

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ ТА ДОВКІЛЛЯ

Методичні вказівки
до виконання лабораторно-практичних робіт

СУМИ – 2022

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

**ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ ТА
ДОВКІЛЛЯ**

**методичні вказівки
до виконання лабораторно-практичних робіт**

**для студентів інженерно-технологічного факультету
зі спеціальності: «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
денної та заочної форм навчання**

Суми -2022

ББК 40.721
К17

Укладачі: к.т.н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем – Барсукова Г.В.

Джерела енергії та довкілля. Методичні вказівки до виконання лабораторно-практичних робіт для студентів бакалаврів інженерно-технологічного факультету зі спеціальності: «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Суми: Сумський національний аграрний університет, 2022. 52 с.

У методичних вказівках приведені докладні розв'язки типових задач по використанню традиційних джерел енергії, а також розрахунки ефективності впровадження різного роду відновлюваних джерел енергії: геотермальної, сонячної, енергії вітру, океанських течій, біопалива. Наведено кількісно-якісну оцінку впливу ПЕКу та визначено екологічну небезпеку від забруднення повітря шкідливими речовинами, а також розрахунок плати за забруднення атмосферного повітря стаціонарними джерелами забруднення. Визначено дози радіоактивного опромінювання на АЕС.

Рецензенти:

Василенко О.О. – к.т.н., доцент кафедри охорони праці та фізики.

Лобода - к.фіз.-мат.н., професор кафедри «Енергетики та електротехнічних систем».

Відповідальний за випуск: к.т.н., доцент, завідувач кафедри «Енергетики та електротехнічних систем» - Чепіжний А.В.

Рекомендовано до видання методичною радою інженерно-технологічного факультету

протокол № 3 від 28 листопада 2022 року

© Сумський національний аграрний університет, 2022

ЗМІСТ

Лб.1	Визначення екологічної небезпеки від забруднення повітря шкідливими речовинами.	5
Лб.2	Кількісна та якісна оцінка впливу ПЕКу на атмосферу. Ч.1.	7
Лб.3	Кількісна та якісна оцінка впливу ПЕКу на атмосферу. Ч.2.	7
Лб.4	Визначення категорії небезпечності промислових підприємств та комплексного індексу забруднення атмосфери	13
Лб.5	Розрахунок кінетичної енергії вітрового потоку.	16
Лб.6	Розрахунок енергетичного потенціалу приливної енергії океанічного басейну.	19
Лб.7	Визначення дози радіоактивного опромінювання на АЕС.	20
Лб.8	Обчислення плати за забруднення атмосферного повітря стаціонарними джерелами забруднення	22
Пз.1	Оцінка енергетичного потенціалу нетрадиційних джерел енергії на території України.	25
Пз.2	Паливо та його склад.	28
Пз.3	Паливо та його горіння.	31
Пз.4	Паливо та теплота його згорання.	34
Пз.5	Розрахунок параметрів сонячної електростанції баштового типу.	36
Пз.6	Розрахунок біогазогенераторів.	38
Пз.7	Розрахунок потужності геотермальної електростанції.	40
	Перелік посилань	43
	Додаток	44

Лабораторна робота № 1

Тема: Визначення екологічної небезпеки від забруднення повітря шкідливими речовинами.

Мета: виявлення небезпеки від сумарної дії шкідливих речовин, а також допустиму концентрацію оксиду вуглецю в повітрі селітебної зони за умов сумарної дії його з оксидом сірки та сірководнем.

Методичні вказівки до виконання

1. Розв'язати задачі 1 та 2 згідно варіантів.
2. Зробити відповідні висновки.

Теоретичні відомості

Важливими величинами, які характеризують вплив шкідливих речовин на живі організми є гранично допустимі концентрації (ГДК) цих речовин у повітрі.

Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі бувають трьох видів: максимальна разова $ГДК_{мр}$; середньодобова $ГДК_{сд}$; робочої зони $ГДК_{рз}$.

Ці величини мають різну мету. Максимальна разова і середньодобова гранично допустимі концентрації встановлюються для населених міст і при їх встановленні враховують стан здоров'я людей, які піддаються дії шкідливих речовин, та тривалість дії забруднюючих речовин на організм людей, а гранично допустима концентрація робочої зони — для робочих зон.

При одночасній присутності в атмосферному повітрі декількох забруднюючих речовин, їх допустима концентрація визначається з врахуванням характеру можливого впливу на організм людини. Якщо ці речовини мають різнонаправлену дію, концентрація їх не повинна перевищувати $ГДК_{мр}$ або $ГДК_{сд}$. Якщо ці речовини мають однонаправлену дію, їх сумарна допустима концентрація повинна відповідати умові:

$$\sum_{i=1}^n \frac{c_i}{ГДК_{и}} \leq 1, \quad (1)$$

де: c_i — фактичні концентрації забруднюючої речовини в атмосферному повітрі, $мг/м^3$;

$ГДК_i$ — гранично допустима концентрація цих речовин в атмосферному повітрі, $мг/м^3$.

Задача 1. В атмосферному повітрі населеного пункту виявлено забруднення повітря оксидом сірки (SO_2), оксидом азоту (NO_2) та оксидом вуглецю (CO). Забруднювачі мають однонаправлену дію.

- концентрація SO_2 в повітрі житлової зони становить $0,025 \text{ мг/м}^3$;
- NO_2 — $0,0069 \text{ мг/м}^3$;
- CO — $0,863 \text{ мг/м}^3$.

ГДК двооксиду сульфуру становить $0,05 \text{ мг/м}^3$, двооксиду нітрогену — $0,04 \text{ мг/м}^3$ та оксиду вуглецю — 3 мг/м^3 .

Вихідні дані для виконання розрахунків задачі 1 брати з таблиці 1.

Таблиця 1. Вихідні дані для виконання розрахунків задачі 1.

№ вар.	Концентрація забруднюючої речовини, $мг/м^3$			№ вар.	Концентрація забруднюючої речовини, $мг/м^3$		
	SO_2	NO_2	CO		SO_2	NO_2	CO
1	0,010	0,0025	1,80	16	0,091	0,0028	0,86
2	0,020	0,0032	2,10	17	0,080	0,0026	1,57

3	0,030	0,0032	0,65	18	0,350	0,0059	2,37
4	0,040	0,0056	0,70	19	0,560	0,0054	1,67
5	0,015	0,0028	1,60	20	0,050	0,0011	0,97
6	0,100	0,0026	3,10	21	0,072	0,0026	0,90
7	0,060	0,0059	2,07	22	0,056	0,0078	2,07
8	0,025	0,0054	0,97	23	0,010	0,0089	0,86
9	0,090	0,0011	1,43	24	0,020	0,0045	1,60
10	0,080	0,0026	2,06	25	0,030	0,0069	0,56
11	0,300	0,0028	1,25	26	0,040	0,0088	1,59
12	0,500	0,0078	2,35	27	0,015	0,0077	2,46
13	0,050	0,0089	1,11	28	0,150	0,0021	1,57
14	0,070	0,0045	2,40	29	0,060	0,0099	0,62
15	0,056	0,0069	1,23	30	0,025	0,0025	0,71

Розв'язок. На підставі формули (1) визначаємо чи є небезпека від забруднення повітря населеного пункту забруднюючими речовинами:

$$\sum_{i=1}^n \frac{c_i}{ГДК_i} = \frac{0,025}{0,05} + \frac{0,0069}{0,04} + \frac{0,863}{3} = 0,957 \text{ мг/м}^3.$$

Висновок. З проведених розрахунків видно, що з врахуванням сумарної дії декількох шкідливих компонентів в повітрі населеного пункту небезпека від їх дії не існує.

Задача 2. Визначити допустиму концентрацію оксиду вуглецю в повітрі селітебної зони за умов сумарної дії його з оксидом сірки та сірководнем:

- концентрація оксиду сірки в повітрі житлової зони становить $0,015 \text{ мг/м}^3$;
- концентрація сірководню $0,002 \text{ мг/м}^3$.

Вихідні дані для виконання розрахунків задачі 2 брати з таблиці 2.

Таблиця 2. Вихідні дані для виконання розрахунків задачі 2.

№ вар.	Концентрація забруднюючої речовини, мг/м ³		№ вар.	Концентрація забруднюючої речовини, мг/м ³	
	SO ₂	H ₂ S		SO ₂	H ₂ S
1	0,010	0,0025	16	0,910	0,0028
2	0,020	0,0032	17	0,080	0,0026
3	0,030	0,0032	18	0,350	0,0059
4	0,040	0,0056	19	0,560	0,0054
5	0,015	0,0028	20	0,050	0,0011
6	0,100	0,0026	21	0,072	0,0026
7	0,060	0,0059	22	0,056	0,0078
8	0,025	0,0054	23	0,010	0,0089
9	0,090	0,0011	24	0,020	0,0045
10	0,080	0,0026	25	0,030	0,0069
11	0,300	0,0028	26	0,040	0,0088
12	0,500	0,0078	27	0,015	0,0077
13	0,050	0,0089	28	0,150	0,0021
14	0,070	0,0045	29	0,060	0,0099
15	0,056	0,0069	30	0,025	0,0025

Примітка: ГДК_{ср} для SO₂ і H₂S становить відповідно $0,05 \text{ мг/м}^3$ та $0,005 \text{ мг/м}^3$.

Розв'язок. На підставі формули (1) допустима концентрація оксиду вуглецю в атмосферному повітрі буде дорівнювати :

$$C_{co} = \left[1 - \left(\frac{C_{SO_2}}{ГДК_{cd_{SO_2}}} + \frac{C_{H_2S}}{ГДК_{cd_{H_2S}}} \right) \right] \cdot ГДК_{cd_{CO}} \quad (2)$$

Визначаємо допустиму концентрацію оксиду вуглецю у повітрі житлової зони за формулою (2):

$$C_{CO} = \left[1 - \frac{0,015}{0,05} - \frac{0,002}{0,05} \right] \cdot 3 = 0,9 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}.$$

Висновок. З проведених розрахунків видно, що з врахуванням сумарної дії декількох шкідливих компонентів повітря, концентрація оксиду вуглецю не повинна перевищувати $0,9 \text{ мг/м}^{-3}$, що значно нижче за його $ГДК_{cd}$.

Лабораторна робота № 2, 3

Тема: Кількісна та якісна оцінка впливу паливно-енергетичного комплексу на атмосферу. Ч.1., Ч.2.

Мета: навчитися розраховувати гранично допустимі викиди (ГДВ) забруднюючих речовин для високо нагрітого одиночного джерела та максимальної концентрації забруднюючої речовини на i -тої відстані, а також визначати розміри санітарно-захисної зони ТЕС.

Методичні вказівки до виконання

1. Розв'язати задачі 1, 2 та 3 згідно вибраного варіанту.
2. Зробити відповідні висновки.

Теоретичні відомості

Відповідно до Закону “Про охорону атмосферного повітря”, з метою обмеження техногенної дії на атмосферу, в якості охоронного заходу, поряд з ГДК, передбачають регулювання і кількісне обмеження викидів в атмосферу. Реалізація цього положення Закону здійснюється нормуванням гранично допустимим викидом забруднюючих речовин стаціонарними і пересувними джерелами забруднення.

ГДВ встановлюється для кожного джерела забруднення атмосфери (і для кожного інгредієнту, який надходить до атмосфери з цього джерела), таким чином, що викиди шкідливих речовин від даного джерела та від сукупності джерел усього населеного пункту з урахуванням перспектив розвитку інфраструктури промислових підприємств і розсіювання шкідливих речовин в атмосфері не створюють приземну концентрацію, яка перевищувала б їх $ГДК_{мр}$ (гранично допустима концентрація максимально разова). Основні значення ГДВ – максимальні разові, встановлюються за умови повного навантаження як технологічного, так і газоочисного обладнання та їх нормальної роботи, і не повинні перевищуватись в будь-який довільний 20-хвилинний період часу.

Поряд з максимальними разовими (контрольними) значеннями ГДВ ($г \cdot с^{-1}$) встановлюють похідні від них річні значення $ГДВ_r$ ($г \cdot рік^{-1}$), для окремих джерел і для підприємства в цілому з урахуванням нерівномірності викидів у часі, в тому числі з огляду на планові ремонти технологічного та газоочисного обладнання. ГДВ для кожного стаціонарного джерела (відповідно ГОСТ 17.2.3.02 – 78) встановлюється за умови, що викиди шкідливих речовин від такого джерела сумісно з фоновим забрудненням не створять в приземному шарі атмосфери концентрацію, яка перевищує ГДК, тобто необхідним є виконання умови:

$$C_M + C_\phi \leq ГДК,$$

де: C_M , — концентрація в приземному шарі атмосфери забруднювачів від цього джерела (за умов найбільш несприятливих для розсіювання);

C_ϕ — фонові концентрації, $г \cdot м^{-3}$.

Значення гранично допустимих викидів для нагрітої газоповітряної суміші з одиночного (точкового) джерела з круглим отвором (наприклад труба котельні) у випадку, коли фонові

концентрація суміші C_ϕ встановлена як незалежна від швидкості та напрямку вітру і постійна на території району, що розглядається, тоді в цьому випадку ГДВ визначається за формулою:

$$ГДВ = \frac{(ГДК - C_\phi) \cdot H^2 \cdot \sqrt[3]{V_{zc} \cdot \Delta T}}{A \cdot F \cdot n \cdot m \cdot \eta}, \quad (1)$$

де: A — коефіцієнт, що залежить від температурної стратифікації атмосфери та визначає умови горизонтального розсіювання атмосферних домішок, $c^{2/3} \cdot мг \cdot град \cdot c^{-1}$.

F — безрозмірний коефіцієнт, що враховує швидкість осідання шкідливих речовин в атмосфері. Для дрібнодисперсних аерозолів з коефіцієнтом очищення викидів не менш як 90 %: $F=2$, від 75 до 90 % $F=2,5$, менш як 75 % і в разі відсутності очищення $F=3$;

m, n — безрозмірні коефіцієнти, що враховують умови виходу газо-повітряної суміші з отвору джерела викиду;

H — висота джерела викиду над рівнем Землі, $м$;

ΔT — різниця між температурою газоповітряної суміші T_{zc} , що викидається, та температурою навколишнього середовища (повітря) T_n ;

V_{zc} — об'єм газоповітряної суміші, $м^3 \cdot c^{-1}$; визначається за формулою:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \cdot \varpi, \quad (2)$$

де: D — діаметр отвору джерела викиду, $м$;

ϖ — середня швидкість виходу газоповітряної суміші з отвору джерела викиду, $м \cdot c^{-1}$.

Величину безрозмірного параметра m визначають в залежності від параметра f , $м \cdot c^{-2} \cdot c^{-1}$, за формулою:

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}}, \quad (3)$$

де f — знаходять за виразом:

$$f = 10^3 \frac{\varpi^2 \cdot D}{H^2 \Delta T}. \quad (4)$$

У випадку, якщо значення параметра f відповідає нерівності $f_e < f < 100$ де параметр f_e обчислюють за виразом:

$$f_e = 800(V'_m)^3, \quad (5)$$

а V'_m , $м/с$, дорівнює:

$$V'_m = 1,3 \cdot W_0 D / H. \quad (6)$$

Значення коефіцієнта m розраховують за формулою (3), в яку замість f підставляють f_e .

Величину безрозмірного коефіцієнта n — визначають в залежності від параметра V_m за формулами:

$$n = 0,532V_m^2 - 2,13V_m + 3,13 \quad \text{при } 0,5 \leq V_m < 2; \quad (7a)$$

$$n = 4,4V_m \quad \text{при } V_m < 0,5; \quad (7б)$$

$$n = 1 \quad \text{при } V_m > 2. \quad (7в)$$

При цьому V_m знаходять за формулою:

$$V_m = 0,65 \sqrt[3]{\frac{V_{zc} \cdot \Delta T}{H}}. \quad (8)$$

Безрозмірний коефіцієнт η приймається рівним 1, якщо в радіусі п'ятидесяти висот труб H від джерела перепад відміток місцевості не перевищує 50 $м$ на 1 $км$.

Задача 1. Розрахувати ГДВ для забруднюючих інгредієнтів котельні, що працюють на газу, зробити відповідні висновки.

При цьому в розрахунок беруться лише викиди оксиду вуглецю та оксиду азоту інші компоненти не зустрічаються або зовсім не значні.

Дані для виконання розрахунків задачі 1 наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Дані для виконання розрахунків задачі 1.

Висота джерела викиду Н, м	50
Діаметр гирла труби Д, м	1,2
Швидкість виходу газів ϖ , м с ⁻¹	6,5
Температура викиду газової суміші Т _{ге} , °С	140
Температура навколишнього середовища Т _п , °С	25
Фонові концентрації СО, мг·м ⁻³	0,7
Фонові концентрації NO ₂ , мг·м ⁻³	0,04

№	Н, м	Д, м	ϖ , м·с ⁻¹	Т _{ге} , °С	С _ф (СО), мг·м ⁻³	С _ф (NO ₂), мг·м ⁻³
1	40	0,75	4,5	125	0,8	0,040
2	45	0,85	4,6	135	0,81	0,041
3	50	0,6	5	140	0,79	0,042
4	55	0,7	5,2	150	0,78	0,043
5	60	0,7	7,0	130	0,8	0,044
6	65	0,85	7,5	160	0,79	0,045
7	70	0,85	7,5	170	0,69	0,046
8	40	0,9	4,5	145	0,71	0,047
9	45	0,95	4,7	140	0,72	0,048
10	50	1,4	6,0	130	0,73	0,049

Розв'язок. Значення $\Delta T(^{\circ}\text{C})$ слід визначити, приймаючи температуру T_n рівною його середній температурі в 13 годині найбільш спекотного місяця, ($T_n=23^{\circ}\text{C}$). Коефіцієнт стратифікації для міста Житомира становить 180.

