

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. ректора _____ А.І. Українець
(Підпис)
«_____» _____ 2015 р.

ЕНЕРГО-ТА РЕСУРСООЩАДНІ ТЕХНОЛОГІЇ

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до практичних занять

для студентів напряму підготовки 6.140101

«Готельно-ресторанна справа»

денної та заочної форм навчання

Всі цитати, цифровий та фактичний матеріал, бібліографічні відомості перевірені. Написання одиниць відповідає стандартам

Підписи авторів

Реєстраційний номер
електронних методичних
рекомендацій у НМВ
30.11–17.02.2015

СХВАЛЕНО

на засіданні кафедри
теоретичної механіки і
ресурсоощадних технологій
Протокол № 7
від 09.02.2015 р.

Енерго- та ресурсощадні технології [Електронний ресурс]: метод. рекомендації до практ. занять для студентів напряму підготовки 6.140101 «Готельно-ресторанна справа» ден. та заоч. форм навч./ уклад. О.О. Серьогін, Д.В. Риндюк, О.О. Осьмак, Н.В. Рябоконт. – К.: НУХТ, 2015. – 55 с.

Рецензент **О.М. Шикун**, д-р. фіз.-мат. наук

Укладачі: **О.О. Серьогін**, д-р тех. наук, проф.
Д.В. Риндюк, канд. техн. наук
О.О. Осьмак
Н.В. Рябоконт

Відповідальний за випуск **О.О. Серьогін**, д-р тех. наук, проф.

Подано в авторській редакції

Зміст

	Стор.
ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ.....	4
ТЕМА 1. ВСТУП. ПОНЯТТЯ «ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ» ТА «РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ». КЛАСИФІКАЦІЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ	
1.1 Загальні теоретичні відомості.....	6
Запитання для самоперевірки.....	10
ТЕМА 2 СОНЯЧНА ЕНЕРГЕТИКА	
2.1. Загальні теоретичні відомості.....	10
2.2. Приклади розв’язання задач.....	14
Запитання для самоперевірки.....	16
ТЕМА 3 ЕНЕРГІЯ ВІТРУ	
3.1. Загальні теоретичні відомості.....	16
3.2. Приклади розв’язання задач.....	19
Запитання для самоперевірки.....	21
ТЕМА 4 ГЕОТЕРМАЛЬНА ЕНЕРГІЯ	
4.1. Загальні теоретичні відомості.....	21
4.2. Приклади розв’язання задач.....	25
Запитання для самоперевірки.....	25
ТЕМА 5 ЕНЕРГІЯ БІОМАСИ. БІОПАЛИВО	
5.1. Загальні теоретичні відомості.....	26
Запитання для самоперевірки.....	29
ТЕМА 6. БІОГАЗ	
6.1. Загальні теоретичні відомості.....	30
6.2. Приклади розв’язання задач.....	33
Запитання для самоперевірки.....	35
ТЕМА 7. ТВЕРДЕ БІОПАЛИВО	
7.1. Загальні теоретичні відомості.....	35
7.2. Приклади розв’язання задач.....	40
Запитання для самоперевірки.....	43
ТЕМА 8. ГАЗОГЕНЕРАЦІЯ БІОМАСИ	
8.1. Загальні теоретичні відомості.....	44
8.2. Приклади розв’язання задач.....	47
Запитання для самоперевірки.....	52
ВАРІАНТИ ЗАВДАНЬ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ.....	53
Додатки.....	56
Рекомендована література.....	61

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Програма вивчення навчальної дисципліни “Енерго-та ресурсоощадні технології” складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалавра напряму підготовки 6.140101 «Готельно-ресторанна справа».

Предметом вивчення навчальної дисципліни є сучасні ресурсо- та енергоощадні технології та технологічне обладнання для виробництва альтернативних джерел енергії, його класифікація, будова та принцип роботи, його експлуатація; апаратурно-технологічні схеми виробництв відповідної продукції; методики розрахунку основних параметрів машин і апаратів.

Міждисциплінарні зв'язки: при вивченні дисципліни використовуються основні положення дисциплін «Вища математика», «Фізика», «Теоретичні основи теплотехніки», «Процеси і апарати харчових виробництв».

Отримані при вивченні дисципліни знання, уміння і навички використовуються в курсовому та дипломному проектуванні.

Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни «Енерго- та ресурсоощадні технології» є підготовка студентів до аналітичної, виробничо-технічної, проектно-конструкторської та дослідницької діяльності стосовно експлуатації енергетичних та ресурсних потенціалів, будови та технологічного обладнання, самостійного вирішення виробничих питань з техніки та технології певної галузі виробництва.

Основними завданнями вивчення дисципліни «Енерго- та ресурсоощадні технології» є вивчення теоретичних основ технологічних операцій і процесів, які виконуються за допомогою машин і апаратів галузі; засвоєння основних методик розрахунків, будови та принципу роботи, техніко-економічних характеристик обладнання; умов надійної, безпечної та тривалої експлуатації енергетично-ресурсного потенціалу країни.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні:

знати: суть понять «ресурсозбереження» та «енергозбереження», класифікацію альтернативних видів палива та енергії, принципову та апаратурно-технологічну схему видобутку і виробництва різних видів енергії; заходи збереження ресурсів; класифікацію, будову та принцип роботи основного технологічного обладнання підприємств відповідної галузі; методики розрахунку основних технологічних, конструктивних та інших параметрів енерго- та ресурсозберігаючих технологій; принципи проектування та напрямки удосконалення обладнання з метою матеріало-, тепло-енергозбереження та інтенсифікації виробництва;

вміти: аналізувати сучасні досягнення науки і техніки в даній галузі виробництва; проводити інноваційну науково-технічну політику в галузі; при підготовці, організації і в процесі виробництва, використовуючи нормативну документацію та враховуючи наявну сировину, матеріали і технічні можливості підприємства; аналізувати, обирати та обґрунтовувати застосування оптимальних сучасних технологічних рішень, схем і обладнання; обирати і

розраховувати технологічне, допоміжне і транспортне обладнання підприємств галузі; аналізувати та обирати найбільш ефективні апаратурно-технологічні схеми виробництва харчових продуктів, що забезпечують оптимальні режими енерго- та ресурсозбереження; враховуючи технічні можливості підприємства, впроваджувати нові види обладнання та прогресивні технології з обґрунтуванням їх доцільності;

На основі оцінки ефективності роботи сучасного обладнання та його технічних характеристик обґрунтовувати та організовувати модернізацію існуючих технологій для підвищення їхніх технічних можливостей; організовувати дотримання оптимальних режимів ведення технологічних процесів, що забезпечують максимальне ресурсо- і енергозбереження; при організації та управлінні технологічним процесом розроблювати заходи по інженерному захисту навколишнього середовища і раціональному використанню природних ресурсів.

мати навички: складати та удосконалювати принципові та апаратурно-технологічні схеми енерго- та ресурсощадних технологій, описувати будову та принцип роботи технологічного обладнання; розраховувати, підбирати обладнання в лінію та розробляти заходи по встановленню та пристосуванню основного та допоміжного технологічного обладнання до конкретних умов виробництва; керувати роботою як окремого технологічного обладнання, так і технологічної лінії в цілому.

ТЕМА 1. ВСТУП. ПОНЯТТЯ «ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ» ТА «РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ». КЛАСИФІКАЦІЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Мета заняття: ознайомитися з основними поняттям дисциплін. Вивчити класифікацію альтернативних джерел енергії. Ознайомитись з потенціалом нетрадиційних відновлюваних джерел енергії України.

