сирий протеїн	-	9,3 – 20,7	16,4 – 21,5	20,5 – 42,1
Лігнін	16 – 30	16 – 30	-	9,6 – 14,3