1. Визначаємо об'єм газоповітряної суміші за формулою (2):

$$V_m = \frac{\pi \cdot 1,2^2}{4} \cdot 6,5 = 7,35 \text{ м}^3/\text{с}.$$

2. Визначаємо параметр f за формулою (4):

$$f = 10^3 \frac{6,5^2 \cdot 1,2}{50^2 (140 - 23)} = 0,17 \text{ м}(\text{с}^2 \cdot \text{град.}).$$

3. Обчислюємо параметр m за формулою (3):

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{0,17} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{0,17}} = 0,9.$$

4. Визначаємо параметр V_m за формулою (8):

$$V_m = 0,65 \sqrt[3]{\frac{7,35 \cdot 117}{50}} = 1,68 \text{ м/с}.$$

5. Коефіцієнт n визначається за умов (7а):

$$n = 0,532 \cdot 1,68^2 - 2,13 \cdot 1,68 + 3,13 = 1,06$$

1. Визначаємо ГДВ для інгредієнтів СО та NO₂ за формулою (1):

Коефіцієнт F для газів становить 1. Коефіцієнт $\eta = 1$ за умов, якщо в радіусі 50 Н від джерела перепад відміток місцевості не перевищує 50 м на 1 км.

$$ГДВ_{CO} = \frac{(5 - 0,7) \cdot 50^2 \cdot \sqrt[3]{7,35 \cdot 117}}{180 \cdot 1 \cdot 1,06 \cdot 0,9 \cdot 1} = 595,1 \text{ мг/с.}$$

$$ГДВ_{NO_2} = \frac{(0,085 - 0,44) \cdot 50^2 \cdot \sqrt[3]{7,35 \cdot 117}}{180 \cdot 1 \cdot 1,06 \cdot 0,9 \cdot 1} = 6,3 \text{ мг/с.}$$

Висновок. Гранично допустимий викид у першу чергу залежить від висоти викиду (труби), швидкості газового потоку та температури газової суміші.

Задача 2. Визначити максимальну концентрацію забруднюючої речовини на відстані X_m від труби котельні.

При цьому в розрахунок беруться лише викиди оксиду вуглецю та оксиду азоту. Зробити відповідні висновки.

Дані для виконання розрахунків задачі 2 наведені в табл. 2.

Таблиця 2. Дані для виконання розрахунків задачі 2.

$V, \text{м}^3$ $\times 1000$	q_3	q_4	K_{NO_2}	Час роботи, дів
500,0	0,46	0,50	0,08	240

Примітка: Котельня працює за опалювальним графіком по 8 годин на добу. Решта даних використовується з попередньої задачі.

Теоретичні відомості

У разі викиду шкідливих газів з одиночного точкового джерела з круглим устям, за несприятливих метеорологічних умов, на відстані X_m від джерела максимальну концентрацію забруднюючої речовини (C_m) визначають за формулою:

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \sqrt[3]{\Delta T \cdot V_1}}, \quad (9)$$

де M — маса шкідливої речовини, що викидається в атмосферу, $г \cdot с^{-1}$;

Розрахунок викиду маси шкідливих речовин в атмосферу від котельні залежить від типу палива, яке використовується. Необхідно розрізняти котельні, які працюють на твердому паливі (кам'яне вугілля), рідкому паливі (мазут) та газу. У разі коли котельня працює на газу, розрахунок викиду маси шкідливих речовин в атмосферу ведеться тільки за оксидом вуглецю та азоту.

Розрахунок викидів оксиду вуглецю:

$$M_{CO} = B \cdot q_3 \cdot R \cdot Q_4 \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \cdot 10^{-3}, \text{ т/рік}, \quad (10)$$

де: B — річні витрати палива, м^3 (перевести в тонни);

q_3 — втрати теплоти через хімічну неповноту згоряння палива;

R — коефіцієнт, який враховує частку втрати теплоти, $R = (0,5)$;

Q_4 — нижча теплота згоряння палива, $Q_4 = 34,02 \text{ МДж/м}^3$;

q_4 — втрати теплоти через механічну неповноту згоряння палива, %.

Розрахунок викидів оксиду азоту:

$$M_{NO_2} = B \cdot K_{NO_2} \cdot Q_4 \cdot (1 - k_4) \cdot 10^{-3}, \text{ т/рік}, \quad (11)$$

де: B — річні витрати палива, м^3 (перевести в тонни);

K_{NO_2} — коефіцієнт, який характеризує кількість оксиду азоту, які утворюються на 1 ГДж тепла в залежності від теплової потужності котло – агрегата і приймає значення від 0,072 до 0,09 $\text{кг}/\text{ГДж}$;

κ_4 — коефіцієнт, який враховує ступінь зниження викидів NO_2 в результаті застосування технічних рішень.

Відстань X_m (м) від джерела викидів, на якій приземна концентрація C за несприятливих метеорологічних умов досягає максимального значення C_m , визначають за формулою:

$$X_m = \alpha \cdot H(5 - F) / 4, \quad (12)$$

де α — безрозмірний коефіцієнт, при $f < 100$ обчислюється за формулами:

$$\alpha = 2,48(1 + 0,28\sqrt[3]{f}) \text{ — при } V_m \leq 0,5; \quad (13_a)$$

$$\alpha = 4,95V_m(1 + 0,28\sqrt[3]{f}) \text{ — при } 0,5 < V_m < 2 \quad (13_б)$$

$$\alpha = 7\sqrt[3]{V_m}(1 + 0,28\sqrt[3]{f}) \text{ — при } V_m > 2 \quad (13_в)$$

Якщо $f < 100$ або $\Delta T \approx 0$, значення α визначають за формулами:

$$\alpha = 5,7 \text{ — при } V'_m \leq 0,5 \quad (14_a)$$

$$\alpha = 11,4 V'_m \text{ — при } 0,5 < V'_m < 2 \quad (14_б)$$

$$\alpha = 16\sqrt[3]{V'_m} \text{ — при } V'_m > 2 \quad (14_в)$$

Розв'язок: 1. Розраховуємо викид оксиду вуглецю за формулою (10):

$$M_{CO} = \frac{500000 \cdot 0,71}{1000} \cdot 0,46 \cdot 0,5 \cdot 34,02 \cdot \left(1 - \frac{0,5}{100}\right) \cdot 10^{-3} = 2,7 \text{ т/рік.}$$

Секундні викиди оксиду вуглецю будуть становити:

$$M^C_{CO} = \frac{2,7 \cdot 1000000}{240 \cdot 8 \cdot 3600} = 0,39 \text{ г/с.}$$

2. Розраховуємо викид оксиду азоту за формулою (11):

$$M_{NO_2} = \frac{500000 \cdot 0,71}{1000} \cdot 0,08 \cdot 34,02 \cdot (1 - 0) \cdot 10^{-3} = 0,96 \text{ т/рік.}$$

Секундні викиди оксиду азоту будуть становити:

$$M^C_{NO_2} = \frac{0,96 \cdot 1000000}{240 \cdot 8 \cdot 3600} = 0,14 \text{ г/с.}$$

3. Визначаємо максимальну концентрацію оксиду вуглецю за формулою (9):

$$C_{CO} = \frac{180 \cdot 0,39 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1,06 \cdot 1}{50^2 \sqrt[3]{117 \cdot 7,35}} = 0,0028 \text{ г/с} = 2,8 \text{ мг/с.}$$

4. Визначаємо максимальну концентрацію оксиду азоту за формулою (9):

$$C_{NO_2} = \frac{180 \cdot 0,14 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1,06 \cdot 1}{50^2 \sqrt[3]{117 \cdot 7,35}} = 0,001 \text{ г/с} = 1 \text{ мг/с.}$$

5. Визначаємо відстань від джерела викидів, на якій приземна концентрація за несприятливих метеорологічних умов досягає максимального значення за формулою (12):

Безрозмірний коефіцієнт α , при $f < 100$ обчислюється за формулою (13_б):

$$\alpha = 4,95 \cdot 1,68 \cdot (1 + 0,28\sqrt[3]{0,17}) = 9,6$$

в цьому разі відстань від джерела викидів, на якій приземна концентрація за несприятливих метеорологічних умов досягає максимального значення буде дорівнювати:

$$X_m = 9,6 \cdot 50(5-1)/4 = 480,3 \text{ м.}$$

Висновок. Відстань від джерела викидів, на якій приземна концентрація за несприятливих метеорологічних умов досягає максимального значення в першу чергу залежить від маса шкідливої речовини, що викидається в атмосферу та висоти викиду.

Задача 3. Визначити розміри санітарно-захисної зони ТЕС.

Дані для розрахунків використовуються з задачі 2.

Теоретичні відомості

Санітарно-захисні зони (СЗЗ) - це ділянки землі навколо об'єктів господарської діяльності, що відокремлюють їх від житлових масивів з метою зменшення шкідливих впливів цих об'єктів на здоров'я людини. Для промислових підприємств СЗЗ розташовують з підвітряного боку і засаджують деревами та чагарниками, що мають бактерицидні властивості.

Згідно з санітарними нормами проектування промислових підприємств, виділяють п'ять класів промислових об'єктів завширшки від 50 до 3000м з урахуванням ступеня забруднення поблизу виробництва. В табл. 1.2. наведені розміри СЗЗ залежно від класу промислового об'єкту.

Відстань від джерела викидів до зовнішніх меж СЗЗ за напрямком румбів з урахуванням рози вітрів визначається за формулою:

$$L = L_0 \frac{P}{P_0}, \quad (15)$$

де: L - розрахункова відстань від джерела викидів до межі СЗЗ, м;

L_0 - розрахунковий розмір ділянки місцевості в даному напрямі, де концентрація шкідливих речовин (з урахуванням фонові концентрації від інших джерел) перевищує ГДК, м ;

P - середньорічна повторюваність напрямку вітру румба, що розглядається, %;

P_0 — повторюваність вітру одного румба при круговій розі вітрів, %.

Розв'язок. В таблиці 3. Наведені дані про напрям вітру за даними метеостанції м. Запоріжжя.

Таблиця 3. Напрямок вітру за даними метеостанції м. Запоріжжя.

Напрямок вітру	Повторюваність
Північний	10
Північно-східний	5
Східний	2
Південно-східний	2
Південний	13
Південно-західний	23
Західний	35
Північно-західний	10

Нормативний розмір СЗЗ дорівнює відстані від джерела викидів, на якій приземна концентрація за несприятливих метеорологічних умов досягає максимального значення $L_0 = X_m$.

Обчислюємо розміри СЗЗ в залежності від рози вітрів (табл. 3). за формулою (15). Результати розрахунків розмірів СЗЗ за румбами заносимо в табл. 4.

Для того щоб отримати шукану СЗЗ котельні, для заданих параметрів і умов викиду, потрібно відкласти обчислені значення L на протилежних напрямках румба.

Таблиця 4. Результати розрахунку розмірів СЗЗ.

Напрямок вітру	Повторювання	Розмір СЗЗ, м
Північний	10	384,2
Північно-східний	5	192,1
Східний	2	76,8
Південно-східний	2	76,8
Південний	13	499,5
Південно-західний	23	883,7
Західний	35	1344,7
Північно-західний	10	384,2

Висновок. Розмір СЗЗ залежить від розрахункового розміру ділянки місцевості в даному напрямі та рози вітрів.

Лабораторна робота № 4

Тема: визначення категорії небезпечності промислових підприємств та комплексного індексу забруднення атмосфери.

Мета: навчитися визначати категорії небезпечності енергетичних промислових підприємств та комплексного індексу забруднення атмосфери.

Методичні вказівки до виконання

Задача 1. Визначити категорію небезпечності умовного енергетичного промислового підприємства, яке викидає в атмосферне повітря шкідливі речовини такі як: сірководень; оксид вуглецю, діоксид азоту, діоксид сірки та виробничий пил

Вихідні дані для виконання розрахунків наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Забруднюючих речовин, які викидаються в атмосферу, т/рік.

	Забруднюючі речовини				
	H_2S	CO	NO_2	SO_2	Пил
	19,8	4283	195	597	2171
Клас небезпечності	1	4	2	3	4
ГДК_{сд}, мг·м⁻³	0,005	3,0	0,04	0,05	0,15

Зробити відповідні висновки.

Вихідні дані для виконання задачі 1 наведені в табл. 2.

Таблиця 2. Вихідні дані для виконання задачі 1.

№ варіанту	Назва забруднюючих речовин, які викидаються в атмосферу				
	H_2S	CO	NO_2	SO_2	Пил
1	16,8	5188	130	638	2710
2	11,7	4160	127	639	2600
3	7,8	3187	113	780	2150
4	1,61	4080	103	613	2200
5	8,3	3970	131	596	2310
6	14,6	40,38	118	583	2630

7	17,3	5100	119	618	2450
8	17,8	5010	121	616	2410
9	16,7	4970	108	599	2227
10	16,89	4830	106	507	2311
11	13,8	3910	103	607	2185
12	14,1	4010	98	591	2316
13	19,6	3810	109	596	2415
14	21,1	3830	111	603	2510
15	15,1	3840	110	607	2430

№ варіанту	Середня концентрація забруднюючих речовин				
	H_2S	CO	NO_2	SO_2	$Пил$
1	0,001	1,0	0,02	0,03	0,1
2	0,0012	1,1	0,021	0,031	0,12
3	0,0013	1,3	0,022	0,032	0,13
4	0,0014	1,5	0,023	0,033	0,14
5	0,0015	1,7	0,024	0,033	0,15
6	0,0016	1,9	0,025	0,035	0,16
7	0,0017	2,0	0,026	0,036	0,17
8	0,0018	2,1	0,027	0,037	0,18
9	0,0019	2,2	0,028	0,038	0,19
10	0,002	2,3	0,029	0,039	0,2

Вихідні дані для виконання задачі 2 наведені в табл. 3.

Таблиця 3. Вихідні дані для виконання задачі 2.

Теоретичні відомості

Для визначення категорії небезпечності підприємств в залежності від маси викиду та складу забруднюючих речовин, що викидаються в атмосферу використовують дані про викиди забруднюючих речовин в атмосферу за формою статистичної звітності 2тп-повітря.

Категорію небезпечності підприємств ($КНП$) визначають за формулою:

$$КНП = \sum_{i=1}^n \left(\frac{M_i}{ГДК_{с.д.}} \right)^{a_i}, \quad (1)$$

де: M_i — маса викиду i -ої речовини, $т \cdot рік^{-1}$;

$ГДК_{с.д.}$ — середньодобова гранично допустима концентрація i -ої забруднюючої речовини, $мг \cdot м^{-3}$;

n — кількість шкідливих речовин, які викидаються підприємством в атмосферу; a_i — безрозмірна константа, яка дозволяє порівняти ступінь шкідливості i -ої речовини зі шкідливістю сірчистого газу (табл. 4)

Таблиця 4. Безрозмірна константа a_i

Константа	Клас небезпечності речовин			
	1	2	3	4
a_i	1,7	1,3	1,0	0,9

За величиною $КНП$ підприємства поділяються на 4 категорії небезпечності. Граничні умови для виділення підприємств за категоріями небезпечності наведено в табл. 5.

Таблиця 5. Категорії небезпечності підприємств і граничні значення КНП.

Категорії небезпечності	Значення КНП	СЗЗ, м
I	$\geq 10^8$	1000
II	$10^8 > \text{КНП} \geq 10^4$	500
III	$10^4 > \text{КНП} \geq 10^3$	300
IV	$< 10^3$	100

Розв'язок. Визначаємо категорію небезпечності промислового підприємства за формулою (1):

$$\text{КНП} = \left(\frac{19,8}{0,005} \right)^{1,7} + \left(\frac{4283}{3} \right)^{0,9} + \left(\frac{195}{0,04} \right)^{1,3} + \left(\frac{597}{0,05} \right)^1 + \left(\frac{2171}{0,15} \right)^1 = 1396072,9$$

Висновок. ТЕС відноситься до II-ої категорії небезпечності.

Задача 2. Визначити комплексний індекс забруднення атмосфери сірководнем; оксидом вуглецю, діоксидом азоту, діоксидом сірки та виробничим пилом

Вихідні дані для виконання розрахунків наведені в табл.6.

Таблиця 6. Середня концентрація забруднюючих речовин, які викидаються в атмосферу, мг/м³

 С_{сер}	Забруднюючі речовини				
	<i>H₂S</i>	<i>CO</i>	<i>NO₂</i>	<i>SO₂</i>	<i>Пил</i>
	0,004	1,8	0,03	0,035	0,22
Клас небезпечності	1	4	2	3	4
ГДК_{сд}, мг·м⁻³	0,005	3,0	0,04	0,05	0,15

Зробити відповідні висновки.

Для виконання задачі 2., дані беруть з таблиці 3.

Теоретичні відомості

Для оцінки стану повітряного середовища в цілому запропонований ряд комплексних показників забруднення атмосфери (сумісно з декількома забруднюючими речовинами). Найпоширенішим є комплексний індекс забруднення атмосфери (ІЗА). Індекси забруднення атмосфери (*I_i*) кількісно характеризують рівень забруднення атмосфери окремою домішкою (забруднююча речовина), що враховує різницю в швидкості зростання ступеня шкідливості речовин, приведенного до ступеня шкідливості діоксиду сірки, зі зростанням перевищення ГДК:

$$I_i = \left(\frac{c_{сер}}{ГДК_i} \right)^{a_i}, \quad (2)$$

де: *I_i* — одиничний індекс забруднення для *i*-ої речовини;

C_{сер} — середня концентрація *i*-ої речовини в атмосферному повітрі;

ГДК_{сд, i} — гранично допустима концентрація середньодобова для *i*-тої речовини;

a_i — безрозмірна константа приведення ступеня шкідливості *i*-ої речовини до шкідливості діоксиду сірки, яка залежить від того, до якого класу небезпечності належить забруднююча речовина (табл. 7).

Середнє арифметичне значення концентрації домішки - середньо -добові, середньомісячні, середньорічні, середні багаторічні концентрації забруднюючих речовин (*c_i*),

обчислені за сумарними даними стаціонарних, пересувних, підфакельних постів спостережень визначається за формулою:

$$C_{сер} = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{n}, \text{ м / м}^3, \quad (3)$$

де n — кількість разових концентрацій, які були визначені за відповідний період.