Загальні теоретичні відомості

Зниження енерго- та ресурсоемності виробництва на базі економного та раціонального використання всіх видів природних, паливно-енергетичних, матеріальних і трудових ресурсів, використання альтернативних джерел відновлювальних джерел енергії, підвищення ефективності використання виробничих фондів, зниження матеріалоемності продукції, що випускається, глобальне підвищення її якості і ефективності використання є однією з найважливіших умов підвищення ефективності промислового виробництва. Поняття «енерго- та ресурсозбереження» багатоаспектне і може проявлятися в багатьох явищах, а саме як з боку суспільно-необхідної праці (зменшення витрат на випуск продукції, зростання норми прибутку, поліпшення стану навколишнього природного середовища тощо), так і з боку підприємницької діяльності (може проявлятися у вигляді матеріалозбереження, працезбереження тощо). Нижче окремо розглянуто два поняття – «енергозбереження», «ресурсозбереження».

Енергозбереження – це поняття, що стосується зменшення споживання енергії за рахунок використання меншої кількості енергетичних послуг або альтернативних видів енергії. Питання енергозбереження та енергоефективності з кожним роком стають все більш актуальними. Цьому служать ряд причин, серед яких можна виділити основні: дефіцит і постійне зменшення природних ресурсів; питання енергетичної безпеки України; висока енергоемність української економіки; поступове збільшення споживання; щорічне зростання цін на імпортовані Україною енергоресурси (газ , нафта). Найбільш енергоемними галузями народного господарства є: металургійна, машинобудівна, хімічна і нафтохімічна промисловості (потенціал енергозбереження, за оцінками експертів, становить 62-64%), житлово-комунальна сфера (35-38%); сектор послуг (5%); сільське господарство (3-5%).

З метою виявлення потенціалу енергозбереження в різних регіонах України був розроблений і розрахований спеціальний індекс (Ukrainian Energy Index, UEI), що дає можливість порівнювати ефективність використання енергоресурсів в регіонах України з урахуванням структури національної економіки. Два роки поспіль (2011, 2012) цей показник відображає можливості енергозбереження та рівень економії енергоресурсів за актуальної структури економіки України у випадку застосування підходів і технологій Європейського Союзу. Так, наприклад, за результатами дослідження у 2012 році, потенціал енергозбереження української економіки становив 13,8 млрд. євро, що

еквівалентно 39 млрд. кубометрів природного газу. Загальний потенціал енергозбереження в Україні (без використання альтернативних джерел енергії) експертами оцінено у 35%.

Досвід європейських держав показує, що вже сьогодні в Україні необхідно реалізовувати потенціал енергозбереження використовуючи такі шляхи як: використання альтернативних і відновлюваних джерел енергії; впровадження систем обліку енергоресурсів на об'єктах, особливо електроенергії; застосування фінансових пільг для певних соціальних верств населення; здійснення контролю за дотриманням державних норм при будівництві нових будівель (так звані "Державні будівельні норми").

Ресурсозбереження – це поняття, суть якого полягає в зниженні витрат ресурсів на виробництво продукції. Існує багато трактувань даного поняття, але всі вони мають певну обмеженість тому, що віддають перевагу тому чи іншому аспекту, не розглядаючи при цьому ресурсозбереження як складну, комплексну економічну категорію. На сьогоднішній день варто виділити два основні підходи до його трактування. Відповідно до першого підходу (I), ресурсозбереження являється будь-якою діяльністю, спрямованою на охорону навколишнього середовища. По суті він передбачає орієнтацію на «консервування» природних ресурсів, яка тісно пов'язана з категорією природно-ресурсного потенціалу (ПРП). Другий підхід (II) є більш широким і стверджує, що ресурсозбереження передбачає раціональне використання усіх без винятку ресурсів, включаючи природні.

Визначення сутності форм і видів ресурсозбереження вимагає їх детальної класифікації. *За видами ресурсів*, що зберігаються, ресурсозбереження може бути класифіковане на матеріало-, водо-, енерго-, трудо-, фондозбереження, збереження фінансових, інформаційних та інших видів ресурсів. *За змістом процесів*, що відбуваються, ресурсозбереження можна розглядати в двох напрямках: як економію ресурсів та як їх раціональне використання. Раціональне використання ресурсів означає досягнення максимальної ефективності використання ресурсів на підприємстві за існуючого рівня розвитку техніки та технології з одночасним зниженням впливу на навколишнє середовище. Економія ресурсів є кількісним результатом процесу раціоналізації їх використання (споживання) і з урахуванням сфер діяльності підприємства. *Відповідно до можливостей реалізації* виділяють потенційне (ресурсозберігаючий потенціал) та фактичне ресурсозбереження. Ресурсозберігаючий потенціал підприємства може бути визначений як кількісна та якісна оцінка результатів, які може забезпечити ресурсозберігаючий проект при оптимальному поєднанні засобів, що його забезпечують. У сучасній науковій літературі зазвичай виділяють три види ресурсозберігаючого потенціалу: теоретичний, технічно можливий та економічно доцільний. Фактичне ресурсозбереження - конкретні управлінські рішення та заходи на їх підставі, що зменшують ресурсоспоживання в даному році та залежать від зусиль і зацікавленості споживачів ресурсів у здійсненні ресурсозберігаючих заходів. *За масштабом* ресурсозбереження поділяється на глобальне, народногосподарське, регіональне, галузеве та локальне (рівень

підприємства). За стадіями життєвого циклу розрізняють ресурсозбереження на стадіях видобутку і переробки вихідної сировини, виробництва, споживання, транспортування, зберігання та утилізації продукту. *За обсягами фінансування та результатами розрізняють витратне та маловитратне ресурсозбереження. За формами прояву ресурсозбереження слід віднести: ресурсозбереження як діяльність, як результат, як процес, як метод господарювання, як організаційно-економічна система, як форма інтенсифікації виробництва, як комплексний напрямок наукових досліджень.*

Пріоритетними напрямками в проведенні активної та інноваційної ресурсозберігаючої політики на підприємствах різних галузей можна вважати такі: впровадження безвідходних або маловідходних технологій; удосконалення обліку цінностей на підприємстві та запровадження системи перетворення будь-якої цінності, наявної в розпорядженні підприємства, в «працюючий» ресурс, тобто той, котрий в кінцевому випадку принесе прибуток; регулярне проведення аналізу стану ресурсозбереження та ресурсоемності на підприємстві; використання вторинних ресурсів і відходів, зниження матеріаломісткості продукції; підвищення продуктивності праці, удосконалення кадрового менеджменту; здобуття енергонезалежності за рахунок виробництва альтернативних видів палива із вторинної сировини та відходів виробничого циклу; оптимізація управління оборотними та фінансовими ресурсами.

Узагальнюючи наведену вище інформацію про енерго- і ресурсозбереження та досвід європейських країн слід зазначити, що заощадження ресурсів та енергії є тісно взаємопов'язаними поняттями. Тому їх запровадження в усіх сферах життя та діяльності людини має проводитись паралельно. Це дасть змогу заощадити значно більшу кількість ресурсів та енергії. Але, попри зазначене, першочергову роль відіграє енергозаощадження. Адже саме дефіцит енергоносіїв та неграмотне їх використання обумовлюють надлишкові ресурсні затрати. Експерти зазначають, що 2000-х роках для України найкращим виходом із енергетичної кризи та залежності є використання альтернативних відновлюваних джерел енергії.