Усі нормовані речовини (ГОСТ12.1.007-76 зі зміною №1 від 01.01.82) поділені на класи небезпечності (табл. 7.5).

Таблиця. 7. Класи небезпечності нормованих речовин

Клас небезпечності	Ступінь небезпечності	Величина ГДК, мг·м ⁻³
I	Надзвичайно небезпечні речовини	≤ 0,1
II	Високонебезпечні речовини	0,1 – 1,0
III	Помірнонебезпечні речовини	1,0 – 10,0
IV	Малонебезпечні речовини	> 10,0

(КІЗА) - кількісна характеристика рівня забрудненості атмосфери, що створюється n -речовинами, які присутні в атмосферному повітрі. Його розраховують як суму нормованих за ГДК_{сд} і приведених до концентрації діоксиду сірки середнього вмісту різних шкідливих речовин:

$$Y_n = \sum_{i=1}^n Y_i = \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_{сер}}{ГДК_{сд,i}} \right)^{a_i}; \quad (4)$$

Розв'язок. Визначаємо КІЗА за формулою (4):

$$Y_n = \left(\frac{0,004}{0,005} \right)^{1,7} + \left(\frac{1,8}{3} \right)^{0,9} + \left(\frac{0,03}{0,04} \right)^{1,3} + \left(\frac{0,035}{0,05} \right)^1 + \left(\frac{0,22}{0,15} \right)^1 = 4,15$$

Висновок. Тільки індекс забруднення атмосфери пилом перевищує 1, що вказує на необхідність додаткової очистки викиду від пилу.

Лабораторна робота № 5

Тема: розрахунок кінетичної енергії вітрового потоку.

Мета: розрахувати швидкість та потужність вітрового потоку у різні пори року.

Методичні вказівки до виконання

Кінетична енергія вітрового потоку зі швидкістю вітру W , м/с:

$$E = m W_0^2,$$

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

$$m = \rho F_x W_0,$$

де ρ – густини повітря (кг/м³); F_x – площа диску (м²), створеного від обертання вітроколеса, через яку проходить вітровий потік.

Тоді потужність потоку вітру буде:

$$N_0 = \frac{\rho F_x W_0^3}{2}, \text{ Вт}$$

Кінетична енергія вітрового потоку залежить від швидкості вітру W_0 , температури повітря і атмосферного тиску P . Шкала питомої потужності вітрового потоку з поперечним перерізом 1 м^2 , для $t = +15 \text{ }^\circ\text{C}$ і $P = 101,3 \text{ кПа}$ показана в табл.1.

Таблиця 1

Швидкість вітру, м/с	4	6	8	10	14	18	22
Потужність потоку, кВт / м ²	0,04	0,13	0,31	0,61	1,67	3,6	6,25

Зі зміною температури повітря від $+15 \text{ }^\circ\text{C}$ до $0 \text{ }^\circ\text{C}$ потужність потоку зростає на 6 %, а за температури $t = +15 \text{ }^\circ\text{C}$ енергія цього потоку, навпаки, зменшується на 5 %. Якщо за температури повітря $0 \text{ }^\circ\text{C}$ атмосферний тиск зміниться від 770 до 730 мм рт. ст., то енергія потоку вітру зменшиться приблизно на 6 %.

Звідси бачимо, потужність вітрового потоку пропорційна до його площі, швидкості вітру в третій степені і густини повітря. Слід зауважити, що технічно складно одержати велику потужність на одній установі від розсіяної енергії повітряного потоку, враховуючи малу його густину $\rho_{\text{пов}} = 1,3 \text{ кг/м}^3$ (для порівняння густина води $\rho_{\text{пов}} = 1,3 \text{ кг/м}^3$).

Потужність, яку розвиває вітроколесо:

$$N_{\text{в.к.}} = C_p N_0 \frac{C_p \rho F W_0^3}{2}.$$

Параметр C_p визначає ефективність використання вітроколесом енергії вітрового потоку і називається коефіцієнтом потужності. C_p залежить від конструкції вітроколеса і швидкості вітру. Максимальна проектна потужність ВЕУ визначається для стандартної швидкості вітру $W_0 = 12 \text{ м/с}$. Тоді з 1 м^2 площі отримаємо потужність близько 300 Вт для значення $C_p = 0,35 \div 0,45$.

З точки зору вітроенергетики важливими характеристиками вітру є:

~ поривчастість, ~ вертикальний профіль, ~ гранична швидкість.

Пульсації швидкості і енергії повітряного потоку пов'язані із загальним характером формування структури вітру, ландшафтними і рельєфними особливостями місцевості. Знання про такі пульсації важливі для ВЕУ. Нерідко причиною руйнувань вітроагрегату є динаміка зміни і структура варіацій швидкості за короткі проміжки часу.

До них належать прискорення потоку, тривалість поривів і їх співпадіння в різних точках поверхні вітроколеса, котре омивається вітром, а також коефіцієнт поривчастості потоку K_n – є відношення максимально вимірюваної швидкості до її середнього значення за вибраний проміжок часу (не більше 2-х хвилин):

$$K_n = \frac{W_{\text{max}}}{W_{\text{ср}}}.$$

Його величина змінюється від 1 до 3, і чим більша швидкість, тим менше значення K_n . Вертикальний профіль вітру це зміна його швидкості від висоти в приземній зоні. Вплив земної поверхні на швидкість і напрям зменшується зі збільшенням висоти. Тому швидкість вітру з висотою зростає, а поривчастість і прискорення потоку зменшуються. Градієнт швидкості літом, як правило, є меншим ніж зимою, коли вертикальний перепад температур відносно невеликий. При адіабатичному градієнті температур в нижніх шарах атмосфери вертикальний профіль вітру $W(h)$ апроксимується залежністю:

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

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

Приклад розв'язку задачі 1.

Визначити потужність вітрового потоку на 1 м^2 площі, $F_k = 1 \text{ м}^2$, перпендикулярної до нього, якщо протягом місяця середня швидкість вітру $W = 3,4 \div 3,7 \text{ м/с}$. Густина повітря $1,2 \text{ кг/м}^3$. Визначити потужність вітрового потоку повітря внаслідок зміни його густини у різні пори року.

Дано:

$F_k = 1 \text{ м}^2$, $W = 3,5 \text{ м/с}$, $\rho_{\text{пов}} = 1,2 \text{ кг/м}^3$.

Знайти: N , Вт/м^2 – ?

Розв'язання:

Потужність вітрового потоку повітря на 1 м^2 площі визначається за формулою:

$$N = \frac{\rho F_k W^3}{2} = \frac{1,2 \cdot 1 \cdot (3,5)^3}{2} = 25,73 \text{ Вт}$$

Відповідь: Потужність вітрового потоку повітря 1 м^2 площі $25,73 \text{ Вт}$.

Приклад розв'язку задачі 2.

Визначити швидкість потоку вітру W , м/с на висоті $H = 22 \text{ м}$, якщо середня швидкість на висоті $h = 10 \text{ м}$ дорівнює $W_1 = 10 \text{ м/с}$.

Дано:

$H = 22 \text{ м}$,

$h = 10 \text{ м}$,

$W_1 = 10 \text{ м/с}$.

Знайти: W , м/с – ?

Розв'язання:

Швидкість потоку вітру визначається за формулою:

$$W = W_1 \left(\frac{H}{h} \right)^{0,2} = 10 \cdot \left(\frac{22}{10} \right)^{0,2} = 11,71 \text{ м/с}$$

Відповідь: швидкість потоку вітру $W = 11,71 \text{ м/с}$.

Вихідні дані до практичної роботи № 3

Задача 1		Задача 2		
Варіанти	$W_1, \text{м/с}$	Варіанти	$H, \text{м}$	$W_1, \text{м/с}$
1	$4,2 \div 4,8$	1	15	6
2	$4,8 \div 5,1$	2	16	8
3	$3,9 \div 4,4$	3	17	7
4	$3,8 \div 4,2$	4	18	9
5	$3,2 \div 3,7$	5	19	11
6	$3,0 \div 3,5$	6	20	10
7	$3,1 \div 3,6$	7	21	5
8	$3,2 \div 3,8$	8	22	6,5
9	$3,3 \div 3,7$	9	23	7,5
10	$4,1 \div 4,7$	10	24	8,5
11	$4,7 \div 5,0$	11	15	7
12	$3,8 \div 4,3$	12	16	9
13	$3,7 \div 4,1$	13	17	8
14	$3,3 \div 3,8$	14	18	10
15	$3,0 \div 3,4$	15	19	10,5

Лабораторна робота № 6

Тема: розрахунок енергетичного потенціалу приливної енергії океанічного басейну.

Мета: розрахувати приливний потенціал океанічного басейну при заданій величині приливної хвилі.

Методичні вказівки до виконання

Оцінка енергетичного потенціалу приливної енергії океанічного басейну, що має площу F , км², якщо відома середня величина приливної хвилі R_{cp}^2 . У науковій літературі є кілька рівнянь, що дозволяють визначити приливний потенціал басейна. Одне з них запропоновано вітчизняним ученим Л. Б. Бернштейном:

$$E_{пот} = 1,97 \cdot 10^6 \cdot R_{cp}^2 \cdot F$$

де $E_{пот}$ – енергетичний потенціал приливної енергії океанічного басейну;

F , км² – площа енергетичного потенціалу приливної енергії океанічного басейну;

R_{cp}^2 – середня величина приливної хвилі.

Приклад розв'язку задачі.

Використовуючи формулу Л. Б. Бернштейна, оцінити приливний потенціал басейну $E_{пот}$, кВт · год, якщо його площа $F = 1000$ км², а середня величина припливу $R_{cp} = 7,2$ м.

Дано:

$F = 1000$ км²; $R_{cp} = 7,2$ м.

Знайти:

$E_{пот}$, кВт · год – ?

Розв'язок:

Використовуючи формулу Л. Б. Бернштейна, оцінити приливний потенціал басейну $E_{пот}$, кВт · год, якщо його площа $F = 1000$ км², а середня величина припливу $R_{cp} = 7,2$ м.

Приливний потенціал басейну:

$$E_{пот} = 1,97 \cdot 10^6 \cdot R_{cp}^2 \cdot F = 1,97 \cdot 10^6 \cdot 7,2^2 \cdot 1000 = 102 \cdot 10^9 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Відповідь: приливний потенціал басейну $E_{пот} = 102 \cdot 10^9$ кВт · год.

Вихідні дані до практичної роботи № 4

Варіанти	$F, \text{км}^2$	$R_{cp}, \text{м}$
1	31	400
2	30	700
3	29	1000
4	28	1500
5	27	2000
6	31	2200
7	30	2500
8	29	3000
9	28	3500
10	27	4000
11	31	500
12	30	800
13	29	1100
14	28	1600
15	27	2100

Лабораторна робота № 7

Тема: визначення дози радіоактивного опромінювання на АЕС.

Мета: навчитися визначати дози радіоактивного опромінювання, яку отримують робітники і службовці за встановлений час роботи у виробничих приміщеннях АЕС.

Методичні вказівки до виконання

Задача 1. Визначити дозу опромінювання, яку отримують робітники та службовці механічного цеху після ядерного вибуху на АЕС.

Вихідні дані для виконання розрахунків наведені в табл. 1.

Територія на якій розташований механічний цех підпала радіоактивному забрудненню з рівнем радіації P_n . Робітники і службовці знаходяться в виробничій одноповерховій споруді (механічний цех). В такому випадку коефіцієнт послаблення від радіоактивного забруднення становить $K_{\text{посл}} = 7$.

Дані для виконання розрахунків наведені в табл.1.

Таблиця 1. Дані для виконання розрахунків.

$t_{\text{поч}}, \text{год.}$	$t_{\text{роб}}, \text{год.}$	$P_n, P \cdot \text{год}^{-1}$	K
0,25	6	210	7

Зробити відповідні висновки.

Для виконання задачі 1, дані беруть з таблиці 2.

Таблиця 2. Вихідні дані для виконання задачі 1 (рівні випромінювання джерел ЕМП, $\text{А} \cdot \text{м}^{-1}$).

Для виконання задачі 2, дані беруть з таблиці 3.

№ варіанта	Частотний діапазон та рівні випромінювання			
	Джерело 1	Джерело 2	Джерело 3	Джерело 4
	60 кГц – 3 МГц	3 МГц – 30 МГц	30 МГц – 50 МГц	50 – 300 МГц
1	30	10	5	2,5
2	25	15	4	2
3	20	14	3	3
4	18	11	2,5	1,5
5	31	12	2,0	1,0
6	28	13	4,5	1,8
7	29	14	5	2
8	31	15	6	3
9	40	10	5	2,5
10	28	11	6	3

Таблиця 3. Вихідні дані для виконання задачі 2 (рівні випромінювання джерел ЕМП, $\text{А} \cdot \text{м}^{-1}$).

№ варіанта	Джерело 1	Джерело 2	Джерело 3
	60 кГц – 3 МГц	3 МГц – 30 МГц	30 МГц – 50 МГц
1	?	10	5
2	?	15	4
3	?	14	3
4	?	11	2,5
5	?	12	7,0
6	?	13	4,5
7	?	14	5
8	?	15	8,4
9	?	10,1	5,2
10	?	11,4	6

Теоретичні відомості

Вплив іонізуючого випромінювання на організм людини може бути зовнішнім і внутрішнім (коли радіоактивна речовина потрапила в організм людини при вдиханні чи з їжею) та комбінованим.

Іонізуюче випромінювання, проникаючи в організм людини, передає свою енергію органам та тканинам шляхом збудження та іонізації атомів і молекул, що входять до складу клітин організму. Це веде до зміни хімічної структури різноманітних з'єднань, що призводить до порушення біологічних процесів, обміну речовин, функції кровотворних органів, змін у складі крові, призводить до втрати людьми працездатності. Тривалий вплив іонізуючого випромінювання на людину в дозах, що перевищує гранично допустимі, може викликати променеву хворобу, а у випадку значного перевищення призводить до загибелі. Доза опромінення ($D_{оп}$) після ядерного вибуху визначається за формулою:

$$D_{оп} = \frac{5P_1(t_{поч}^{-0,2} - t_{кін}^{-0,2})}{K_{посл}}, \quad (1)$$

де: P_1 — рівень радіації, перерахований на 1 год, після початку радіоактивного забруднення, випромінювання (наприклад ядерного вибуху); $P_{год} \cdot t$;

$t_{поч}$ — початок часу радіоактивного опромінювання, год;м

$t_{кін} = t_{поч} + t_{роб}$ — час закінчення перебування в зоні радіоактивного забруднення, год;

$K_{посл}$ — коефіцієнт послаблення радіоактивного випромінювання.

Рівень радіації P_1 , перерахований на 1 год. після вибуху визначається за виразом:

$$P_1 = P_n \cdot K_n, \quad (2)$$

де P_n — рівень радіації через n годин ($t_{поч}$);

K_n — коефіцієнт перерахунку (табл. 4)

Таблиця 4. Коефіцієнт перерахунку рівнів радіації

$t_{поч}, \text{ГОД.}$	K	$t_{поч}, \text{ГОД}$	K	$t_{поч}, \text{ГОД}$	K
0,5	0,43	3,5	4,5	8,5	13,04
0,75	0,71	4,0	5,28	9,0	13,96
1,0	1,0	4,5	6,08	9,5	14,9
1,25	1,31	5,0	6,9	10,0	15,85
1,5	1,63	5,5	7,73	11	17,77
1,75	1,66	6,0	8,59	12	19,72
2,0	2,3	6,5	9,45	13	21,71
2,25	2,65	7,0	10,33	40	83,66
2,5	3,0	7,5	11,22	50	109,3
3,25	4,11	8,0	12,13	100	251,2

Розв'язок. Визначимо рівень радіації, перерахований на 1 год, після вибуху згідно формули 2. Коефіцієнт перерахунку беруть з таблиці 1.

$$P_1 = 210 \cdot 0,71 = 149,1 \text{ Р} \cdot \text{год}^{-1}.$$

Дозу опромінення розраховуємо за формулою 1:

$$D_{оп} = \frac{5 \cdot 149,1 \cdot (0,71^{-0,2} - 6^{-0,2})}{7} = 40,4 \text{ Р}.$$

Висновок. Доза радіоактивного опромінювання, яку отримали робітники, залежить від часу перебування в зоні радіоактивного забруднення та захисних засобів.

Задача 2. Визначити співвідношення дози опромінення і гранично допустимої дози
Вихідні дані для виконання розрахунків беруться з попередньої задачі.
Зробити відповідні висновки.

Розв'язок. Гранично допустима доза становить 0,05 р на добу або 18 Р на рік.

Дозу опромінювання, яку отримали робітники та службовці механічного цеху АЕС після ядерного вибуху за 6 год становить 40,4 Р.

1. Визначаємо, яку дозу опромінення отримали робітники та службовці механічного цеху за 1 год.

$$D_{on(1\text{ год})} = D_{on}/6 = 40,4/6 = 6,74 \text{ Р.}$$

2. Визначаємо, яка гранично допустима доза опромінення становить для 1 години:

$$ГДД_{год.} = ГДД/24 = 0,05/24 = 0,0021 \text{ Р.}$$

3. Визначаємо в скільки разів доза опромінення, яку отримали робітники та службовці після ядерного вибуху, перевищує гранично допустиму дозу:

$$D_{on(1\text{ год})} / ГДД_{год.} = 6,74/0,0021 = 3210 \text{ (разів).}$$

Висновок. Цей рівень опромінення не відповідає концепції безпечного проживання і може привести до літального наслідку.

Лабораторна робота № 8

Тема: Обчислення плати за забруднення атмосферного повітря стаціонарними джерелами забруднення.

Мета: навчитися на основі діючих в Україні нормативних документів розраховувати суми зборів за забруднення компонентів довкілля.