Альтернативні джерела енергії (АДЕ) — будь-яке джерело енергії, яке є альтернативою (економічно або екологічно вигідною заміною) викопному паливу. Згідно з класифікацією Міжнародного енергетичного агентства до АДЕ належать такі категорії: - сонячна енергія: випромінювання Сонця, що використовується для одержання гарячої води й електричної енергії; - енергія вітру: кінетична енергія вітру, що застосовується для виробництва електроенергії у вітрових турбінах; - гідроенергія: потенційна, або кінетична, енергія води, перетворена на електричну енергію за допомогою гідроелектростанцій, як великих, так і малих; - геотермальна енергія: теплова енергія, що надходить із земних надр, зазвичай, у вигляді гарячої води або пари; - енергія припливів, морських хвиль і океану: механічна енергія припливних потоків або хвиль, що використовується для виробництва електричної енергії; - тверда біомаса та тваринні продукти: біологічна маса, у тому числі будь-які матеріали рослинного походження, що використовуються

безпосередньо як паливо або перетворюються на інші форми перед спалюванням (деревина, рослинні відходи та відходи тваринного походження; деревне вугілля, яке одержують з твердої біомаси); - газ чи рідина з біомаси: біогаз, отриманий у процесі анаеробної ферментації біомаси та твердих відходів, який спалюється для виробництва електрики і тепла; - муніципальні відходи: матеріали, що спалюються для продукування теплової та електричної енергії (відходи житлового, комерційного та громадського секторів); - промислові відходи: тверді й рідкі матеріали, що спалюються безпосередньо, зазвичай, на спеціалізованих підприємствах, для виробництва теплової й електричної енергії.

Відомо, що Україна має значний потенціал для розвитку нетрадиційних відновлюваних джерел енергії (НВДЕ). Про це свідчать дані табл. 1.

Таблиця 1.1

Технічно досяжний енергетичний потенціал нетрадиційних відновлюваних джерел енергії в перерахунку на умовне паливо (млн. т у.п.)

№ п/п	Області	Сонячна енергетика	Геотермальна енергетика	Мала гідроенергетика	Енергія біомаси	Теплова енергія стічних вод	Теплова енергія ґрунту та ґрунтових вод	Всього по областях	Споживання орг. палива		% заміщення орг. палива за рахунок ВДЕ
									Комунальний сектор	Всього	
1.	АР Крим	0,39	0,68	0,05	0,59	0,16	0,35	2,22	0,133	2,193	101,2
2.	Вінницька	0,25	0	0,09	1,08	0,08	0,42	1,91	0,097	7,777	24,8
3.	Волинська	0,18	0	0,03	0,29	0,05	0,29	0,84	0,054	3,064	27,4
4.	Дніпропетровська	0,32	0	0,03	1,90	0,59	1,36	4,20	0,203	27,023	15,54
5.	Донецька	0,27	0	0,05	1,16	0,50	1,36	3,34	0,285	33,795	9,88
6.	Житомирська	0,26	0	0,09	0,38	0,06	0,30	1,09	0,079	2,399	45,4
7.	Закарпатська	0,13	7,40	1,05	0,21	0,05	0,45	9,29	0,065	1,175	79,6
8.	Запорізька	0,28	0	0,03	1,13	0,19	0,34	1,97	0,108	14,568	13,5
9.	Івано-Франківська	0,13	0,51	0,09	0,17	0,11	0,49	1,50	0,076	6,916	21,7
10.	Київська	0,26	0	0,06	1,02	0,63	1,14	3,11	0,258	16,458	18,9
11.	Кіровоградська	0,23	0	0,04	1,26	0,06	0,33	1,91	0,065	2,855	66,9
12.	Луганська	0,27	0	0,10	1,11	0,16	0,93	2,57	0,150	10,630	24,2
13.	Львівська	0,22	0,45	0,42	0,41	0,32	1,05	2,87	0,144	8,604	33,4
14.	Миколаївська	0,26	0	0,04	0,97	0,08	0,30	1,65	0,070	5,22	31,6
15.	Одеська	0,37	0	0,01	0,42	0,21	0,35	1,37	0,136	7,046	19,4
16.	Полтавська	0,26	0,39	0,09	1,43	0,11	0,81	3,08	0,092	10,492	29,4
17.	Рівненська	0,17	0	0,08	0,36	0,06	0,27	0,95	0,062	2,282	41,6
18.	Сумська	0,22	0,96	0,08	0,79	0,06	0,40	2,50	0,072	5,122	48,8
19.	Тернопільська	0,15	0	0,09	0,44	0,05	0,34	1,06	0,060	2,560	41,4
20.	Харківська	0,29	0,37	0,06	1,69	0,35	1,07	3,82	0,168	15,298	25,0
21.	Херсонська	0,31	0	0,01	1,09	0,06	0,23	1,69	0,065	3,455	48,9
22.	Хмельницька	0,20	0	0,07	0,79	0,07	0,39	1,52	0,079	2,579	58,9
23.	Черкаська	0,21	0	0,09	0,36	0,10	0,38	1,13	0,079	4,819	23,5
24.	Чернівецька	0,09	0	0,21	0,29	0,03	0,19	0,81	0,048	1,348	60,1
25.	Чернігівська	0,28	1,24	0,04	0,66	0,06	0,35	2,62	0,072	3,672	71,4
Всього		6,00	12,00	3,00	20,00	4,2	13,89	59,09	59,02	202,07	29,2
Обсяги заміщення органічного палива за рахунок "великої" гідроенергетики по Україні								7,0			3,6
Обсяги заміщення органічного палива за рахунок енергії вітру по Україні								15,0			7,4
Технічно досяжний енергетичний потенціал позабалансових джерел енергії								12			4,9

Таким чином, першочерговим завданням населення України має стати нарощування обсягів використання НВДЕ з використанням наявного потенціалу НВДЕ, її науково-промислового потенціалу. Це також дозволяють в найближчий період значно збільшити темпи розвитку країни.

Запитання для самоперевірки

1. Дати визначення для поняття «енергозбереження».
2. Дати визначення для поняття «ресурсозбереження».
3. Охарактеризувати сутність ресурсозбереження за змістом процесів.
4. Охарактеризувати сутність ресурсозбереження за формами прояву.
5. Які категорії альтернативних джерел енергії згідно з класифікацією

Міжнародного енергетичного агентства Ви знаєте?

ТЕМА 2. СОНЯЧНА ЕНЕРГЕТИКА

Мета заняття: ознайомитися з потенціалом сонячної енергії в Україні та світі. Вивчити типи устаткування, що перетворює сонячну енергію в електроенергію та теплову енергію. Навчитися розв'язувати типові задачі за темою. Визначити переваги та недоліки використання сонячної енергії.

2.1 Загальні теоретичні відомості

Сонячна енергія — енергія від Сонця в формі радіації та світла. Ця енергія значною мірою керує кліматом та погодою, та є основою життя. Технологія, що контролює сонячну енергію називається сонячною енергетикою. Потік сонячного випромінювання, що проходить через площу 1 м^2 , розташовану перпендикулярно потоку випромінювання на відстані однієї астрономічної одиниці від центру Сонця (тобто зовні атмосфери) Землі, дорівнює 1367 Вт/м^2 (сонячна постійна). Через поглинання атмосферою Землі, максимальний потік сонячного випромінювання на рівні моря становить 1020 Вт/м^2 . Середньодобове значення потоку сонячного випромінювання, як мінімум, в три рази менше (через зміни дня і ночі, зміни кута сонця над горизонтом). Взимку в помірних широтах це значення в два рази менше. Кількість енергії з одиниці площі після потрапляння в земну атмосферу і визначає можливості сонячної енергетики.