Методичні вказівки до виконання

Порядок обчислення та сплати збору наразі визначають «Інструкція про порядок обчислення та сплати збору за забруднення навколишнього природного середовища» затверджена наказом Міністерства охорони навколишнього природного середовища та ядерної безпеки України, Державної податкової адміністрації України № 162/379 від 19.07.99 р. (з подальшими змінами) і «Порядок встановлення нормативів збору за забруднення навколишнього природного середовища і стягнення цього збору» затверджений Постановою Кабінету Міністрів України № 303 від 1.03.1999 р. (з подальшими змінами).

Суми збору, стягнутого за викиди стаціонарними джерелами (П_{вс}), визначаються за формулою:

$$П_{вс} = \sum_{i=1}^n (M_i \cdot H_{би} \cdot K_{нас} \cdot K_{ф}),$$

де M_i – фактичний обсяг викиду i -ої забруднюючої речовини, у тоннах (т) (табл.1);

$H_{би}$ – норматив платі за тону i -ої забруднюючої речовини, у гривнях (грн/т) (табл. 2);

$K_{нас}$ – коригуючий коефіцієнт, встановлюваний у залежності від чисельності мешканців населеного пункту (табл. 3);

$K_{ф}$ – коефіцієнт, що коригує, встановлений у залежності від народногосподарського значення населеного пункту (табл. 4).

Нормативи збору за забруднення навколишнього природного середовища встановлюються як фіксовані суми в гривнях за одиницю основних забруднюючих речовин.

Таблиця 1. Фактичний обсяг викиду забруднюючих речовин.

<i>Варіант</i>	<i>Назва забруднюючої речовини</i>	<i>обсяг викиду і-ої забруднюючої речовини, т</i>	<i>Варіант</i>	<i>Назва забруднюючої речовини</i>	<i>обсяг викиду і-ої забруднюючої речовини, т</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
Варіант 1.	Вуглецю окис Аміак	250 120	Варіант 2.	Ангідрид сірчистий Вуглецю окис	220 190
Варіант 3.	Ацетон Фенол	145 24	Варіант 4.	Формальдегід Вуглеводні	90 280
Варіант 5.	Ангідрид сірчистий Вуглецю окис	180 330	Варіант 6.	Ртуть та її сполуки Марганець та його сполуки	1,1 10,8
Варіант 7.	Формальдегід Вуглеводні	190 380	Варіант 8.	Нікель та його сполуки Кадмію сполуки	15 40
Варіант 9.	Ртуть та її сполуки Марганець та його сполуки	1,5 14,2	Варіант 10.	Сірковуглець Бенз(а)пірен	110 1,1
Варіант 11.	Нікель та його сполуки Кадмію сполуки	12 47	Варіант 12.	Хром та його сполуки Пил	22 400
Варіант 13.	Сірковуглець Бенз(а)пірен	140 0,8	Варіант 14.	Газоподібні фтористі сполуки Сірководень	95 125
Варіант 15.	Хром та його сполуки Пил	17 385	Варіант 16.	Бутилацетат Ацетон	85 45

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
Варіант 17.	Газоподібні фтористі сполуки Сірководень	375 95	Варіант 18.	Вуглецю окис Сірковуглець	100 173
Варіант 19.	Бутилацетат Ацетон	212 46	Варіант 20.	Ацетон Формальдегід	45 25
Варіант 21.	Вуглецю окис Сірковуглець	125 120	Варіант 22.	Ртуть та її сполуки Пил	0,2 330
Варіант 23.	Ацетон Формальдегід	95 115	Варіант 24.	Сірковуглець Ангідрид сірчистий	240 220
Варіант 25.	Ртуть та її сполуки Пил	0,8 280	Варіант 26.	Формальдегід Вуглеводні	1,3 135
Варіант 27.	Вуглецю окис Ангідрид сірчистий	240 220	Варіант 28.	Азоту оксиди Аміак	65 24
Варіант 29.	Бенз(а)пірен Бутилацетат	1,3 135	Варіант 30.	Фенол Стирол	0,2 0,55
Варіант 31.	Вуглецю окис Фенол	240 35	Варіант 32.	Водень хлористий Вуглецю окис	450 238
Варіант 33.	Кадмію сполуки Сірковуглець	27 155	Варіант 34.	Хром та його сполуки Ванадію п'ятиокис	2,2 12

Таблиця 2 – Нормативи збору, який справляється за викиди основних забруднюючих речовин від стаціонарних джерел забруднення (H_{6i}).

Назва забруднюючої речовини	Норматив збору, гривень/тонну	Назва забруднюючої речовини	Норматив збору, гривень/тонну
Водень хлористий	3	Озон	80
Вуглецю окис	3	Формальдегід	198
Аміак	15	Марганець та його сполуки	633
Бутилацетат	18	Свинець та його сполуки	3390
Ацетон	30	Ртуть та її сполуки	3390
Азоту оксиди	80	Вуглеводні	4,5
Спирт н-бутиловий	80	Фенол	363
Ангідрид сірчистий	80	Нікель та його сполуки	3225
Сірководень	257	фтористі сполуки	198
Ванадію п'ятиокис	300	Тверді речовини	3
Стирол	584	Кадмію сполуки	633
Хром та його сполуки	2147	Сірковуглець	167
Бенз(а)пірен	101807		

За викиди забруднюючих речовин, що не ввійшли в таблицю варто застосовувати нормативи збору в залежності від установленого класу небезпеки даної забруднюючої речовини.

Таблиця 3. Коефіцієнт, який встановлюється залежно від чисельності жителів населеного пункту ($K_{\text{нас}}$).

Чисельність населення, тис. чоловік	Коефіцієнт
До 100	1
100,1-250	1,2
250,1-500	1,35
500,1-1000	1,55
Понад 1000	1,8

Таблиця 4. Коефіцієнт, який встановлюється залежно від народногосподарського значення населеного пункту ($K_{\text{ф}}$).

Тип населеного пункту	Коефіцієнт
Організаційно-господарські та культурно-побутові центри місцевого значення з перевагою аграрно-промислових функцій (районні центри, міста районного значення, селища та сели)	1
Багатофункціональні центри, центри з перевагою промислових та транспортних функцій (республіканський та обласні центри)	1,25
Населені пункти, віднесені до курортних	1,65

Практична робота № 1

Тема: оцінка енергетичного потенціалу нетрадиційних джерел енергії на території України.

Мета: ознайомлення з принципами оцінки енергетичного потенціалу нетрадиційних джерел енергії на території України.

Методичні вказівки до виконання.

1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА.

Вітроенергетика. Україна має потужні ресурси вітрової енергії: річний технічний вітроенергетичний потенціал дорівнює 30 млрд. кВт·год. У результаті обробки статистичних метеорологічних даних по швидкості та повторюваності швидкості вітру проведено районування території України по швидкостях вітру і визначено питомий енергетичний потенціал вітру на різній висоті відповідно до зон районування. У умовах України за допомогою вітроустановок можливим є використання 15-19% річного об'єму енергії вітру, що проходить крізь перетин поверхні вітроколеса. Очікувані обсяги виробництва електроенергії з 1 м² перетину площі вітроколеса в перспективних регіонах складають 800-1000 кВт·год/м² за рік. Застосування вітроустановок для виробництва електроенергії в промислових масштабах найбільш ефективно в регіонах України, де середньорічна швидкість вітру більша 5 м/с: на Азово-Чорноморському узбережжі, в Одеській, Херсонській, Запорізькій, Донецькій, Луганській, Миколаївській областях, АР Крим та в районі Карпат. Експлуатація тихохідних багатолопатевих вітроустановок з підвищеним обертаючим моментом для виконання механічної роботи є ефективною практично на всій території України. Вітроенергетика України має достатній досвід виробництва, проектування, будівництва, експлуатації та обслуговування як вітроенергетичних установок, так і вітроенергетичних станцій; у країні є достатньо високий науково-технічний потенціал і розвинена виробнича база. Зараз розвитку вітроенергетичного сектора сприяє державна підтримка, що забезпечує реалізацію ініціатив з удосконалення законодавства, структури керування, створенню вигідних умов для внутрішніх і зовнішніх інвесторів.

Сонячна енергія. У результаті обробки статистичних метеорологічних даних з надходження сонячної радіації визначено питомі енергетичні показники з надходження сонячної енергії та розподіл енергетичного потенціалу сонячного випромінювання для кожної з областей України. Середньорічна кількість сумарної сонячної радіації, що поступає на 1 м² поверхні, на території України знаходиться в межах: від 1070 кВт·год/м² в північній частині України до 1400 кВт·год/м² і вище в АР Крим. Потенціал сонячної енергії в Україні є достатньо високим для широкого впровадження як теплоенергетичного, так і фотоенергетичного обладнання практично в усіх областях. Термін ефективної експлуатації геліоенергетичного обладнання в південних областях України – 7 місяців (з квітня по жовтень), в північних областях 5 місяців (з травня по вересень). Фотоенергетичне обладнання може достатньо ефективно експлуатуватися впродовж всього року.

У кліматометеорологічних умовах України для сонячного теплопостачання ефективним є застосування плоских сонячних колекторів, які використовують як пряму, так і розсіяну сонячну радіацію. Концентруючі сонячні колектори можуть бути достатньо ефективними тільки в південних регіонах України.

Енергетичний потенціал малих рік. Україна має потужні ресурси гідроенергії малих рік. Загальний гідроенергетичний потенціал малих рік України становить біля 12,5 млрд. кВт·год, що складає біля 28 % загального гідропотенціалу всіх рік України. Головною перевагою малої гідроенергетики є дешевизна електроенергії, генерованої на гідроелектростанціях; відсутність паливної складової в процесі отримання електроенергії при впровадженні малих гідроелектростанцій дає позитивний економічний та екологічний ефект. Первинним джерелом енергії для малої гідроенергетики є гідропотенціал малих річок; верхня межа потужності гідроенергетичного обладнання становить 30 МВт. Згідно міжнародної класифікації за нормативом ООН, до малих гідроелектростанцій (МГЕС) відносять гідроелектростанції потужністю від 1 до 30 МВт, до міні ГЕС – від 100 до 1000 кВт, до мікро ГЕС – не більше 100 кВт. При використанні гідропотенціалу малих річок України можна досягти значної економії

паливно-енергетичних ресурсів, причому розвиток малої гідроенергетики сприятиме децентралізації загальної енергетичної системи, чим зніме ряд проблем як в енергопостачанні віддалених і важкодоступних районів сільської місцевості, так і в керуванні гігантськими енергетичними системами; при цьому вирішуватиметься цілий комплекс проблем в економічній, екологічній та соціальній сферах життєдіяльності та господарювання в сільській місцевості, в тому числі і районних центрів. Малі-, міні- та мікро ГЕС можуть стати потужною основою енергозабезпечення для всіх регіонів Західної України, а для деяких районів Закарпатської та Чернівецької областей – джерелом повного самоенергозабезпечення.

Енергетичний потенціал біомаси. В Україні існує достатній енергетичний потенціал практично всіх видів біомаси і необхідна науковотехнічна та промислова база для розвитку даної галузі енергетики. Показники енергетичного потенціалу біомаси відрізняються від потенціалу інших відновлюваних джерел енергії тим, що, окрім кліматометеорологічних умов, енергетичний потенціал біомаси в країні в значній мірі залежить від багатьох інших факторів, в першу чергу від рівня господарської діяльності.

Енергетичний потенціал біомаси представлено такими її складовими – енергетичним потенціалом тваринницької і рослинної сільськогосподарської біомаси та енергетичним потенціалом відходів деревини.

Основними технологіями переробки біомаси, які можна рекомендувати до широкого впровадження в даний час є: пряме спалювання, піроліз, газифікація, анаеробна ферментація з утворенням бігазу, виробництво спиртів та масел для одержання моторного палива. При обґрунтуванні впровадження біоенергетичних технологій забезпечення охорони навколишнього середовища знезараженням відходів біомаси часто посідає перше місце; у процесі переробки тваринницьких відходів та міських стічних вод, окрім знешкодження небезпечної мікрофлори, гельмінтів та насіння бур'янів, які попадають в ґрунти, в поверхневі та підземні води, усувається забруднення повітря в зонах їх накопичення. Економічна ефективність біоенергетичного обладнання в більшості випадків забезпечується правильним вибором технології переробки біомаси та розташуванням обладнання в місцях постійного її накопичення; важливим є також ефективне і, по можливості, комплексне використання всіх отриманих в процесі переробки продуктів.

Потенціал геотермальної енергії. Україна має значні ресурси геотермальної енергії, загальний потенціал яких в програмі державної підтримки розвитку нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії та малої гідро- та теплоенергетики оцінюється величиною 438·106 кВт·год на рік, що еквівалентно запасам палива в обсязі 50·106 т у.п. Геотермальні ресурси України представляють собою перш за все термальні води і тепло нагрітих сухих гірських порід.

Крім цього, до перспективних для використання в промислових масштабах можна віднести ресурси нагрітих підземних вод, які виводяться з нафтою та газом діючими свердловинами нафтогазових родовищ. Досить перспективним напрямком енергозберігаючої технологічної політики, що дозволяє забезпечити значну економію традиційного палива, є використання геотермальної енергії для опалення, водопостачання і кондиціонування повітря в житлових та громадських будинках і спорудах в містах і сільській місцевості, а також технологічне використання глибинного тепла Землі в різних галузях промисловості і сільського господарства.

Найбільш поширеним і придатним в даний час до технічного використання джерелом геотермальної енергії в Україні є геотермальні води. Одним із перспективних напрямів розвитку геотермальної енергетики є створення комбінованих енерготехнологічних вузлів для отримання електроенергії, теплоти та цінних компонентів, що містяться в геотермальних теплоносіях.

Новітні технології дозволяють звести негативний вплив, що виникає при експлуатації геотермальних джерел енергії, до мінімуму. Оцінки, зроблені рядом організацій, показали, що розвиток систем геотермального теплопостачання може дозволити не тільки економити органічне паливо, але й спрощувати вирішення екологічних проблем для створення сприятливих санітарних та житлових умов життя і праці населення.

Низькопотенційні джерела енергії. Енергетичний потенціал теплової енергії стічних вод. Основними джерелами низькопотенційної скидної теплоти техногенного походження є вентиляційні викиди та охолоджуюча вода технологічного та енергетичного обладнання підприємств, промислові та комунально-побутові стоки. Досвід провідних країн свідчить, що найбільш ефективним є використання теплової енергії стічних вод за допомогою теплових насосів.

В Україні каналізаційні системи централізованого відведення комунально-побутових стоків функціонують в 427 містах, 515 селах міського типу, 856 селах. Питомий обсяг комунально-побутових стоків становить 0,15- 0,4 м³ на одного жителя за добу.

Цей показник значною мірою залежить від доступності води та соціально-економічних умов в окремих регіонах. В Україні загальний річний об'єм комунально-побутових стоків становить близько 3740 млн. м³. Температура стоків становить 12-20 °С в залежності від сезону.

Потужні теплонасосні станції тепlopостачання можуть розміщатися біля відвідних каналів очищених комунально-побутових вод. Можливим є створення окремих теплонасосних установок для утилізації теплоти умовно чистих стоків басейнів, спортивних комплексів, пральних комбінатів та інших об'єктів побутового і промислового призначення.

Для розрахунку ресурсів низькопотенційної теплової енергії стічних вод прийнято, що температура стоків в літній період становить 20 °С, а в зимовий період 12 °С. В ідеальному випадку в тепловому насосі стічні води можна охолодити до 0 °С, але в реальних умовах досягається охолодження до 0,5 °С.

Економічно-доцільні обсяги використання низькопотенційної теплової енергії стічних вод розраховуються, виходячи з половини обсягу очищених стоків від міських поселень відповідної області (враховуються обмеження, пов'язані з нерівномірністю надходження стоків). Завдяки роботі теплонасосних станцій можна зменшити споживання високоякісного палива в комунальних системах тепlopостачання міст; при використанні теплових насосів з приводом від двигунів внутрішнього згорання, паро- або газотурбінних установок значно збільшуються можливі обсяги виробництва товарної теплової енергії, а ефективність теплонасосних станцій зростає майже у два вражай.

Енергетичний потенціал теплоти ґрунту та ґрунтових вод в Україні.

Температура ґрунту та гірських порід біля поверхні Землі визначається балансом теплової енергії, що надходить від Сонця та тепловим випромінюванням земної поверхні.

Теплова енергія, що надійшла від Сонця, акумулюється в шарі ґрунту осадових та гірських порід на глибинах до ізотермічної поверхні. Шар ґрунту між глибиною промерзання та ізотермічною поверхнею може розглядатися як природний сезонний акумулятор теплової енергії, причому енергія, відведена в зимовий період буде відновлюватись в теплий період року. Це стосується і ґрунтових вод, що насичують вищевказані шари ґрунту та осадових порід. Теплова енергія ґрунту та ґрунтових вод може використовуватися для обігріву та вентиляції приміщень. Відбір теплової енергії від ґрунту може здійснюватися за допомогою ґрунтових теплообмінників різних типів. Температура теплоносія в ґрунтовому теплообміннику становить від мінус 5-7 до плюс 10-12°С і є придатною для виробництва теплоносія з температурою 40- 70°С за допомогою теплових насосів.

Для оцінки енергетичного потенціалу енергії відновлюваних та нетрадиційних джерел і для встановлення можливих обсягів його практичного використання та обсягів заміщення традиційних паливно-енергетичних ресурсів проведено розподіл на три різновиди – загальний, технічний і доцільно-економічний. Загальний потенціал – це уся кількість енергії, якою характеризується кожне з розглянутих джерел енергії.

Технічний потенціал – це частка енергії загального потенціалу, яку можна реалізувати за допомогою сучасних технічних засобів; доцільно-економічний потенціал – кількість енергії, яку доцільно використовувати, враховуючи при цьому наступні фактори: економічні, екологічні, технічно-технологічні, соціальні та політичні.

2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА.

На основі теоретичної частини роботи дати характеристику енергетичному потенціалу певного альтернативного джерела енергії на території України. На основі таблиць і карт

(додаток) на контурній карті України необхідно відобразити розподіл економічно-обґрунтованого потенціалу певного виду енергії. Зробити відповідні висновки. Оформлення графічної частини здійснюється відповідно до призначеного кожному студенту варіанту завдання.