За кліматичними умовами Україна належить до регіонів із середньою інтенсивністю сонячної радіації. Кількість сонячної енергії, що припадає на одиницю площі земної поверхні впродовж року, становить тут $1000\text{-}1350 \text{ кВт}\cdot\text{год/м}^2$. За рівнем інтенсивності сонячного випромінювання країну можна поділити на чотири регіони - Західний, Центральний, Південно-Східний і Південний. В останньому середня інтенсивність сонячного випромінювання становить близько $1200 \text{ кВт}\cdot\text{год/м}^2$. Близько 28 % енергії, що приходить від Сонця, відбивається хмарами і аерозолями назад в космічний простір. Теплове (інфрачервоне) випромінювання Землі становить 114 % від енергії, що приходить з Сонця, з них 42 % повертаються атмосферою, а інші йдуть у

космос. По поверхні планети енергія, що приходить перерозподіляється морськими течіями і вітрами.

Реалізовані впродовж останніх років експериментальні проекти засвідчили, що річне виробництво теплової енергії в умовах України становить 500 - 600 кВт*год/м². Враховуючи загальноприйнятий на Заході потенціал використання сонячних колекторів для розвинених країн, що дорівнює 1 м² на одну людину, а також ККД сонячних установок для умов України, щорічні ресурси сонячного гарячого водопостачання та опалення можуть становити 28 кВт*год/м² теплової енергії. Реалізація цього потенціалу дозволила б заощадити Україні 3,4 млн. т умовного палива (т.у.п.) на рік. Для порівняння, в табл. 2.1 представлено дані щодо використання сонячної енергії у світі.

Таблиця 2.1

Загальний річний енергетичний вклад сонячних колекторів

Країна	Загальна площа колекторів, м.кв	Встановлена потужність, МВт	Кількість систем, шт	Вклад колекторів, ГВт*год/рік	Економія в нафті [т.п/рік]	Зниження викидів CO ₂ [т/рік]
Албанія	70171	49,1	8870	54	6206	19675
Австрія	3688840	2582,2	397229	1548,2	167487	637885
Бельгія	278333	194,8	69583	117,8	12783	40498
Болгарія	38336	26,8	7050	20	2280	7208
Кіпр	858520	601	179087	758,3	73682	232995
Чехія	181677	127,2	30013	70	7366	23330
Данія	467550	327,3	102128	211,6	22638	71889
Естонія	2341	1,6	585	1	103	328
Фінляндія	28461	19,9	6788	12,5	1336	4232
Франція	1860601	1302,4	371190	885,8	99387	331960
Югославія	25744	18	3298	15,5	1807	5730
Німеччина	11933154	8353,2	1611970	4912	538438	1894993
Греція	4077000	2853,9	1599815	3138,7	474159	1502161
Угорщина	128814	90,2	11520	62,7	7309	24314
Ірландія	120968	84,7	27996	50,6	4999	16096
Італія	2057578	1440,3	514395	1350,1	153220	485347
Латвія	7044	4,9	1761	3,3	333	1054
Литва	4318	3	1080	1,9	212	671
Люксембург	26300	18,4	6575	11,8	1260	3992
Мальта	44867	31,4	11217	38,9	4603	14579
Голандія	378051	264,6	108652	163,5	17147	54815
Норвегія	13550	9,5	2227	5,8	618	1964
Польща	509836	356,9	60416	209,5	23493	75510
Португалія	547918	383,5	55066	405,8	49399	157514
Румунія	94496	66,1	23624	56,1	6356	20131
Словакія	120746	84,5	20124	58	6598	20901
Словенія	144698	101,3	21,883	60,2	6713	22583
Іспанія	2001000	1400,7	272069	1356,8	147986	519041
Швеція	290000	203	23828	114,3	12151	44689
Швейцарія	660070	462	88515	277	29751	101813
Великобританія	459583	321,7	114896	190,8	21165	67057
РАЗОМ	31120565	21784,1	5731588,883	16162,5	1900985	6404955

Сонячна енергія може бути перетворена у теплову, механічну і електричну енергію, використана в хімічних і біологічних процесах. Сонячні установки (СУ) знаходять застосування в системах опалювання і охолодження житлових і громадських будівель, в технологічних процесах, що протікають при низьких, середніх і високих температурах. Вони використовуються для отримання гарячої води, опріснення морської або мінералізованої води, для сушки матеріалів і сільськогосподарських продуктів тощо.

Для перетворення сонячної енергії у теплову або електричну застосовують широкий спектр обладнання, серед якого фото- та термоелектричні перетворювачі, сонячні водонагрівачі, бак-теплообмінники-акумулятори, геліоустановки, сонячні колектори різної конструкції тощо.

За способом перетворення сонячного випромінювання у теплоту, що застосовується у побуті і на виробництві сонячні системи поділяються на *активні і пасивні*: *активні* – прокачування нагрітої рідини може здійснюватися як вимушено з примусовою циркуляцією теплоносія, з використанням насосів, так і природним шляхом – *пасивні* системи, або термосифонні, з природною циркуляцією, яка зумовлена перепадом температури і тиску, природною конвекцією.

Пасивними називаються такі *сонячні будівлі*, проект яких розроблений з максимальним врахуванням місцевих кліматичних умов, і де застосовуються відповідні технології і матеріали для обігріву, охолодження і освітлення будівлі за рахунок максимального використання енергії Сонця. У пасивній сонячній системі сама конструкція будівлі виконує роль колектора сонячної радіації. Сонячна радіація, падаюча на стіни, вікна, дах і інші поверхні, поглинається будівлею і зберігається у вигляді теплової маси. Потім це тепло випромінюється всередину будівлі. Пасивне використання сонячного світла забезпечує приблизно 15% потреби обігріву приміщень в стандартній будівлі і є важливим фактором енергозбереження.

Активні системи зі штучною циркуляцією вигідні, оскільки для їх створення можна використовувати існуючі водонагрівальні системи, підключаючи до них приймач сонячного випромінювання і насос. Вадюю цих систем є залежність від електроенергії, без якої вони не будуть працювати.

Активні системи в свою чергу поділяються на *сонячні теплові системи*, що перетворюють сонячне випромінювання в теплоту за допомогою колекторів для одержання гарячої води, опалення приміщень, чи нагрівають воду в басейнах і *сонячні електричні системи*, що перетворюють сонячне випромінювання в електричну енергію.

Зрозуміло, ефективність роботи елементів буде також залежати від того, на якій географічній широті вони перебувають, а також під яким кутом на них падають сонячні промені. Ще одним недоліком сонячних батарей є те, що вони вимагають акумуляторів (зазвичай батарей) для забезпечення безперервного енергопостачання вночі й у похмурі дні. Але виробництво електроенергії за рахунок використання сонячних батарей є одним із найбезпечніших способів.

Сонячні теплові системи складаються з геліоприймача – колектора, комунікаційної мережі та бака – акумулятора. Основним інженерним елементом такої системи є сонячні колектори, що перетворюють енергію сонячного проміння в теплову. Існують сонячні колектори різних розмірів і конструкцій залежно від їх застосування. В даний час ринок пропонує безліч різних моделей колекторів. Їх можна розділити на декілька категорій. Сонячні колектори за конструктивним рішенням поділяються на плоскі (нефокубуючі) та фокубуючі.

У рідинних колекторах сонячна енергія нагріває рідину у трубках, прикріплених до поглинаючої пластини. Трубки можуть розташовуватися паралельно один одному, причому на кожній є вхідний і вихідний отвори. Можливе змієподібне розташування трубок, що усуває можливість протікання через сполучні отвори і забезпечує рівномірний потік рідини. З іншого боку, при спуску рідини щоб уникнути замерзання можуть виникнути труднощі, оскільки в зігнутих трубках може місцями залишатися вода.

Фокубуючі колектори – це концентруючий пристрій, що складається з віддзеркалюючої поверхні сферичної чи параболічної форми, що збирає і фокусує сонячні промені у фокальну площину або фокальну пляму, де утворюється досить висока температура. Цю сконцентровану сонячну енергію потім подають на різні приймачі-поглиначі для використання, в результаті чого температура теплоносія досягає 400-650⁰С. Проте експлуатація такої системи ускладнюється необхідністю точного регулювання слідкуючих систем за Сонцем для встановлення теплоприймача точно у фокусі віддзеркалених променів.