1. Охарактеризувати потенціал сонячної енергії України.
2. Охарактеризувати енергетичний потенціал торфу в Україні.
3. Охарактеризувати енергетичний потенціал низькопотенційної теплоти ґрунту і ґрунтових вод в областях України.
4. Охарактеризувати енергетичний потенціал низькопотенційної теплової енергії стічних вод в областях України.
5. Охарактеризувати потенціал геотермальної енергії в Україні.
6. Охарактеризувати потенціал енергії тваринницької сільськогосподарської біомаси в Україні.
7. Охарактеризувати потенціал енергії рослинної сільськогосподарської біомаси в Україні.
8. Охарактеризувати енергетичний потенціал відходів лісу в Україні.
9. Охарактеризувати енергетичний потенціал вітрової енергії в Україні.
10. Охарактеризувати гідроенергетичний потенціал малих річок України. Відповідно до варіанту завдання кожен студент повинен зробити висновок про закономірність розподілу того або іншого параметру по території України і обґрунтувати причини цього розподілу.

Питання для самоконтролю.

1. Охарактеризуйте можливості застосування енергії вітру для виробництва електроенергії.
2. Охарактеризуйте напрямки використання сонячної енергії.
3. Розкрийте можливості використання енергетичного потенціалу малих річок.
4. Наведіть приклади використання органічних відходів для виробництва біопалива та біогазу.
5. Охарактеризуйте напрямки використання геотермальної енергії в промисловості та житлово-комунальному господарстві.
6. Розкрийте напрямки використання низькопотенційних джерел енергії.

Практична робота № 2

Тема: Паливо та його склад.

Мета: засвоєння студентами методики визначення елементарного складу робочої маси палива.

Методичні вказівки до виконання

Паливом називаються хімічні сполуки, в результаті горіння яких виділяється теплота, яку економічно доцільно використовувати для промислових та побутових потреб.

Тверде і рідке органічне паливо (табл. 1.1) складається з хімічних сполук вуглецю С, водню Н, сірки S, кисню О, азоту N, вологи W і негорючих твердих (мінеральних) домішок, що утворюють золу А.

Природний газ є сумішшю горючих (вуглеводнів C_nH_m (насичених C_nH_{2n+2} та ненасичених C_nH_{2n}), H_2 , CO та H_2S) та негорючих газів (N_2 , CO_2 , O_2). Складається переважно з метану CH_4 =85 – 98 %. Розрахунки спалювання палива виконують на підставі його елементарного складу і технічного аналізу.

Елементарний склад палива буває: органічний, сухий, робочий та горючий (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 Паливні маси

Позначення	C	H	O	N	S		A	W
					S _{вр} +S _c	S _к		
Органічна	C ^O + H ^O + O ^O + N ^O + S ^O =100%							
Горюча	C ^I + H ^I + O ^I + N ^I + S ^I =100%							
Суха	C ^C + H ^C + O ^C + N ^C + S ^C + A ^C =100%							
Робоча	C ^p + H ^p + O ^p + N ^p + S ^p + A ^p + W ^p =100%							

Розрахунки процесів горіння у топках котлів проводять за робочою масою палива. Перерахування з однієї маси палива на іншу проводиться за допомогою множників (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 Множники для перерахування складу палива з одного стану в інший

Задана маса	Маса, яку шукаємо			
	органічна	горюча	суха	робоча
Органічна	1	$\frac{100 - S_{\text{л}}^{\text{г}}}{100}$	$\frac{100 - (S_{\text{л}}^{\text{г}} + A^{\text{с}})}{100}$	$\frac{100 - (S_{\text{л}}^{\text{г}} + A^{\text{п}} + W^{\text{п}})}{100}$
Горюча	$\frac{100}{100 - S_{\text{л}}^{\text{г}}}$	1	$\frac{100 - A^{\text{с}}}{100}$	$\frac{100 - (A^{\text{п}} + W^{\text{п}})}{100}$
Суха	$\frac{100}{100 - (S_{\text{л}}^{\text{г}} + A^{\text{с}})}$	$\frac{100}{100 - A^{\text{с}}}$	1	$\frac{100 - W^{\text{п}}}{100}$
Робоча	$\frac{100}{100 - (S_{\text{л}}^{\text{г}} + A^{\text{п}} + W^{\text{п}})}$	$\frac{100}{100 - (A^{\text{п}} + W^{\text{п}})}$	$\frac{100}{100 - W^{\text{п}}}$	1

Задача 1. Визначити склад робочої маси донецького вугілля, якщо елементарний склад його горючої маси: $C^{\text{г}} = 75,5\%$, $H^{\text{г}} = 5,5\%$, $S_{\text{л}}^{\text{г}} = 4,2\%$, $N^{\text{г}} = 1,6\%$, $O^{\text{г}} = 12,2\%$, $A^{\text{с}} = 18\%$, $W^{\text{п}} = 13\%$.

$$\begin{aligned}
 &C^{\text{г}} = 75,5\% \\
 &H^{\text{г}} = 5,5\% \\
 &S_{\text{л}}^{\text{г}} = 4,2\% \\
 &N^{\text{г}} = 1,6\% \\
 &O^{\text{г}} = 12,2\% \\
 &A^{\text{с}} = 18\% \\
 &W^{\text{п}} = 13\% \\
 &C^{\text{п}} - ? \quad H^{\text{п}} - ? \\
 &S^{\text{п}} - ? \quad N^{\text{п}} - ? \\
 &A^{\text{п}} - ? \quad O^{\text{п}} - ?
 \end{aligned}$$

1. Зольність робочої маси палива визначаємо за формулами табл. 1.2:
$$A^{\text{п}} = A^{\text{с}} \frac{100 - W^{\text{п}}}{100} = 18 \frac{100 - 13}{100} = 15,7\%.$$
2. Перерахунок елементарного складу палива з горючої маси на робочу проводиться за формулою (табл. 1.2):
$$x^{\text{п}} = x^{\text{г}} \frac{100 - (A^{\text{п}} + W^{\text{п}})}{100}.$$

$$C^{\text{п}} = C^{\text{г}} \frac{100 - (A^{\text{п}} + W^{\text{п}})}{100} = 75,5 \frac{100 - (15,7 + 13)}{100} = 53,8\%.$$

$$H^{\text{п}} = 5,5 \frac{100 - (15,7 + 13)}{100} = 3,9\%.$$

$$S_{\text{л}}^{\text{п}} = 4,2 \frac{100 - (15,7 + 13)}{100} = 3\%.$$

$$N^{\text{п}} = 1,6 \frac{100 - (15,7 + 13)}{100} = 1,14\%.$$

$$O^{\text{п}} = 13,2 \frac{100 - (15,7 + 13)}{100} = 9,4\%.$$

$$W^{\text{п}} = 13\%.$$

Для перевірки точності проведених розрахунків просумуємо складові частини робочої маси палива:

$$C^{\text{п}} + H^{\text{п}} + S_{\text{л}}^{\text{п}} + N^{\text{п}} + O^{\text{п}} + A^{\text{п}} + W^{\text{п}} = 100\%.$$

Задача 2. Визначити склад робочої маси вугілля, якщо елементарний склад його горючої маси: $C^{\text{г}} = 71,5\%$, $H^{\text{г}} = 5,2\%$, $S_{\text{л}}^{\text{г}} = (S_{\text{л}}^{\text{г}} + S_{\text{к}}^{\text{г}}) = 2,7\%$, $N^{\text{г}} = 1,7\%$, $O^{\text{г}} = 18,9\%$, а вологість робочої маси $W^{\text{п}} = 17\%$, зольність сухої маси $A^{\text{с}} = 34\%$.

$$\begin{aligned}
 &C^{\text{г}} = 71,5\% \\
 &H^{\text{г}} = 5,2\% \\
 &S_{\text{л}}^{\text{г}} = (S_{\text{л}}^{\text{г}} + S_{\text{к}}^{\text{г}}) = 2,7\% \\
 &N^{\text{г}} = 1,7\% \\
 &O^{\text{г}} = 18,9\% \\
 &W^{\text{п}} = 17\% \\
 &A^{\text{с}} = 34\% \\
 &C^{\text{п}} - ? \quad H^{\text{п}} - ? \quad S^{\text{п}} - ? \\
 &N^{\text{п}} - ? \quad A^{\text{п}} - ? \quad O^{\text{п}} - ?
 \end{aligned}$$

1. Зольність робочої маси палива визначаємо за формулами табл. 1.1:
$$A^{\text{п}} = A^{\text{с}} \frac{100 - W^{\text{п}}}{100} = 34 \frac{100 - 17}{100} = 28,2\%.$$
2. Перераховуємо компоненти палива з горючої маси на робочу з використанням розрахованого коефіцієнту:
$$\frac{100 - (A^{\text{п}} + W^{\text{п}})}{100} = \frac{100 - (28,2 + 17)}{100} = 0,548,$$

$$C^{\text{п}} = C^{\text{г}} \frac{100 - (A^{\text{п}} + W^{\text{п}})}{100} = 71,5 \cdot 0,548 = 39,2\%,$$

$$H^{\text{п}} = 5,2 \cdot 0,548 = 2,8\%,$$

$$S_{\text{л}}^{\text{п}} = 2,7 \cdot 0,548 = 1,5\%,$$

$$N^{\text{п}} = 1,7 \cdot 0,548 = 0,9\%,$$

$$O^{\text{п}} = 18,9 \cdot 0,548 = 10,4\%.$$

Для перевірки проведених розрахунків просумуємо складові частини елементарної робочої маси палива:

$$C^P + H^P + S^P + N^P + O^P + A^P + W^P = 39,2 + 2,8 + 1,5 + 0,9 + 10,4 + 28,2 + 17 = 100\%.$$

Перерахунок на іншу вологість.

Задача 3. Визначити склад робочої маси палива, якщо в таблиці вказаний склад: $C^P = 38,6\%$, $H^P = 2,6\%$, $S^P = 3,8\%$, $N^P = 0,8\%$, $O^P = 3,1\%$, $W^P = 11\%$, $A^P = 40,1\%$, а технічний аналіз показав, що дійсна вологість складає $P^W = 16\%$.

$C^P = 38,6\%$	1. Перерахунок елементарного складу палива з однієї вологості на іншу проводиться за формулою: $x_1^P = x^P \frac{100 - W_1^P}{100 - W^P}.$ $C_1^P = 38,6 \frac{100 - 16}{100 - 11} = 38,6 \cdot 0,9438 = 36,43\%.$ $H_1^P = 2,6 \cdot 0,9438 = 2,45\%.$ $S_1^P = 3,8 \cdot 0,9438 = 3,586\%.$ $N_1^P = 0,8 \cdot 0,9438 = 0,755\%.$ $O_1^P = 3,1 \cdot 0,9438 = 2,926\%.$ $A_1^P = 40,1 \cdot 0,9438 = 37,84\%.$
$H^P = 2,6\%$	
$S^P = 3,8\%$	
$N^P = 0,8\%$	
$O^P = 3,1\%$	
$W^P = 11\%$	
$A^P = 40,1\%$	
$W_1^P = 16\%$	
$C_1^P - ?, H_1^P - ?,$	
$S_1^P - ?, N_1^P - ?,$	
$A_1^P - ?, O_1^P - ?.$	

Задача 4. У топці котельного агрегату спалюється суміш різних видів палив, яка складається з 400 кг кам'яного вугілля складу: $C^P_1 = 57\%$, $H^P_1 = 3,4\%$, $(S^P_{л1}) = 0,8\%$, $N^P = 0,9\%$, $O^P_1 = 5,4\%$, $A^P_1 = 25\%$, $W^P_1 = 7,5\%$ та 600 кг кам'яного вугілля складу: $C^P_2 = 52,7\%$, $H^P_2 = 3,9\%$, $(S^P_{л2}) = 4,6\%$, $N^P_2 = 0,9\%$, $O^P_2 = 6,3\%$, $A^P_2 = 26,6\%$, $W^P_2 = 5\%$.

Визначити елементарний склад робочої маси суміші палив.

400 кг	600 кг	1. Масова частка одного з палив у суміші знаходиться за формулою: $a_1 = \frac{B_1}{B_1 + B_2}; \quad a_2 = 1 - a_1; \quad x^P = x_1^P a_1 + x_2^P (1 - a_1).$ $a_1 = \frac{B_1}{B_1 + B_2} = \frac{400}{400 + 600} = 0,4.$ 2. Тоді елементарний склад робочої суміші палива визначається: $C^P_{см} = a_1 C^P_1 + (1 - a_1) C^P_2 = 0,4 \cdot 57 + (1 - 0,4) \cdot 52,7 = 54,4\%$ $H^P_{см} = 0,4 \cdot 3,4 + (1 - 0,4) \cdot 3,9 = 3,7\%$ $S^P_{лсм} = 0,4 \cdot 0,8 + (1 - 0,4) \cdot 4,6 = 3,1\%$ $N^P_{см} = 0,4 \cdot 0,9 + (1 - 0,4) \cdot 0,9 = 0,9\%$ $O^P_{см} = 0,4 \cdot 5,4 + (1 - 0,4) \cdot 6,3 = 5,9\%.$ $A^P_{см} = 0,4 \cdot 25 + (1 - 0,4) \cdot 26,6 = 26\%.$ $W^P_{см} = 0,4 \cdot 7,5 + (1 - 0,4) \cdot 5 = 6\%.$
$C^P_1 = 57\%$	$C^P_2 = 52,7\%$	
$H^P_1 = 3,4\%$	$H^P_2 = 3,9\%$	
$S^P_{л1} = 0,8\%$	$S^P_{л2} = 4,6\%$	
$N^P_1 = 0,9\%$	$N^P_2 = 0,9\%$	
$O^P_1 = 5,4\%$	$O^P_2 = 6,3\%$	
$A^P_1 = 25\%$	$A^P_2 = 26,6\%$	
$W^P_1 = 7,5\%$	$W^P_2 = 5\%$	
$C^P_{см} - ?, H^P_{см} - ?,$		
$S^P_{см} - ?, N^P_{см} - ?,$		
$A^P_{см} - ?, O^P_{см} - ?.$		

Перевірка:

$$54,4 + 3,7 + 3,1 + 0,9 + 5,9 + 26 + 6 = 100\%.$$

Практична робота № 3

Тема: Паливо та його горіння.

Мета: засвоєння студентами методики визначення кількості необхідних компонентів для процесу горіння палива.

Методичні вказівки до виконання

Горіння - це хімічний процес з'єднання окислювача з горючими елементами палива, що супроводжується інтенсивним виділенням теплоти і значним підвищенням температури.

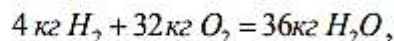
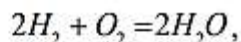
Під час горіння твердого палива протікають наступні основні реакції:

1. Вуглець до діоксиду вуглецю	$C + O_2 \rightarrow CO_2 + 31 \text{ МДж/(кг С)}.$
2. Вуглець до оксиду вуглецю	$2C + O_2 \rightarrow 2CO + 9,92 \text{ МДж/(кг С)}.$
3. Оксид вуглецю до діоксиду вуглецю	$2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2 + 10,14 \text{ МДж/(кг СО)}.$
4. Водень до водяної пари	$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O + 120 \text{ МДж/(кг Н)}.$
5. Сірка до діоксиду сірки	$S + O_2 \rightarrow SO_2 + 9,3 \text{ МДж/(кг S)}.$

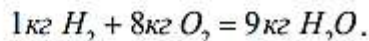
Всі розрахунки процесу горіння палива проводяться на 1 кг твердого і рідкого палива або на 1 м³ газоподібного палива за н. у. ($p_{н.у.} = 101325 \text{ Па}$ (760 мм рт.ст), $T_{н.у.} = 273 \text{ К}$) і зводяться до визначення об'єму повітря, необхідного для горіння палива, складу і об'єму газоподібних продуктів та їх ентальпій.

Задача 1. Визначити скільки необхідно подати кисню, щоб спалити 1 кг H₂?

I. Запишемо відповідну реакцію окислення при повному згорянні водню:



на одиницю маси горючого елемента:



Таким чином, при повному згорянні 1 кг водню необхідно 8 кг кисню і при цьому утворюється 9 кг водяної пари.

II. Як правило, кількість необхідного кисню визначають в об'ємних одиницях.

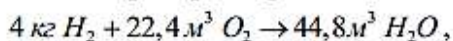
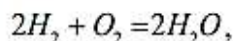
Об'єм 1 кмоль для всіх ідеальних газів за н. у. дорівнює 22,4 м³.

Продукти згорання вважаємо ідеальними газами (при високих температурах і малих тисках можна знехтувати силами притягання і об'ємами самих молекул).

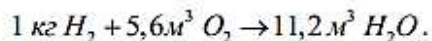
Питомий об'єм будь-якого ідеального газу за н.у.:

$$v_{н.у.} = \frac{22,4}{\mu} \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Тоді:



на одиницю маси горючого елемента:



При повному згорянні 1 кг водню необхідно 5,6 м³ кисню і утворюється 11,2 м³ H₂O.

III. Щоб отримати значення кількості необхідного кисню і продуктів згоряння в об'ємних одиницях, можна отримані значення (див. пункт I) розділити на густину відповідного газу:

$$\rho_{O_2}^{H.Y.} = 1,429 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, \quad \rho_{H_2O} = 0,804 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3},$$

$$1 \text{ кг } H_2 + \frac{8}{1,429} O_2 = \frac{9}{0,804} H_2O$$

або $1 \text{ кг } H_2 \quad 5,6 \text{ м}^3 O_2 \quad 11,2 \text{ м}^3 H_2O.$

Задача 2. Визначити кількість кисню, яка необхідна для спалювання 1 кг палива, що складається з 0,56 кг С, 0,24 Н, 0,1 кг S і 0,1 кг негорючих матеріалів, та об'єм продуктів згоряння.