Інтегрований колектор одночасно є і самим колектором, і теплоакumuлюючим баком, в якому нагрівається і зберігається "одноразова" порція води. Такі колектори використовуються для попереднього нагріву води, яка потім нагрівається до потрібної температури в традиційних установках, наприклад, в газових колонках.

Вакуумні трубчасті колектори використовують там, де потрібна вода вищої температури. Вони є модульними, тобто трубки можна додавати або відбирати у міру потреби у гарячій воді. У них в якості теплоізоляції між скляними трубками замість повітря використовується вакуум. Завдяки цьому він знижує втрати теплоти, захищає поглинач і тепловідвідну трубку від несприятливих зовнішніх дій. Результат – відмінні робочі характеристики, що перевершують будь-який інший вид сонячного колектора.

Розрізняють декілька видів колекторів відповідно до температури, яку вони дають: - *низькотемпературні колектори* виробляють низькопотенційне тепло, нижче 50⁰С. Використовуються вони для підігріву води в басейнах і в інших випадках, коли потрібна не дуже гаряча вода; - *середньотемпературні колектори* виробляють високо- і середньопотенційне тепло (вище 50⁰С, в середньому 60-80⁰С). Це засклені плоскі колектори, в яких теплопередача здійснюється за допомогою рідини, або колектори-концентратори, в яких тепло концентрується. Представником останніх є колектор трубчастий, що вакуумується, який часто використовується для нагріву води в житловому

секторі; - високотемпературні колектори є параболічними тарілками і використовуються в основному електрогенеруючими підприємствами для виробництва електрики для електромереж.

Застосування сонячних установок має ряд переваг, серед яких найбільш вагомими є: ефективне використання як прямого так і розсіяного сонячного випромінювання; можливість створення установок практично будь-якої потужності; досить великий строк служби установок (до 50 років); початкові затрати на СУ значно менші, ніж приєднання віддаленого населеного пункту до системи теплопостачання або електропостачання, а експлуатаційні затрати з урахуванням строку служби виявляються нижчими ніж у дизельних електростанціях; матеріали сонячних установок виконують роль вишуканого будівельного матеріалу, що покращують архітектуру будівель, забезпечують їх водозахист, звукоізоляцію і теплозахист; застосування СУ не має негативного впливу на оточуюче середовище.

Недоліками використання сонячних установок є непостійність інтенсивності сонячного випромінювання та екологічні проблеми; залежність від погоди і часу доби; необхідність акумуляції енергії; висока вартість конструкції; необхідність періодичної очистки дзеркальної поверхні від пилу; нагрівання атмосфери над електростанцією.

2.2 Приклади розв'язання задач

Задача 2.1. Умова. Відомо, що в фотоелектричному перетворювачі напруга становить 9 В, струм - $4 \cdot 10^{-2}$ А, час споживання – 5 год. Визначити площу фотобатареї. Розрахунок проводити за умов постійного значення освітленості та наявності поєднання однотипних елементів ($U_{xx}, I_{kз} - const.$).

Розв'язок. Кількість електрики, що віддає акумулятор споживачу:

$$Q = t \cdot I = 5 \cdot 4 \cdot 10^{-2} = 0,2 \cdot \text{Агод.}$$

Напруга джерела живлення:

$$U_{дж} = 1,2 \cdot U_a = 1,2 \cdot 9 = 11 \text{В.}$$

Кількість елементів:

$$n = U_{дж} / U_e = 11 / 0,4 = 28 \text{шт,}$$

де U_e – робоча напруга кремнієвого перетворювача (елемента фотобатареї).

Струмова площа елемента:

$$S_e = \frac{kQ}{j_c N_z N_d} = \frac{1,3 \cdot 0,2}{10 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 1} = 2,6 \text{см}^2,$$

де j_c – щільність зарядного струму, 10 мА/см²; N_z – тривалість зарядження, год.; N_d – кількість днів зарядження; $k = 1,2 \dots 1,4$ – коефіцієнт, що враховує збільшення віддачі кількості електрики при розрядженні;

$$U_{xx} \cdot n = 0,5 \cdot 28 = 14 \text{В.}$$

$$I_{kз} = j_{онт} \cdot S = 20 \cdot 2,6 = 0,51 \text{В.}$$

$$P_{\max} = \xi \cdot U_{xx} \cdot I_{kз} = (0,6 \dots 0,8) \cdot 14 \cdot 0,052 = 0,51 \text{Вт.}$$

Загальна площа батареї:

$$S = S_e \cdot n = 2,6 \cdot 28 = 72,8 \text{ см}^2 = 0,007 \text{ м}^2.$$

Задача 2.2. Умова. Визначити щоденну сумарну кількість сонячної енергії у травні, яка надходить на поверхню колектора, повернуту на південь під кутом $\beta = 35^\circ$ в точці місцевості північної широти $\varphi = 50^\circ$.

Розв'язок. Розрахунок проводимо із урахуванням значень, що вказані у додатках 2 і 3.

Загальна кількість теплової енергії, що розташована під кутом:

$$E_c = 0,96 \cdot (K_{np} \cdot E_{np} \cdot Q_{np} + K_p \cdot E_p \cdot Q_p),$$

де K_{np} , K_p - коефіцієнти, які враховують орієнтацію колектора відносно прямої і розсіяної радіації; K_{np} визначаємо з додатку 4, K_p – за формулою:

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

Далі задаємося значеннями оптичних характеристик: встановлюємо, що для колекторів з одним шаром скла $Q_p = 0,64$, для двох шарів – 0,42.

З дод. 4 визначаємо, що сумарна тепла енергія (пряма і розсіяна), яка щоденно надходить на горизонтальну поверхню для заданої північної широти у травні становить: $E_{np} = 18,76 \text{ МДж} / \text{м}^2$, $E_p = 9,18 \text{ МДж} / \text{м}^2$. При цьому $t_c = 14,3^\circ \text{C}$

Значення теплової енергії переводимо у розмірні одиниці кВт·год.:

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 3600 \text{ кДж},$$

$$E_{np} = 18,760 / 3,6 = 5,211 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2,$$

$$E_p = 9,180 / 3,6 = 2,55 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2,$$

$$K_p = (\cos 2 \cdot 35 + 1) / 2 = 0,671,$$

$$E_c = 0,96 \cdot (1,11 \cdot 5,211 \cdot 0,64 + 0,671 \cdot 2,550 \cdot 0,64) = 5,16035 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2.$$

Задача 2.3. Умова. Розрахувати кількість колекторів для сім'ї з чотирьох осіб, якщо задана температура гарячої води становить 45°C , температура вихідної води - 10°C . Питома теплоємність води: $C = 1,16 \cdot 10^{-3} \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{кг} \cdot \text{K}$.

Розв'язок. Визначаємо витрату теплоти, кВт·год/день:

$$P_u = m \cdot C \cdot (t_{вих} - t_{вх}),$$

де денна витрата води: $m = \text{кіл-сть осіб} \times 50 \text{ л/день}$.

$$P_u = 4 \cdot 50 \cdot 1,16 \cdot 10^{-3} \cdot (45 - 10) = 8,12 \text{ (кВт} \cdot \text{год} / \text{день)}$$

Визначаємо площу асорбера, м^2 :

$$A = \frac{P_u}{P_s \cdot \eta},$$

де P_s – середнє значення доступної сонячної енергії; $\eta = 0,5$ – середній ККД сонячної установки.

- для літнього періоду: $P_s = 3,5 \text{ кВт} / \text{год} / \text{м}^2 \text{ день}$

$$A = \frac{8,12}{3,5 \cdot 0,5} = 4,64(m^2)$$

Отримана площа – це робоча поверхня абсорберів. Робоча площа 1 абсорбера = 1,76 м². З цього випливає, що потрібно 3 колектори на літній період.

- для зимового періоду: $P_s=2,5$ кВт/год/м²день

$$A = \frac{8,12}{2,5 \cdot 0,5} = 6,5(m^2)$$

Для зимового періоду потрібно 4 колектори.

Запитання для самоперевірки

1. Що таке «сонячна енергетика»?
2. Потенціал сонячної енергії в Україні.
3. Дати порівняльну характеристику розвитку сонячної енергетики в Україні та Європі.
4. Як класифікують сонячні установки за способом перетворення сонячного випромінювання у теплову енергію?
5. Перерахувати види сонячних колекторів. Охарактеризувати принцип роботи інтегрованих колекторів.

ТЕМА 3. ЕНЕРГІЯ ВІТРУ

Мета заняття: ознайомитися з потенціалом енергії вітру в Україні та світі. Вивчити стан вітрової енергетики та перспективи її розвитку. Навчитися розв'язувати типові задачі за темою. Визначити переваги та недоліки використання енергії вітру в Україні.

3.1 Загальні теоретичні відомості

Вітри – це течії атмосферного повітря, породжувані нерівномірним нагрівом поверхні Землі та сонячним випромінюванням. Вітрова енергія використовувалася людиною з давніх часів, здебільшого у вітрильному судноплаванні та вітряних млинах.

Лідером за швидкістю розвитку вітрової енергетики на сьогоднішній день є Китай, де в 2011 році було встановлено 16 ГВт потужностей вітрових електростанцій. Загальна потужність ВЕС Китаю складає нині близько 63 ГВт або 26% від загальної потужності ВЕС світу. Частка вітрової енергетики в США складає 20%, Німеччині – 12%, Іспанії – 9%, Індії – 7%.

Україна має досить високий кліматичний потенціал вітрової енергії, який забезпечує продуктивну роботу не лише автономних вузлів живлення, але й потужних вітроелектростанцій. Зростає необхідність у виявленні найперспективніших місць використання вітрової енергії, базуючись на її кліматичному потенціалі та показниках його можливої утилізації. Згідно з даними Global wind energy council близько 40% територій придатні до

генерування енергії з вітру. В середньотерміновій перспективі можна розвинути потужності енергії вітру, що замінять 20-30% всього споживання електроенергії з традиційних видів палива в країні. В рейтингу привабливості країн для розвитку альтернативної енергетики компанії Ernst&Young, до якого Україна була включена в листопаді 2011 року, наша країна зберегла 32 позицію. Найближчими конкурентами України є Марокко та Туреччина (ділять 30 місце), а також Австрія (33 місце), Туніс, Болгарія та Аргентина (ділять 34 місце).

Інститутом відновлюваної енергетики НАН України проведено ретельні дослідження й створено «Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України», що має вигляд збірника картографічних, табличних і текстових матеріалів, систематизованих за основними напрямками впровадження відновлюваних джерел енергії на рівні областей України і АР Крим. Вітроенергетичний потенціал різних територій України характеризується середньорічними швидкостями вітру на рівні 7,0-8,5 м/с, що дозволяє використовувати вітротехніку мегаватного класу потужності з річним коефіцієнтом використання потужності на рівні 0,3 - 0,4, тобто досить ефективно. Україна має територіальні можливості для будівництва рентабельних вітроелектростанцій (ВЕС) як на суші, так і на морських акваторіях в межах територіальних вод.

На території України придатними для будівництва ВЕС вважаються площі до 7 тис. км², це - карпатський, приазовський, донецький, західнокримський, гірнокримський, керченський регіони, Харківська й Полтавської області.

Як і у випадку з сонячною, на вітрову енергетику також діє «зелений тариф». Завдяки цьому тільки за 2013 рік доля вітрової енергетики фактично подвоїлася, навіть попри те, що вітрова енергія з точки зору «бізнесу» менш вигідна ніж сонячна. Варто відмітити, що вітрова енергетика в Україні розвивалася і до встановлення «зеленого тарифу». Так, ще в 1992 році почалося будівництво Донузлавської вітрової електростанції (Крим), яка наразі генерує понад 17 МВт електроенергії. Інший приклад – Тарханкутська ВЕС (теж Крим), будівництво якої стартувало 1996 року, а потужність наразі сягає 15 МВт. Серед інших потужних вітрових електростанцій можна відмітити Новоазовську ВЕС (Донецька область) потужністю 79,3 МВт, Ботієвськау ВЕС (Запорізька обл.) потужністю 200 МВт. Будівництво останньої почалося в 2011 році, а останній запланований вітряк був встановлений у 2014-тому.

Станом на липень 2013 року загальна потужність вітрових електростанцій України за даними Зеленої Хвилі складає близько 333 МВт.

Прогнозовані показники розвитку вітроенергетики в Україні до 2030 року подано в табл. 3.1.

Термін окупності вітроенергетичної установки, залежно від місцевості, забезпеченості комунікаціями, потужності установки тощо, становить від 3 до 8 років. Питомі капітальні витрати для станцій малої потужності коливаються у межах \$800-1000 за 1 кВт встановленої потужності і зменшуються зі збільшенням потужності установки.

Таблиця 3.1

Показники розвитку вітроенергетики в Україні до 2030 року

Показник	Сценарій	Одиниця виміру	2010	2015	2020	2025	2030
Встановлена потужність ВЕС	Песимістичний	ГВт	0,25	0,5	0,9	1,4	2,0
	Базовий	ГВт	0,6	1,12	1,65	2,2	2,8
	Оптимістичний	ГВт	0,6	1,2	1,85	2,55	3,35
Виробництво електроенергії	Песимістичний	млрд. кВт·год	0,26	0,66	1,58	2,7	4,38
	Базовий	млрд. кВт·год	0,63	1,48	2,89	4,24	6,13
	Оптимістичний	млрд. кВт·год	0,63	1,58	3,24	4,91	7,34

Існує чимало переваг вітроенергетики, включаючи енергетичні, екологічні, економічні.

Переваги для довкілля. Відновлювальне джерело енергії, що зменшує залежність від викопного палива, скорочує рівень викидів парникових та інших шкідливих газів і сприяє боротьбі зі зміною клімату.

Економічні переваги. Енергія вітру доступна практично в будь-якій країні й не залежить від коливання цін на викопне паливо, запаси якого невпинно скорочуються. За останні десятиріччя вартість вітрових електроустановок (ВЕУ), витрати на їх встановлення і обслуговування значно знизилися. В майбутньому ці витрати продовжуватимуть зменшуватися. Встановити невелику ВЕУ можуть дозволити собі навіть кінцеві споживачі, особливо в тих країнах, де існують дотації та пільги на розвиток вітроенергетики. Наприклад, у США існує система стимулювання, коли споживач, який за рахунок вітрових електроустановок виробляє більше енергії, ніж здатен спожити, може продавати її в енергетичну мережу за підвищеним тарифом.

Розширення світового ринку вітроенергетики призвело до значного падіння цін на енергію, що виробляється вітром. Сучасні ВЕУ щорічно виробляють у 180 разів більше електроенергії, ніж 20 років тому. При цьому кіловат виробленої енергії подешевшав щонайменше вдвічі. При вдалому розташуванні вітроенергетичні станції можуть конкурувати за економічними показниками з атомними і тепловими електростанціями (АЕС і ТЕС відповідно).

Але поряд з перевагами, вітрова енергія під час застосування на практиці має і деякі недоліки та обмеження.