0,56 кг С	$\mu_C = 12 \text{ кг/кмоль}; \mu_S = 32 \text{ кг/кмоль}$ Запишемо відповідні реакції горіння 1. $C + O_2 = CO_2$ $12 \text{ кг } C + 22,4 \text{ м}^3 O_2 \rightarrow 22,4 \text{ м}^3 CO_2$ $0,56 \text{ кг } C + \frac{22,4}{12} \cdot 0,56 \text{ м}^3 O_2 = \frac{22,4}{12} \cdot 0,56 \text{ м}^3 CO_2$ $0,56 \text{ кг } C + 1,045 \text{ м}^3 O_2 \rightarrow 1,045 \text{ м}^3 CO_2.$ $V_{O_2}^C = 1,045 \text{ м}^3; V_{CO_2} = 1,045 \text{ м}^3.$
0,24 кг Н	
0,1 кг S	
0,1 кг негорючих матеріалів	
$\sum V_{O_2} - ? \quad V_r - ?$	

2. $2H_2 + O_2 = 2H_2O$
 $4 \text{ кг } H_2 + 22,4 \text{ м}^3 O_2 \rightarrow 44,8 \text{ м}^3 H_2O$
 $0,24 \text{ кг } H_2 - 1,344 \text{ м}^3 O_2 - 2,688 \text{ м}^3 H_2O$
 $V_{O_2}^H = 1,344 \text{ м}^3; V_{H_2O} = 2,688 \text{ м}^3.$

3. $S + O_2 = SO_2$
 $32 \text{ кг } S + 22,4 \text{ м}^3 O_2 \rightarrow 22,4 \text{ м}^3 SO_2$
 $0,1 \text{ кг } S - 0,07 \text{ м}^3 O_2 - 0,07 \text{ м}^3 SO_2$
 $V_{O_2}^S = 0,07 \text{ м}^3; V_{SO_2} = 0,07 \text{ м}^3.$

4. Загальна кількість кисню:
 $\sum V_{O_2} = V_{O_2}^C + V_{O_2}^H + V_{O_2}^S = 1,045 + 1,344 + 0,07 = 2,46 \text{ м}^3 \text{ за н. у.}$

5. Загальний об'єм продуктів згоряння:
 $V_r = V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{SO_2} = 1,045 + 2,688 + 0,07 = 3,803 \text{ м}^3 \text{ за н. у.}$

Задача 3. За умовою попередньої задачі визначити об'єм повітря, необхідного для горіння палива. Вважаємо, що у повітрі 21% кисню і 79% азоту.

Для визначення теоретично необхідної кількості повітря при спалюванні 1 кг палива, тобто за умови, що весь кисень, який міститься в ньому прореагує при горінні палива, розділимо V_{O_2} на 0,21, бо в повітрі міститься 21% кисню:

$$\frac{V_{O_2}}{0,21} = \frac{2,46}{0,21} = 11,7 \text{ м}^3 \text{ повітря.}$$

Задача 4. Визначити необхідну кількість повітря для спалювання 1 кг CH_4 .

$$\begin{aligned}\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 &= \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \\ 16 \text{ кг } \text{CH}_4 + 44,8 \text{ м}^3 \text{ O}_2 &= 22,4 \text{ м}^3 \text{ CO}_2 + 44,8 \text{ м}^3 \text{ H}_2\text{O} \\ 1 \text{ кг } \text{CH}_4 - 2,8 \text{ м}^3 \text{ O}_2 \\ V_{\text{O}_2} = 2,8 \text{ м}^3 \quad V_{\text{пов}} &= \frac{V_{\text{O}_2}}{0,21} = \frac{2,8}{0,21} = 13,3 \text{ м}^3.\end{aligned}$$

Задача 5. Визначити об'єм відхідних газів V_T якщо їх температура 700°C , а тиск 1 атм (за умовою задачі 2).

Для розв'язку задачі використовуємо рівняння стану ідеальних газів

$$\begin{aligned}pV_1 &= mRT_1, \quad pV_2 = mRT_2 \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \rightarrow V_2 = V_1 \frac{T_2}{T_1}; \\ V_{\text{CO}_2}^{700^\circ\text{C}} &= V_1 \frac{T_2}{T_1} = 1,045 \cdot \frac{973}{273} = 3,71 \text{ м}^3; \\ V_{\text{H}_2\text{O}}^{700^\circ\text{C}} &= 2,688 \cdot \frac{973}{273} = 9,528 \text{ м}^3; \\ V_{\text{SO}_2}^{700^\circ\text{C}} &= 0,07 \cdot \frac{973}{273} = 0,25 \text{ м}^3. \\ V_T &= V_{\text{CO}_2}^{700^\circ\text{C}} + V_{\text{H}_2\text{O}}^{700^\circ\text{C}} + V_{\text{SO}_2}^{700^\circ\text{C}} = 13,54 \text{ м}^3.\end{aligned}$$

Задача 6. Визначити об'єм необхідної кількості повітря при спалюванні 1 м³ газоподібного палива, яке складається з 80% CH_4 , 15% C_2H_6 , 5% C_3H_8 і об'єм утвореної водяної пари.

1 м ³ палива	Складаємо відповідні рівняння горіння:
80% $\rightarrow 0,8 \text{ м}^3 \text{ CH}_4 -$	1. $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
15% $\rightarrow 0,15 \text{ м}^3 \text{ C}_2\text{H}_6$	1 кмоль $\text{CH}_4 + 2$ кмоль $\text{O}_2 \rightarrow 1$ кмоль $\text{CO}_2 + 2$ кмоль H_2O
5% $\rightarrow 0,05 \text{ м}^3 \text{ C}_3\text{H}_8$	$22,4 \text{ м}^3 \text{ CH}_4 + 44,8 \text{ м}^3 \text{ O}_2 \rightarrow 22,4 \text{ м}^3 \text{ CO}_2 + 44,8 \text{ м}^3 \text{ H}_2\text{O}$
$V_{\text{пов}} - ?$	$1 \text{ м}^3 \text{ CH}_4 - 2 \text{ м}^3 \text{ O}_2 - 1 \text{ м}^3 \text{ CO}_2 - 2 \text{ м}^3 \text{ H}_2\text{O}$
$\sum V_{\text{H}_2\text{O}} - ?$	$0,8 \text{ м}^3 \text{ CH}_4 - V_{\text{O}_2} \text{ м}^3 - V_{\text{CO}_2} \text{ м}^3 - V_{\text{H}_2\text{O}} \text{ м}^3$
	$1 \text{ м}^3 - 2 \text{ м}^3$
	$0,8 \text{ м}^3 - V_{\text{O}_2}$
	$V_{\text{O}_2} = \frac{2 \cdot 0,8}{1} = 1,6 \text{ м}^3;$
	$1 \text{ м}^3 - 2 \text{ м}^3$
	$0,8 \text{ м}^3 - V_{\text{H}_2\text{O}}$
	$V_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{2 \cdot 0,8}{1} = 1,6 \text{ м}^3.$

Аналогічно складаються рівняння горіння для інших горючих компонентів газоподібного палива та визначаються об'єми кисню та водяної пари (V_{O_2} , $V_{\text{H}_2\text{O}}$):

$$\begin{array}{l}
2. \quad 2\text{C}_2\text{H}_6 + 7\text{O}_2 = 4\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \\
2 \text{ м}^3 \text{ C}_2\text{H}_6 - 7 \text{ м}^3 \text{ O}_2 \quad \quad - 6 \text{ м}^3 \text{ H}_2\text{O} \\
0,15 \text{ м}^3 \text{ C}_2\text{H}_6 - V_{\text{O}_2} \text{ м}^3 \quad \quad - V_{\text{H}_2\text{O}} \text{ м}^3 \\
V_{\text{O}_2} = \frac{7 \cdot 0,15}{2} = 0,525 \text{ м}^3; \\
V_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{6 \cdot 0,15}{2} = 0,45 \text{ м}^3. \\
3. \quad \text{C}_3\text{H}_8 + 5\text{O}_2 = 3\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O} \\
1 \text{ м}^3 \text{ C}_3\text{H}_8 - 5 \text{ м}^3 \text{ O}_2 \quad \quad - 4 \text{ м}^3 \text{ H}_2\text{O} \\
0,05 \text{ м}^3 \text{ C}_3\text{H}_8 - V_{\text{O}_2} \quad \quad - V_{\text{H}_2\text{O}} \\
V_{\text{O}_2} = \frac{5 \cdot 0,05}{1} = 0,25 \text{ м}^3; \\
V_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{4 \cdot 0,05}{1} = 0,2 \text{ м}^3. \\
4. \quad \sum V_{\text{O}_2} = 1,6 + 0,525 + 0,25 = 2,375 \text{ м}^3. \\
5. \quad \sum V_{\text{H}_2\text{O}} = 1,6 + 0,45 + 0,2 = 2,25 \text{ м}^3. \\
6. \quad V_{\text{пов}} = \frac{2,375}{0,21} = 11,31 \text{ м}^3.
\end{array}$$

Практична робота № 4

Тема: Паливо та теплота його згорання.

Мета: засвоєння студентами методики визначення нижчої і вищої теплоти згорання робочої маси палива.

Методичні вказівки до виконання

Теплота згорання (англ. *heat of combustion, heat [calorific] value*):

• 1. Тепловий ефект, що супроводжує цілковите згорання певної кількості речовини в кисні до діоксиду вуглецю, води й вищих оксидів інших елементів, залежить від температури, відноситься звичайно до 298 К та 10^5 Па.

• 2. Кількість теплоти, що виділяється при повному згорянні одиниці маси палива у кисні, в т. зв. калориметричній бомбі. Найважливіший показник для характеристики палива. Визначається хімічним складом горючої речовини.

Теплота згорання, віднесена до одиниці маси або об'єму палива, називається питомою теплою згорання (Дж або кал. на 1 кг, м³ або моль). У англ. системі мір — в одиницях BTU (British Thermal Unit — кількість тепла в калоріях, необхідна для нагрівання 1 англ. фунта води на 1 °Ф). 1 BTU = 1054—1060 Дж = 252—253 кал.

Теплота згорання може бути віднесена до робочої маси горючої речовини Q^P , тобто до горючої речовини в тому вигляді, у якому вона надходить до споживача; до сухої маси речовини Q^C ; до горючої маси речовини Q^F , тобто до горючої речовини, що не містить води й золи.

Розрахунок нижчої теплоти згорання робочої маси твердого або рідкого палива виконується за формулою Менделєєва, МДж/кг:

$$Q_H^P = 0,338C^P + 1,025H^P - 0,1085(O^P - S_L^P) - 0,025W^P.$$

Вищу теплоту згорання робочої маси твердого або рідкого палива розраховують за формулою:

$$Q_B^P = Q_H^P + 0,225H^P + 0,025W^P = 0,338C^P + 1,25H^P - 0,1085(O^P - S_L^P).$$

Нижчу питому теплоту згорання сухої маси газоподібного палива Q_H^C визначають з рівняння, МДж/м:

$$Q_H^C = 0,3581 CH_4 + 0,6374 C_2H_6 + 1,135 C_3H_8 + 1,1862 C_4H_{10} + \\ + 1,461 C_5H_{12} + 0,108 H_2 + 0,1263 CO + 0,234 H_2S.$$

Формули для перерахунку теплоти згорання палива різного складу наведено в табл. 1.

Таблиця 1 Формули для знаходження теплоти згорання палива

Заданий склад	Робочий	Горючий	Сухий
Робочий	1	$Q_H^r = \frac{(Q_H^p + 25W^p)100}{100 - (A^p + W^p)}$	$Q_H^c = \frac{(Q_H^p + 25W^p)100}{100 - W^p}$
Горючий	$Q_H^p = Q_H^r \frac{100 - (A^p + W^p)}{100} - 25W^p$	1	$Q_H^c = Q_H^r \frac{100 - A^c}{100}$
Сухий	$Q_H^p = Q_H^c \frac{100 - W^p}{100} - 25W^p$	$Q_H^p = Q_H^c \frac{100}{100 - A^c}$	1

Задача 1. Визначити нижчу і вищу теплоту згорання робочої маси палива, якщо відомий його елементарний склад: $C^p = 60,5\%$, $O^p = 12\%$, $H^p = 4,6\%$, $S_L^p = 0,5\%$, $N^p = 0,9\%$, $A^p = 9,5\%$, $W^p = 12\%$.

$$C^p = 60,5\%$$

$$O^p = 12\%$$

$$H^p = 4,6\%$$

$$S_L^p = 0,5\%$$

$$N^p = 0,9\%$$

$$A^p = 9,5\%$$

$$W^p = 12\%$$

$$Q_H^p - ? \quad Q_B^p - ?$$

1. Нижча теплота згорання робочої маси палива:

$$Q_H^p = 338C^p + 1025H^p - 108,5(O^p - S_a^p) - 25W^p = \\ = 338 \cdot 60,5 + 1025 \cdot 4,6 - 108,5(12 - 0,5) - 25 \cdot 12 = \\ = 23616 \text{ кДж} / \text{кг}.$$

2. Вища теплота згорання робочої маси палива:

$$Q_B^p = Q_H^p + 225H^p + 25W^p = 23616 + 225 \cdot 4,6 + 25 \cdot 12 = \\ = 24951 \text{ кДж} / \text{кг}.$$

Задача 2. Визначити Q_H^r і Q_B^r горючої маси малосірчастого мазуту, якщо $Q_H^p = 38,5$ МДж кг, $H^p = 10,4\%$, $A^p = 0,5\%$, $W^p = 3,2\%$.

$$Q_H^p = 38,5 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$$

$$H^p = 10,4\%$$

$$A^p = 0,5\%$$

$$W^p = 3,2\%$$

$$Q_H^r - ? \quad Q_B^r - ?$$

1. Кількість водню у горючій масі палива визначаємо за формулою:

$$H^r = H^p \frac{100}{100 - (A^p + W^p)} = 10,4 \frac{100}{100 - (0,5 + 3,2)} = 10,8\%.$$

2. Нижчу теплоту згорання горючої маси палива знаходимо за формулою:

$$Q_H^r = \frac{Q_H^p + 25W^p}{100 - (A^p + W^p)} \cdot 100 = \frac{38500 + 25 \cdot 3,2}{100 - (0,5 + 3,2)} \cdot 100 = \\ = 40062 \text{ кДж} / \text{кг}.$$

3. Вища теплота згорання горючої маси палива дорівнює:

$$Q_B^r = Q_H^r + 225H^r = 40062 + 225 \cdot 10,8 = 42492 \text{ кДж} / \text{кг}.$$

Практична робота № 5

Тема: Розрахунок параметрів сонячної електростанції баштового типу.

Мета: розрахувати площу поверхні і теплові втрати приймача сонячної електростанції баштового типу.

Методичні вказівки до виконання

У баштових сонячних електростанціях використовується центральний приймач з полем геліостатів, що забезпечує ступінь концентрації в кілька тисяч. Система спостереження за Сонцем досить складна, тому що потрібно обертання навколо двох осей. Управління системою здійснюється за допомогою ЕОМ. Як робоче тіло в тепловому двигуні зазвичай використовується водяний пар з температурою до 550 °С, повітря та інші гази – до 1000 °С, низькокиплячі органічні рідини (у тому числі фреони) – до 100 °С, рідкометалічні теплоносії – до 800 °С. Енергія, отримана приймачем від сонця через геліостати (Вт) може бути визначена за рівняння:

$$Q = R_z A_{np} F_z H_z n,$$

де H_z - опромінення дзеркала геліостата, $Вт/м^2$ (для типових умов $H_z = 600 Вт/м^2$); F_z - площа поверхні геліостата, $м^2$; n - кількість геліостатів; R_z - коефіцієнт відображення дзеркала концентратора, $R_z = 0,7 \div 0,8$; A_{np} - коефіцієнт поглинання приймача.

Площа поверхні приймача може бути визначена, якщо відома енергетична освітленість на ньому H_{np} , $Вт/м^2$.

$$F_{np} = Q / H_{np}.$$

У загальному випадку температура поверхні приймача може досягати $t_{нов} = 1600$ К, що дозволяє нагріти теплоносії до 700 °С. Втрати тепла за рахунок випромінювання в теплоприймачі можна обчислити за законом Стефана-Больцмана:

$$q_{прам} = e_{np} C_0 (T / 100)^4, Вт / м^2,$$

де T - абсолютна температура теплоносія, К; e_{np} - ступінь чорноти сірого тіла приймача; C_0 - коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла, $Вт / (м^2 К^4)$.

Приклад розв'язку задачі:

На сонячній електростанції баштового типу встановлено $n = 256$ геліостатів кожний з них має поверхню $F_z = 25$ $м^2$. Геліостати відбивають сонячне проміння на приймач, на поверхні якого зареєстроване максимальне енергетичне освітлення $H_{np} = 2,5$ $МВт/м^2$. Коефіцієнт відображення геліостата $R_z = 0,8$, коефіцієнт поглинання приймача $A_{np} = 0,95$. Максимальне опромінення дзеркала геліостата $H_z = 600$ $МВт / м^2$. Визначити площу поверхні приймача F_{np} і теплові втрати в ньому, які викликані випромінюванням і конвекцією, якщо робоча температура теплоносія складає $t = 660$ °С. Ступінь чорноти приймача $e_{np} = 0,95$. Конвективні втрати вдвічі менші втрат для випромінювання.

Дано:

$$n = 256;$$

$$F_z = 25$$
 $м^2$;

$$H_{np} = 2,5$$
 $МВт/м^2$;

$R_z = 0,8$;
 $A_{np} = 0,95$;
 $H_z = 600 \text{ МВт/м}^2$;
 $t = 660 \text{ }^\circ\text{C}$;
 $e_{np} = 0,95$.
Знайти: F_{np} ; $q_{проп}$ - ?