Географічні обмеження. Одне з основних обмежень розвитку вітроенергетики – це необхідність розташування установок у певних районах із високою інтенсивністю вітру. Інше обмеження полягає в необхідності виведення з експлуатації земель, які могли б бути використані під інші види господарської та природоохоронної діяльності. Але витрати землі на вітрові електростанції є набагато меншими, ніж на електростанції традиційних типів.

Економічні недоліки. Відносно високі питомі інвестиції у вітроенергетичні проекти в порівнянні з традиційними галузями енергетики, що працюють на викопному паливі.

Екологічні недоліки: шумові впливи; можлива шкода для птахів, кажанів, деяких інших видів тварин; стробоскопічний ефект у північних регіонах.

Оскільки багато з описаних проблем можна вирішити в процесі розвитку технології, вітрова енергетика для України – це крок до енергетичної

незалежності та екологічної безпеки. Але для цього українцям необхідне формування національної енергетичної політики, де важливе місце займатиме нетрадиційна енергетика, зокрема і вітрова. Необхідним є створення нормативно-правової бази з урахуванням особливостей освоєння кожного з видів відновлюваних джерел енергії, визначення основ економічної стимулюючої політики держави і створення законодавчої бази відновлюваної енергетики, основаної на проведенні пільгової політики для виробників та споживачів енергії відновлюваних джерел, визначення механізмів фінансування.

3.2 Приклади розв'язання задач

Задача 3.1. Умова. Визначити параметри ротора вітроенергетичної установки, якщо потужність вітроустановки $P_n = 3$ кВт; середньорічна швидкість вітру $v_{c.p.} = 4,2$ м/с; температура навколишнього середовища $t_c =$ (мінус 15...25) °С; тиск $B = 720...760$ мм рт.ст.

Розв'язок. Розрахунок номінальної швидкості вітру:

- для швидкохідних роторів:

$$v_n = 1,5 \cdot v_{c.p.} = 6,3 \text{ м / с};$$

- для тихохідних роторів:

$$v_n = 1,25 \cdot v_{c.p.} = 5,3 \text{ м / с}.$$

Діаметр ротора вітроенергетичної установки:

$$D = 45,6 \sqrt{\frac{P_n}{v_n^3 \xi}};$$

- для швидкохідних роторів:

$$D = 45,6 \sqrt{\frac{3}{6,3^3 \cdot 0,3}} = 9,1 \text{ м} \approx 9 \text{ м};$$

- для тихохідних роторів:

$$D = 45,6 \sqrt{\frac{3}{5,3^3 \cdot 0,3}} = 11,8 \text{ м} \approx 12 \text{ м}.$$

Зміна потужності при зміні температури та тиску:

$$N_x = \frac{0,38 P_n B}{273 + t}.$$

$t =$ мінус 15 °С

$$B = 720 \text{ мм рт.ст. } N_x = \frac{0,38 \cdot 3 \cdot 720}{273 - 15} = 3,18 \text{ кВт} \text{ (D=9,4 м)}$$

$$B = 760 \text{ мм рт.ст. } N_x = \frac{0,38 \cdot 3 \cdot 760}{273 - 15} = 3,4 \text{ кВт} \text{ (D=9,7 м)}$$

$t = 25$ °С

$$B = 720 \text{ мм рт.ст. } N_x = \frac{0,38 \cdot 3 \cdot 720}{273 + 25} = 2,75 \text{ кВт} \text{ (D=11,3 м)}$$

$$V=760 \text{ мм рт.ст. } N_x = \frac{0,38 \cdot 3 \cdot 760}{273 + 25} = 2,91 \text{ кВт} \text{ (D=11,6м)}$$

Задача 3.2. Умова. Приватний будинок в Київській області знаходиться у стадії будівництва. За попередніми розрахунками мешканці будинку споживатимуть не більше 300-400 кВт електроенергії щомісячно. Витрати електроенергії не дуже високі, оскільки господар використовуватиме для опалювання і нагріву води твердопаливний котел, а вітрогенератор потрібний тільки для повного забезпечення побутових приладів електроенергією. Господар проводить основну частину дня на роботі, а пік споживання електроенергії припадає на ранішні і вечірні години. У цей момент можуть бути включені електроприлади сумарною потужністю до 4 кВт. Будинок знаходиться на піднесеності і є відкритий простір навколо майбутнього місця установки вітрогенератора. Громадської електромережі немає. Повністю забезпечити 300-400 кВт електроенергії щомісячно з піковими навантаженнями до 4 кВт.

Розв'язок. Генератор. Щоб зрозуміти як швидко повинні заражатися акумулятори при витраті електроенергії 400 кВт в місяць, ми повинні розділити 400 кВт/міс на 30 днів (отримаємо щоденне споживання), а потім отримане число розділити на 24 години ($400/30/24 = 0,56$ кВт/година - середнє щогодинне споживання). Швидкість заряду акумуляторних батарей генератором повинна скласти як мінімум 560 Вт в годині

У Київській області низька середньорічна швидкість вітру, але відкритий простір і підвищення об'єкту дозволить вітрогенератору працювати як мінімум на 30-40% від номінальної потужності. Для точніших показників можна зробити вимір швидкості вітру в місці установки.

Для того, щоб забезпечити заряд акумуляторних батарей генератором за цих умов із швидкістю 560 Втв годину, треба узяти генератор, номінальна потужність якого буде як мінімум в три рази більше за необхідну, оскільки генератор працюватиме усього на 30-35% від номінальної потужності ($560 \text{Вт/год} \cdot 3 = 1680 \text{Вт/ч}$). Для цих потреб нам підходить генератор EuroWind 2 з номінальною потужністю 2000 Ватів.

Акумулятори. Проводячи 8-9 годин на роботі в буденні дні, господарі відсутні, і енергоспоживання їх будинку зведене до мінімуму. У нічний час споживання також зведене до мінімуму. Основне споживання відбувається уранці і увечері. Між цими основними списками існує інтервал у 8-9 годині.

При середньому рівні заряду акумуляторних батарей 560 Вт/ч за інтервал 8-9 годин вітровий генератор зможе виробити близько 5000 Ватів. У вітряні дні цей показник може збільшитися як мінімум в два рази, тому за той же період часу може бути вироблені 10000 Вт електроенергії.

Генератор EuroWind 2 має напругу 120 Вольт, тому йому потрібно 10 акумуляторів з напругою 12 Вольт ($12 \text{В} \cdot 10 = 120 \text{В}$). Одна акумуляторна батарея 12В 100Ач здатна зберегти до 1,2 кВт електроенергії. Десять таких батарей можуть зберегти до 12 кВт ($1200 \text{Вт} \cdot 10 = 12000 \text{Вт}$). Для запасу 10000 Вт

електроенергії нам чудово підійдуть 10 акумуляторних батарей 12В з місткістю 100Ач.

Інвертор. Для максимального споживання електроенергії в пікові моменти до 4 кВт, можна встановити інвертор 5 кВА. Він зможе забезпечити постійне навантаження 4 кВт і пускові струми до 6 кВт (150% навантаження).

Додаткове устаткування. Автоматичний перемикач джерела живлення (АВР) в даному випадку не потрібний, оскільки немає основної мережі, а комутацію з дизельним генератором (чи бензиновим) можна робити за допомогою перекидного рубильника. А ось дизельний генератор на 5 кВт в нашому випадку не перешкодить - його можна використовувати як резервне живлення при повній відсутності вітру.

РАЗОМ: для повного енергозабезпечення об'єкту нам потрібний генератор EuroWind 2, 10 акумуляторних батарей 12В з місткістю 100Ач, інвертор 5 кВА, дизельна електростанція на 5 кВт.