Розв'язання:

Енергія, отримана приймачем від сонця через геліостати (Вт) визначається за рівнянням:

$$Q = R_z A_{np} F_z H_z n = 0,8 \cdot 0,95 \cdot 25 \cdot 600 \cdot 256 = 2918400 \text{ Вт}.$$

Площа поверхні приймача може бути визначена, якщо відома енергетична освітленість на ньому H_{np} , Вт/м^2

$$F_{np} = Q / H_{np} = 2918400 / 2500000 = 1,167 \text{ м}^2.$$

У загальному випадку температура поверхні приймача може досягати $t_{пов} = 1160 \text{ К}$, що дозволяє нагріти теплоносії до $700 \text{ }^\circ\text{C}$. Втрати тепла за рахунок випромінювання в теплоприймачі можна обчислити за законом Стефана-Больцмана:

$$q_{проп} = e_{np} C_0 (T / 100)^4 = 0,95 \cdot 5,67 \cdot \left(\frac{660 + 273}{100} \right)^4 = 4,08 \cdot 10^4, \text{ Вт / м}^2;$$

$$q_{пол} = q_{проп} + q_{кон} = q_{проп} + \frac{q_{проп}}{2} = 4,08 \cdot 10^4 + \frac{4,08 \cdot 10^4}{2} = 6,12 \cdot 10^4 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2};$$

$$Q_{пол} = q_{пол} \cdot F_{np} = 6,12 \cdot 10^4 \cdot 1,167 = 7,142 \cdot 10^4 \text{ Вт}.$$

Відповідь: площа поверхні приймача $F_{np} = 1,167 \text{ м}^2$ теплові втрати приймача, які викликані випромінюванням і конвекцією $Q_{пол} = 7,142 \cdot 10^4 \text{ Вт}$.

ВІХІДНІ ДАНІ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ № 5

Варіанти	n	F_z	$H_{зр}$ МВт/м ²	R_z	$A_{зр}$	$H_{зп}$ Вт/м ²	t_z °C	$e_{зр}$
1	263	58	2,5	0,8	0,95	600	660	0,95
2	262	40	2,4	0,8	0,95	600	650	0,95
3	264	25	2,3	0,8	0,95	600	640	0,95
4	256	45	2,2	0,8	0,95	600	600	0,95
5	263	62	2,1	0,8	0,95	600	620	0,95
6	265	87	2,6	0,8	0,95	600	630	0,95
7	258	65	2,5	0,8	0,95	600	650	0,95
8	294	45	2,4	0,8	0,95	600	660	0,95
9	254	85	2,3	0,8	0,95	600	650	0,95
10	278	25	2,2	0,8	0,95	600	640	0,95
11	245	30	2,1	0,8	0,95	600	600	0,95
12	287	50	2,5	0,8	0,95	600	620	0,95
13	262	58	2,4	0,8	0,95	600	630	0,95
14	264	40	2,3	0,8	0,95	600	650	0,95
15	256	25	2,5	0,8	0,95	600	660	0,95

Практична робота № 6

Тема: розрахунок біогазогенераторів.

Мета: Розрахувати об'єм біогазогенератора, добовий вихід біогазу та теплову потужність пристрою, що використовує біогаз.

Методичні вказівки до виконання

Одним з видів біопалива є відходи життєдіяльності тварин (гній), при переробці яких (зброджуванні) в біогазогенераторах можна отримувати біогаз, до складу якого (70% за об'ємом) входить метан; теплота згоряння метану $Q_p = 28 \text{ МДж/м}^3$. Час повного зброджування субстрату, що складається з води, гною і ферментів, залежно від температури змінюється від 8 до 30 діб. Щільність сухого матеріалу в субстраті становить $\rho_{\text{сух}} = 50 \text{ кг/м}^3$. Вихід біогазу від 1 кг сухого матеріалу на добу становить приблизно $V_z = 0,2 \div 0,4 \text{ м}^3 / \text{кг}$. Швидкість подачі сухого зброджуваного матеріалу в біогазогенератор (метантенк) W залежить від виду тварин та їх кількості на фермі. Якщо позначити через m_0 , кг/добу подачу сухого зброджуваного матеріалу, то добовий об'єм рідкої маси, що надходить в біогазогенератор можна визначити за формулою:

$$V_{\text{доб}} = m_0 / \rho_{\text{сух}}$$

Об'єм біогазогенератора, необхідного для ферми:

$$V_0 = \tau \cdot V_{\text{сут}}$$

Добовий вихід біогазу:

$$V_z = m_0 \cdot V_z$$

Теплова потужність пристрою, що використовує біогаз (МДж / добу) або (Вт):

$$N = \eta \cdot Q_p \cdot V_z \cdot f_m,$$

де f_m – об'ємна частка метану в біогазі; η – ККД пального пристрою ($\approx 60\%$).

Приклад розв'язку задачі:

Визначити об'єм біогазогенератора V_0 і добовий вихід біогазу V_z в установці, яка утилізує гній від $n=18$ корів, а також скільки теплової потужності вона забезпечує N , Вт. Час циклу зброджування $\tau = 14$ діб за температури $t = 25^\circ \text{C}$; подача сухого зброджуваного матеріалу від однієї тварини йде зі швидкістю $W = 2 \text{ кг/добу}$; вихід біогазу з сухої маси $V_z = 0,24 \text{ м}^3 / \text{кг}$. Вміст метану в біогазі становить 70 %. ККД пального пристрою η . Густина сухого матеріалу, розподіленого в масі біогазогенератора, $\rho_{\text{сух}} = 50 \text{ кг/м}^3$. Теплота згоряння метану за нормальних фізичних умов $Q_n = 28 \text{ МДж/м}^3$.

Дано:

$$n=18;$$

$$\tau = 14 \text{ діб};$$

$$t = 25^\circ \text{C};$$

$$W = 2 \text{ кг/добу};$$

$$V_z = 0,24 \text{ м}^3 / \text{кг};$$

$$\eta = 0,68;$$

$$\rho_{\text{сух}} = 50 \text{ кг/м}^3;$$

$$Q_n = 28 \text{ МДж/м}^3;$$

Знайти: V_0 ; V_z ; N - ?

Розв'язання:

Подача сухого зброджуваного матеріалу від 18 тварин йде зі швидкістю m_0 (кг/добу):

$$m_o = W \cdot n = 2 \cdot 18 = 36 \text{ кг/добу}$$

Добовий об'єм рідкої маси $V_{доб}$, що надходить в біогазогенератор можна визначити за формулою:

$$V_{добу} = m_o / \rho_{сук} = 36 / 50 = 0,72 \text{ м}^3/\text{добу}$$

Об'єм біогазогенератора, необхідного для ферми:

$$V_6 = \tau \cdot V_{сут} = 14 \cdot 0,72 = 10,08 \text{ м}^3$$

Добовий вихід біогазу:

$$V_z = m_o \cdot v_z = 36 \cdot 0,24 = 8,64 \text{ м}^3/\text{добу}$$

Теплова потужність пристрою, що використовує біогаз:

$$N = \eta \cdot Q_H^P \cdot V_z \cdot f_M = 0,68 \cdot 28 \cdot 8,64 \cdot 0,70 = 115 \text{ Мдж/добу}$$

Відповідь: об'єм біогазогенератора $V_6 = 10,08 \text{ м}^3$, добовий вихід біогазу $V_z = 8,64 \text{ м}^3/\text{добу}$, теплова потужність пристрою, що використовує біогаз $N = 115 \text{ Мдж/добу}$.

ВИХІДНІ ДАНІ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ № 6

Варіанти	n	η
1	24	0,7
2	20	0,7
3	18	0,68
4	16	0,68
5	14	0,66
6	12	0,66
7	10	0,64
8	8	0,64
9	6	0,62
10	4	0,62
11	23	0,71
12	21	0,71
13	19	0,69
14	17	0,69
15	15	0,67

Практична робота № 7

Тема: Розрахунок теплової потужності геотермальної теплової електростанції.

Мета: Розрахувати тепловий потенціал водоносного шару ґрунту до початку експлуатації і через 10 років, можливий час його використання і кількість геотермальної енергії яку можна отримати.

Методичні вказівки до виконання

Зазвичай товщина водоносного шару з менше глибини його залягання. Шар має пористу структуру – скельні породи мають пори, заповнені водою (пористість оцінюється коефіцієнтом α). Середня густина твердих порід земної кори $\rho_{ep} = 2700 \text{ кг/м}^3$, а коефіцієнт теплопровідності $\lambda_{ep} = 2 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°K)}$.

Зміна температури ґрунту у напрямі до земної поверхні характеризується температурним градієнтом (dT/dz), що вимірюється в $^{\circ}\text{C/км}$ або $^{\circ}\text{K/км}$. Найбільш поширені на земній кулі райони з нормальним температурним градієнтом (менше $40 \text{ }^{\circ}\text{C/км}$) з густиною вихідних в напрямку поверхні теплових потоків $\approx 0,06 \text{ Вт/м}^2$. Економічна доцільність вилучення тепла з надр Землі тут малоімовірна.

У напівтермальних районах температурний градієнт дорівнює $40 \div 80 \text{ }^{\circ}\text{C/км}$ (наприклад Північний Кавказ). Тут доцільно використовувати тепло надр для опалення, в теплицях і т.п.

У гіпертермальних районах (поблизу кордонів платформ земної кори) градієнт більше $80 \text{ }^{\circ}\text{C/км}$, тому тут доцільно будувати ГеоТЕС. За відомого температурного градієнта можна визначити температуру водоносного шару перед початком його експлуатації:

$$T_2 = T_0 + (dT/dz)z$$

де T_0 – температура поверхні Землі, $^{\circ}\text{K} (^{\circ}\text{C})$.

На практиці характеристики геотермальної енергетики зазвичай відносять до 1 км^2 поверхні F . Теплоємність шару $C_{пл} (\text{Дж/}^{\circ}\text{K})$ можна визначити за рівнянням:

$$C_{пл} = [\alpha \rho_w C_w + (1 - \alpha) \rho_{ep} C_{ep}] h F$$

де ρ_w і C_w – відповідно густина та ізобарна питома теплоємність води;

ρ_{ep} і C_{ep} – густина і питома теплоємність ґрунту (порід шару); зазвичай

$$C_{ep} = (820 \div 850) \text{ Дж/кг} \cdot \text{°K}$$

Якщо задати мінімально допустиму температуру, за якої можна використовувати теплову енергію шару $T_1 (^{\circ}\text{K})$, то можна оцінити його тепловий потенціал до початку експлуатації (Дж):

$$E_0 = C_{пл} (T_2 - T_1)$$

Постійну часу шару τ_0 (час його використання) у разі відведення теплової енергії шляхом закачування в нього води з об'ємною витратою $V (\text{м}^3/\text{с})$ можна визначити з рівняння:

$$E_0 = C_{пл} (T_2 - T_1)$$

Вважають, що тепловий потенціал шару під час його розробки змінюється за експоненціальним законом:

$$E = E_0 e^{-(\tau - \tau_0)}$$

де τ – число років з початку експлуатації;

e – основа натуральних логарифмів.

Теплова потужність геотермального шару в момент часу τ (років з початку розробки) у Вт (МВт):

$$\left(\frac{dE}{d\tau}\right)_{\tau} = -\frac{E_0}{\tau_0} \exp\left(-\frac{\tau}{\tau_0}\right)$$

Приклад розв'язку задачі:

Визначити початкову температуру T_2 і кількість геотермальної енергії E_0 (Дж) водоносного шару товщиною $h = 0,8$ км на глибині залягання $z = 3,5$ км, якщо задані характеристики породи шару: $\rho_{ep} = 2700$ кг/м³; пористість $a = 5$ %; питома теплоємність. $C_{ep} = 840$ Дж/кг · °К. Температурний градієнт $dT/dz = 70$ °С/км.

Середню температуру поверхні T_0 прийняти рівною 10 °С. Питома теплоємність води $C_v = 4200$ Дж/кг · °К; густина води. $\rho = 1 \cdot 10^3$ кг/м³. Розрахунок зробити відносно площі поверхні $F = 1$ м². Мінімум допустиму температуру шару прийняти рівною $T_1 = 40$ °С. Визначити також постійну часу вилучення теплової енергії τ_0 (років) під час закачування води в шар і витраті її $V = 0,1$ м³ / (с · км²). Яка буде теплова потужність, яку видобувають спочатку $(dE/dz)_{\tau=0}$ і через 10 років $(dE/dz)_{\tau=10}$?

Дано:

$$h = 0,8 \text{ км};$$

$$z = 3,5 \text{ км};$$

$$\rho_{ep} = 2700 \text{ кг/м}^3;$$

$$a = 5 \text{ \%};$$

$$C_{ep} = 840 \text{ Дж/кг} \cdot ^\circ\text{C};$$

$$dT/dz = 70 \text{ }^\circ\text{C/км};$$

$$T_0 = 10 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$C_v = 4200 \text{ Дж/кг} \cdot ^\circ\text{C};$$

$$\rho = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3;$$

$$F = 1 \text{ м}^2;$$

$$T_1 = 40 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$V = 0,1 \text{ м}^3 / (\text{с} \cdot \text{км}^2);$$

$$1) \tau = 0 \text{ років}; 2) \tau = 10 \text{ років}.$$

Знайти: T_2, E_0, τ_0 - ?

Розв'язання:

Визначимо температуру водяного насоса перед початком його експлуатації:

$$T_2 = T_0 + (dT/dz)z = 10 + 70 \cdot 3,5 = 255^\circ\text{C} = 528^\circ\text{K};$$

$$\left[^\circ\text{C} + \frac{^\circ\text{C}}{\text{км}} \cdot \text{км}\right] = [^\circ\text{C}].$$

Теплоємність шару $C_{пл}$ (Дж/°К) можна визначити за рівнянням:

$$\begin{aligned} C_{пл} &= [\alpha \rho_a C_{ep} + (1-\alpha) \rho_{ep} C_v] h F = [0,05 \cdot 1 \cdot 10^3 \cdot 4200 \cdot (1-0,05) 2,7 \cdot 10^3 \cdot 840] \cdot 800 \cdot 1 \cdot 10^6 = \\ &= (210000 + 2154600) \cdot 800 \cdot 1 \cdot 10^6 \text{ Дж} / ^\circ\text{K} = 1,9 \cdot 10^{15} \text{ Дж} / ^\circ\text{K} \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right] \text{м} \cdot \\ &\text{м}^2 = [\text{Дж} / \text{К}]. \end{aligned}$$

Теплова потужність, яку видобувають спочатку E_0 (Дж):

$$E_0 = C_{пл} (T_2 - T_1) = 189168 \cdot 10^{10} \cdot (255 - 40) = 4067112 \cdot 10^{11} \text{ Дж} = 4,06 \cdot 10^{17} \text{ Дж};$$

$$\left[\frac{\text{Дж}}{^\circ\text{K}} \cdot ^\circ\text{K} \right] = \text{Дж}.$$

Постійну часу шару τ_0 (можливий час його використання, років) у разі відводу теплової енергії шляхом закачування в нього води з об'ємною витратою V ($\text{м}^3/\text{с}$) можна визначити за рівнянням:

$$\tau_0 = C_{\text{ст}} / (V \cdot \rho_a \cdot C_a) = \frac{189168 \cdot 10^{10}}{0,1 \cdot 1000 \cdot 4200} = 4504 \cdot 10^6 \text{ с} = 4,5 \cdot 10^9 \text{ с} = 143 \text{ роки};$$

$$\left[\frac{\text{Дж}}{^\circ\text{К}} \cdot \frac{\text{с}}{\text{м}^3} \cdot \frac{\text{м}^3}{\text{кг}} \cdot \frac{\text{кг} \cdot ^\circ\text{К}}{\text{Дж}} \cdot ^\circ\text{К} \right] - \text{с},$$

$$\left(\frac{dE}{dz} \right)_{\tau=0} = \frac{E_0}{\tau_0} \cdot e^{\frac{\tau}{\tau_0}} = \frac{E_0}{\tau_0} \cdot 1 = \frac{4,06 \cdot 10^{17}}{4,5 \cdot 10^9} = 0,9 \cdot 10^8 \text{ Вт} = 90 \text{ МВт};$$

$$\left(\frac{dE}{dz} \right)_{\tau=10} = \frac{E_0}{\tau_0} \cdot e^{\frac{\tau}{\tau_0}} = \frac{E_0}{\tau_0} \cdot e^{\frac{10}{143}} = \left(\frac{dE}{dz} \right)_{\tau=0} \cdot e^{\frac{10}{143}} = 90 \cdot e^{\frac{10}{143}} = 83,92 \text{ МВт}.$$

Відповідь: початкова температура $T_2 = 255$ $^\circ\text{C}$, тепловий потенціал до початку експлуатації $E_0 = 4,06 \cdot 10^{17}$ Дж; можливий час використання шару $\tau_0 = 143$ роки, тепла потужність, яку видобувають спочатку

$$\left(\frac{dE}{dz} \right)_{\tau=0} = 90 \text{ МВт, через 10 років } \left(\frac{dE}{dz} \right)_{\tau=10} = 83,92 \text{ МВт}.$$

ВИХІДНІ ДАНІ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ № 7

Варіанти	h , км	z , км	(dT/dz) , $^\circ\text{C}$
1	0,6	2,5	75
2	0,7	3,0	70
3	0,8	3,5	65
4	0,9	4,0	60
5	1,0	3,5	55
6	0,9	3,0	50
7	0,8	2,5	45
8	0,7	4,0	40
9	0,6	3,5	35
10	0,5	3,0	30
11	0,6	3,0	75
12	0,7	2,5	65
13	0,8	3,5	70
14	0,9	3,5	60
15	1,0	4,0	55

Перелік посилань:

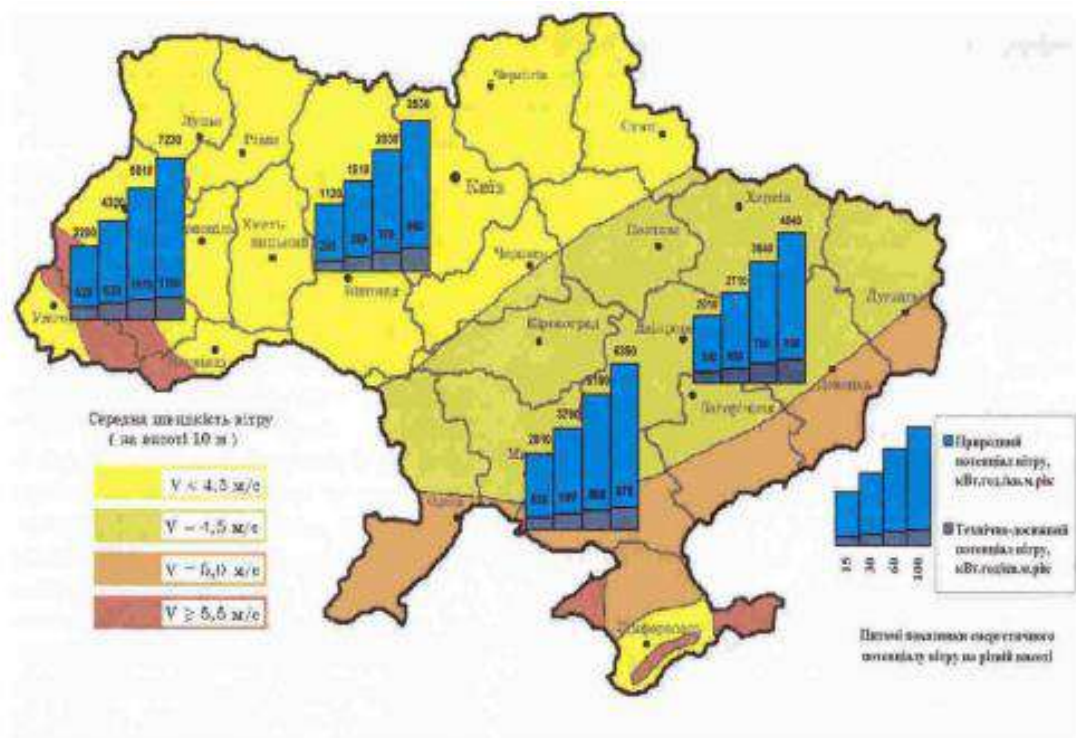
1. Маляренко В.А. Енергетика і навколишнє середовище. Х.: Видавництво САГА, 2008. – 364 с.
2. Паливно-енергетичний комплекс України в контексті глобальних енергетичних перетворень. – К.: Українські енциклопедичні знання, 2004. – 468 с.
3. Варламов Г.Б. Оцінка негативного впливу та концепція енергоекологічного моніторингу паливоспалювальних енергооб'єктів / Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2001. - №4. – С. 53- 57.
4. Інноваційні пріоритети паливно-енергетичного комплексу України / Під заг. ред.. А.К. Шидловського. – К.: Українські енциклопедичні знання, 2005. – 512 с.
5. Экология энергетики: учебное пособие (лабораторный практикум) / сост. Е. И. Паршина ; Сыкт. лесн. ин-т. — Сыктывкар : СЛИ, 2012. — 216 с.
6. Джерела енергії: Практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальностей 144 «Теплоенергетика» та 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: В.В. Дубровська, В.І Шкляр. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,9 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 71 с.
7. Тарасенко М. Г. Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу «Відновлювані джерела енергії». Методичні вказівки / М.Г. Тарасенко, В.І. Гетманюк – Тернопіль: Видавництво ТНТУ ім. І. Пулюя, 2012. – 93 с.
8. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Використання відновлювальних джерел енергії» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за освітньо-професійною програмою «Теплоенергетика» спеціальності 144 «Теплоенергетика» денної, заочної та дистанційної форм навчання [Електронне видання] / Герасимов Г. Г., Трофимчук І. П. – Рівне : НУВГП, 2021. – 90 с.
9. Екологічні проблеми енергетики. Методичні рекомендації до виконання практичних робіт (частина 2) студентами спеціальностей 101 «Екологія» та 183 «Технології захисту навколишнього середовища» / А. Г. Рудченко. – Дніпро: Національний гірничий університет, 2017. – 55 с.
10. Варламов Г.Б., Любчик Г.М., Маляренко В.А.. Теплоенергетичні установки та екологічні аспекти виробництва енергії. – К.: ІВЦ Вид-во «Політехніка», 2003. – 232 с.
11. Воропай М.І., Славін Г.Б., Чельцов М.В. Енергетика та екологічні аспекти національної безпеки // Енергетика: економіка, технологія, екологія. – 2000. - №3. – С. 4-9.
12. Закон України «Про альтернативні види палива» [Електронний ресурс] /– 2018. – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1391-142>.
13. Енергетична стратегія України на період до 2030 року». [Електронний ресурс]: Кабінет міністрів України. — Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/n0002120-13>.

Сумарний річний потенціал сонячної енергії на території України

№ п/п	Області	Потенціал сонячної енергії, МВт год/рік		
		Загальний потенціал ($\times 10^9$)	Технічний потенціал ($\times 10^7$)	Доцільно- економічний потенціал ($\times 10^5$)
1	Вінницька	30,8	14,8	2,3
2	Волинська	21,8	10,5	1,6
3	Дніпропетровська	37,6	18	2,8
4	Донецька	33	15,8	2,5
5	Житомирська	32,3	15,5	2,4
6	Закарпатська	15,5	7,5	1,2
7	Запорізька	34,8	16,7	2,6
8	Івано-Франківська	16,4	7,9	1,2
9	Київська	31,5	15,5	2,4
10	Кіровоградська	28,8	13,8	2,2
11	Луганська	34	16,3	2,5
12	Львівська	25,4	12,2	1,9
13	Миколаївська	32,5	15,6	2,4
14	Одеська	45,4	21,8	3,4
15	Полтавська	31,9	15,3	2,4
16	Рівненська	21,8	10,5	1,6
17	Сумська	26	12,5	2,0
18	Тернопільська	16,3	7,8	1,2
19	Харківська	35,4	17	2,7
20	Херсонська	38,4	18,4	2,9
21	Хмельницька	24,3	11,6	1,8
22	Черкаська	24,2	11,6	1,8
23	Чернівецька	9,6	4,6	0,7
24	Чернігівська	34,2	16,4	2,6
25	АР Крим	36,5	17,5	2,7
ВСЬОГО		718,4	345,1	53,8

Питомий енергетичний потенціал вітрової енергії в Україні

№ району	Середньорічна швидкість вітру, V_{cp} , м/с	Висота, м	Природний потенціал вітру, кВт год/м ² рік	Технічно-досяжний потенціал вітру, кВт год/м ² рік
1	<4,25	15	1120	200
		30	1510	280
		60	2030	375
		100	2530	460
2	4,5	15	2010	390
		30	2710	520
		60	3640	700
		100	4540	850
3	5,0	15	2810	520
		30	3790	690
		60	5100	860
		100	6350	975
4	5,5	15	3200	620
		30	4320	830
		60	5810	1020
		100	7230	1150



Енергетичний потенціал вітру на території України

Гідроенергетичний потенціал малих рік України

№ п/п	Області	Потенціал сонячної		
		Загальний потенціал	Технічний потенціал	Доцільно-економічний потенціал
1	Вінницька	360	238	108
2	Волинська	115	76	35
3	Дніпропетровська	101	67	30
4	Донецька	189	125	57
5	Житомирська	336	222	101
6	Закарпатська	4532	2991	1357
7	Запорізька	51	33	15
8	Івано-Франківська	399	263	120
9	Київська	200	132	60
10	Кіровоградська	170	112	51
11	Луганська	436	288	131
12	Львівська	1814	1197	544
13	Миколаївська	157	104	47
14	Одеська	38	25	11
15	Полтавська	396	261	119
16	Рівненська	304	201	91
17	Сумська	298	197	89
18	Тернопільська	427	282	128
19	Харківська	268	177	80
20	Херсонська	2	2	1
21	Хмельницька	304	200	91
22	Черкаська	331	219	99
23	Чернівецька	884	583	265
24	Чернігівська	178	118	54
25	АР Крим	211	139	63
ВСЬОГО		12501	8252	3747

Сумарний річний потенціал тваринницької сільськогосподарської біомаси в Україні

№ п/п	Області	Кількість гною, млн. т/рік	Вихід біогазу, млн. м³/рік.	Заміщення орг. палива, т у.п./рік
1	Вінницька	17,9	891	713
2	Волинська	11,0	527	422
3	Дніпропетровська	20,8	110	880
4	Донецька	15,3	794	635
5	Житомирська	15,1	725	580
6	Закарпатська	4,7	243	194
7	Запорізька	15,4	771	617

№ п/п	Області	Кількість гною, млн. т/рік	Вихід біогазу, млн. м³/рік.	Заміщення орг. палива, т у.п./рік
8	Івано-Франківська	7,3	358	287
9	Київська	16,8	864	692
10	Кіровоградська	11,8	589	471
11	Луганська	11,4	557	454
12	Львівська	13,5	665	532
13	Миколаївська	10,5	518	414
14	Одеська	14,1	733	587
15	Полтавська	17,5	868	694
16	Рівненська	10,4	498	398
17	Сумська	13,0	640	512
18	Тернопільська	11,6	561	449
19	Харківська	18,1	906	725
20	Херсонська	12,7	627	501
21	Хмельницька	16,5	790	632
22	Черкаська	13,6	682	545
23	Чернівецька	6,1	304	243
24	Чернігівська	17,7	856	685
25	АР Крим	12,3	639	511
ВСЬОГО		335,1	16706	13373

Потенціал рослинної сільськогосподарської біомаси в Україні

№ п/п	Області	Біомаса зернобо- бових культур, тис. МВт год/рік	Біомаса соняш- ника, тис. МВт год/рік	Рослинні відходи кукуру- дзи, тис. МВт год/рік	Рослинні відходи овочів відкритого і закритого грунту, тис. МВт год/рік
1	Вінницька	2400	1197	2780	440
2	Волинська	200	0	170	200
3	Дніпропетровська	1040	6232	5940	820
4	Донецька	360	5244	3330	1060
5	Житомирська	470	3	320	300
6	Закарпатська	70	23	710	210
7	Запорізька	660	5720	3180	580
8	Івано-Франківська	150	0	360	190
9	Київська	1140	88	1530	910
10	Кіровоградська	950	4346	3580	310
11	Луганська	820	4320	2090	570
12	Львівська	270	0	270	310
13	Миколаївська	740	3598	1470	490
14	Одеська	1160	4484	3560	850

№ п/п	Області	Біомаса зернобо- бових культур, тис. МВт год/рік	Біомаса соняш- ника, тис. МВт год/рік	Рослинні відходи кукуру- дзи, тис. МВт год/рік	Рослинні відходи овочів відкритого і закритого грунту, тис. МВт год/рік
15	Полтавська	1830	2843	3660	500
16	Рівненська	200	0	310	230
17	Сумська	1120	488	1290	330
18	Тернопільська	1110	0	670	240
19	Харківська	1210	4466	2990	580
20	Херсонська	570	2260	2300	700
21	Хмельницька	1480	6	2490	330
22	Черкаська	1740	1466	3550	600
23	Чернівецька	290	7	1490	230
24	Чернігівська	700	71	950	360
25	АР Крим	130	1102	960	730
ВСЬОГО		21110	47964	49950	12070

Енергетичний потенціал відходів лісу в Україні

№ п/п	Області	Осереднений об'єм відходів для використання у вигляді палива, тис. м³/рік	Енергозбереження відходів для використання у вигляді палива, тис. т у.п./рік
1	Вінницька	36,4	7,1
2	Волинська	7,4	15,2
3	Дніпропетровська	0	0
4	Донецька	0	0
5	Житомирська	65,7	12,9
6	Закарпатська	0	0
7	Запорізька	0	0
8	Івано-Франківська	12,5	2,4
9	Київська	69,4	13,6
10	Кіровоградська	0	0
11	Луганська	0	0
12	Львівська	47,3	9,3
13	Миколаївська	0	0
14	Одеська	0	0
15	Полтавська	0	0
16	Рівненська	111	21,8
17	Сумська	30,5	6
18	Тернопільська	22,9	4,5
19	Харківська	0	0
20	Херсонська	0	0

№ п/п	Області	Осереднений об'єм відходів для використання у вигляді палива, тис. м³/рік	Енергозбереження відходів для використання у вигляді палива, тис. т у.п./рік
21	Хмельницька	28,5	5,6
22	Черкаська	24,8	4,9
23	Чернівецька	20,8	2,1
24	Чернігівська	48,2	9,5
25	АР Крим	0	0
ВСЬОГО		585,4	114,9

Потенціал геотермальної енергії в Україні

№ п/п	Області	Кількість теплоносія, що видобувається при експлуатації з підтримкою пластового тиску, тис. м³/добу	Тепловий потенціал термальних вод, МВт	Річна економія, тис. т у.п.
1	2	3	4	5
1	Вінницька	0	0	0
2	Волинська	0	0	0
3	Дніпропетровська	0	0	0
4	Донецька	0	0	0
5	Житомирська	0	0	0
6	Закарпатська	239,4	490	510
7	Запорізька	0	0	0
8	Івано-Франківська	0	0	0
9	Київська	0	0	0
10	Кіровоградська	0	0	0
11	Луганська	0	0	0
12	Львівська	0	0	0
13	Миколаївська	1620	2820	1900
14	Одеська	1350	2350	1600
15	Полтавська	5,9	9,2	9,9
16	Рівненська	0	0	0
17	Сумська	4,2	15,8	17
18	Тернопільська	0	0	0
19	Харківська	0,4	1,3	1,4
20	Херсонська	2430	4230	2900
21	Хмельницька	0	0	0
22	Черкаська	0	0	0
23	Чернівецька	0	0	0
24	Чернігівська	37,2	58,3	62,7
25	АР Крим	21600	37600	25600
ВСЬОГО		585,4	47574,6	32601

Енергетичний потенціал торфу в областях України

№ п/п	Області	Загальний енергетичний потенціал торфу, млн. МВт год	Доцільно-економічний потенціал, млн. МВт год
1	Вінницька	136,4	34,6
2	Волинська	1378,1	761,8
3	Дніпропетровська	0,25	-
4	Донецька	2,4	-
5	Житомирська	290,5	159,2
6	Закарпатська	0,2	-
7	Запорізька	1,08	-
8	Івано-Франківська	45,2	17,19
9	Київська	716,5	146,5
10	Кіровоградська	8,7	-
11	Луганська	0,24	-
12	Львівська	690,6	244,1
13	Миколаївська	1,26	-
14	Одеська	-	-
15	Полтавська	364,3	143
16	Рівненська	1176,2	575,3
17	Сумська	331,0	575,3
18	Тернопільська	384,3	114,8
19	Харківська	15,7	-
20	Херсонська	11,3	7,96
21	Хмельницька	236,6	99,04
22	Черкаська	191,6	79,7
23	Чернівецька	-	-
24	Чернігівська	818,5	356
25	АР Крим	-	-
ВСЬОГО		6801,0	2941

**Енергетичний потенціал низькопотенціальної теплової енергії стічних вод в
областях України**

№ п/п	Області	Потенціал низькопотенціальної теплової енергії стічних вод, тис. МВт год/рік		
		Загальний потенціал	Технічний потенціал	Доцільно-економічний потенціал
1	Вінницька	1170	636	239
2	Волинська	761	383	144
3	Дніпропетровська	9398	4825	1809
4	Донецька	8550	4089	1533
5	Житомирська	1155	499	187
6	Закарпатська	903	378	142

№ п/п	Області	Потенціал низькопотенціальної теплової енергії стічних вод, тис. МВт год/рік		
		Загальний потенціал	Технічний потенціал	Доцільно-економічний потенціал
7	Запорізька	3091	1535	576
8	Івано-Франківська	1869	912	342
9	Київська	9608	5086	1907
10	Кіровоградська	836	451	169
11	Луганська	2971	1329	498
12	Львівська	4979	2616	981
13	Миколаївська	1232	653	245
14	Одеська	3879	1735	651
15	Полтавська	1683	853	320
16	Рівненська	1701	523	196
17	Сумська	1024	456	171
18	Тернопільська	744	376	141
19	Харківська	5273	2825	1059
20	Херсонська	870	448	168
21	Хмельницька	1135	542	203
22	Черкаська	2229	774	290
23	Чернівецька	487	264	99
24	Чернігівська	924	478	179
25	АР Крим	3312	1273	477
ВСЬОГО		69781	33939	12726

Енергетичний потенціал низькопотенціальної теплоти ґрунту та
ґрунтових вод в областях України

№ п/п	Області	Потенціал низькопотенціальної теплоти ґрунту та ґрунтових вод, тис. МВт год/рік		
		Загальний потенціал	Технічний потенціал	Доцільно- економічний потенціал
1	Вінницька	4731	3379	513
2	Волинська	3321	2372	290
3	Дніпропетровська	15438	11027	424
4	Донецька	15422	11015	2656
5	Житомирська	3374	2410	428
6	Закарпатська	5093	3638	79
7	Запорізька	3833	2738	355
8	Івано-Франківська	5532	3951	51
9	Київська	12966	9262	192
10	Кіровоградська	3720	2657	833
11	Луганська	10571	7551	1958

№ п/п	Області	Потенціал низькопотенціальної теплоти ґрунту та ґрунтових вод, тис. МВт год/рік		
		Загальний потенціал	Технічний потенціал	Доцільно- економічний потенціал
12	Львівська	11941	8529	203
13	Миколаївська	3441	2458	117
14	Одеська	4015	2868	195
15	Полтавська	9163	6545	162
16	Рівненська	3106	2219	225
17	Сумська	4492	3208	239
18	Тернопільська	3819	2728	194
19	Харківська	12125	8661	153
20	Херсонська	2597	1855	172
21	Хмельницька	4438	3170	171
22	Черкаська	4286	3061	476
23	Чернівецька	2149	1535	123
24	Чернігівська	3930	2807	149
25	АР Крим	4027	2877	206
ВСЬОГО		157530	112521	10564

ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ ТА ДОВКІЛЛЯ

методичні вказівки

до виконання лабораторно-практичних робіт

для студентів інженерно-технологічного факультету
зі спеціальності: «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
денної та заочної форм навчання

Сумський НАУ, вул. Г. Кондратьєва 160

Підписано до друку 2022 р. Тираж 1 прим. Гарнітура. Times New Roman.
Умовн. Друк. арк. 2,0 замовл.