Запитання для самоперевірки

1. Що таке вітер і які причини його виникнення?
2. Потенціал вітрової енергії в Україні.
3. Які регіони України є найбільш придатними для будівництва вітроелектростанцій? Які параметри характеризують доцільність будівництва ВЕС?
4. У чому полягають економічні переваги розвитку вітрової енергетики?
5. Які екологічні недоліки виникають під час використання енергії вітру?

ТЕМА 4. ГЕОТЕРМАЛЬНА ЕНЕРГІЯ

Мета заняття: ознайомитися з потенціалом геотермальної енергії в Україні та світі. Вивчити класифікацію геотермальних джерел енергії, ознайомитися з принципом роботи обладнання, необхідного для видобутку даного виду енергії. Навчитися розв'язувати типові задачі за темою. Визначити переваги та недоліки видобутку і використання енергії Землі в Україні та світі.

4.1 Загальні теоретичні відомості

Геотермальна енергія – це енергія земних надр, яка знаходиться в твердих породах Землі і підземних водах. Температура земної кори вглиб підвищується на 2,5...3 °С через кожні 100 м. Так, на глибині 20 км вона складає близько 500 °С, на глибині 50 км - порядку 700...800 °С. У певних місцях, особливо по краях тектонічних плит материків, а також у так званих «гарячих точках», температурний градієнт вище майже в 10 разів, і тоді на глибині 500...1000 метрів температура порід сягає 300 °С. За сучасними оцінками, геотермальна енергія, акумульована у перших 10 км земної кори,

досягає 137 трлн т умовного палива, що у 10 разів перевищує геологічні ресурси усіх видів палива, разом узятих. При цьому у вулканічних регіонах планети високотемпературне тепло, що нагріває геотермальну воду до значень температур, що перевищують 140 – 150 °С, економічно найвигідніше використовувати для вироблення електроенергії. Підземні геотермальні води зі значеннями температур, що не перевищують 100 °С, як правило, економічно вигідно використовувати для потреб теплопостачання, гарячого водопостачання і для інших цілей.

Усю природну теплоту, яка міститься у земній корі, можна розглядати як геотермальні ресурси двох видів: пара, вода, газ (гідротермічні джерела енергії); розігріті гірські породи (петротермічні джерела енергії).

За іншими літературними джерелами розрізняють чотири основні типи геотермальної енергії: нормальне поверхове тепло землі, яке використовується геотермальними тепловими насосами; гідротермальні системи, тобто резервуари пари, гарячої чи теплої води біля самої поверхні землі (нині для вироблення електроенергії використовуються саме ці ресурси); глибока коркова теплота, яка утримується під поверхнею землі, але може не мати води; енергія магми, теплота, що накопичена під вулканами та кальдерами; іноді магма частково буває в розплавленому стані.

Підземна теплова енергія масштабно використовується більш як у 40 країнах світу уже понад 50 років для прямих технологій обігріву і охолодження житла, в сільському господарстві, в бальнеології, туризмі тощо. Технології непрямого використання підземної теплової енергії почали поширюватись 30 років тому.

Група експерт з Всесвітньої асоціації з питань геотермальної енергії, яка здійснила оцінку запасів низько- і високотемпературної геотермальної енергії кожному за континенту, отримала дані про потенціалу різних типів геотермальних джерел нашої планети, які представлені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Потенціал геотермальної енергії на Землі

Найменування континенту	Тип геотермального джерела		
	високотемпературний, використовуваний для електроенергії, ТДж/год		низькотемпературний, вживаний у вигляді теплоти, ТДж/год (нижню межу)
	традиційні технології	традиційні і бінарні технології	
Європа	1830	3700	>370
Азія	2970	5900	>320
Африка	1220	2400	>240
Північна Америка	1330	2700	>120
Латинська Америка	2800	5600	>240
Океанія	1050	2100	>110
Світовий потенціал	11200	22400	>1400

Геотермальні ресурси розвідані у 80 країнах світу і в 58 з них активно використовуються. Найбільшим виробником геотермальної електроенергії є США, де геотермальна електроенергетика як один з альтернативних джерел енергії має особливу урядову підтримку. У США в 2005 р. на ГеоТЕС було вироблено близько 16 млрд. кВт·год електроенергії на таких основних промислових зонах, як зона Великих гейзерів, розташована у 100 км на північ

від Сан-Франциско (1360 МВт встановленої потужності), північна частина Солоного моря в центральній Каліфорнії (570 МВт встановленої потужності), Невада (235 МВт встановленої потужності) тощо. Геотермальна електроенергетика бурхливо розвивається також у багатьох інших країнах, у тому числі: на Філіппінах, де на ГеоТЕС на початок 2003 р. було встановлено 1930 МВт електричної потужності, що дало змогу забезпечити близько 27 % потреб країни в електроенергії; в Італії, де у 2003 р. діяли геотермальні енергоустановки загальною потужністю в 790 МВт; в Ісландії, де діють п'ять теплофікаційних ГеоТЕС загальною електричною потужністю 420 МВт, що виробляють 26,5 % від усієї електроенергії в країні; в Кенії, де в 2005 р. діяли три ГеоТЕС загальною електричною потужністю в 160 МВт і були розроблені плани щодо доведення цих потужностей до 576 МВт. Ці країни входять до переліку із найвищим рівнем споживання енергії від геотермальних джерел. Активно розвивається геотермальна енергетика і в країнах наших найближчих сусідів – Польщі, Угорщині, Словаччині.

Загальносвітові обсяги інвестицій в геотермальну енергетику протягом попередніх 20 років склали біля 22 млрд. доларів, більша половина з яких інвестовані приватними структурами. Очікувані інвестиції протягом найближчих 10 років складають 15-20 млрд. доларів.

Геотермальні ресурси України представлені термальними водами, теплою нагрітих сухих гірських порід, ґрунту а також нагрітими сателітними підземними водами, які виводяться на поверхню діючими свердловинами нафтогазових родовищ та ін. Залучення до паливно-енергетичного комплексу України розвіданих родовищ геотермальних вод і, в першу чергу, існуючих на цих родовищах свердловин, дасть можливість створити геотермальні теплогенеруючі установки сумарною тепловою потужністю 200 МВт (з них 140 МВт на основі існуючих свердловин). До 2030 року цілком реально є створення енергогенеруючих геотермальних установок сумарною тепловою потужністю 2160 МВт, електричною 400 МВт.

Річний технічно досяжний енергетичний потенціал геотермальної енергії в Україні є еквівалентним 12 млн. т у.п., його використання дозволить заощадити біля 10 млрд. м³ природного газу (за даними Інституту відновлюваної енергетики НАН України).

Враховуючи наявні оцінки запасів геотермальної енергії, пріоритетними районами в Україні є Керченський півострів, Закарпаття, Прикарпаття (Львівська обл.), Донецька, Запорізька, Луганська, Полтавська, Харківська, Херсонська, Чернігівська та інші області.

В Україні визначено шість пріоритетних напрямків розвитку геотермальної енергетики:

- створення геотермальних станцій для теплопостачання міст, населених пунктів і промислових об'єктів;
- створення геотермальних електростанцій;
- створення систем теплопостачання з підземними акумуляторами теплоти;
- створення сушильних установок;

- створення холодильних установок;
- створення схем геотермального теплопостачання теплиць.

Що стосується обладнання, то слід зазначити, що геотермальні установки потребують менших ділянок землі, ніж передбачено під енергетичні установки інших типів.

Розрізняють такі основні види геотермальних установок: геотермальні електростанції та геотермальні теплові насоси.

Є два види геотермальних станцій: перші для генерування струму використовують пару, другі – перегріті геотермальні води. У перших суха пара зі свердловини надходить у турбіну або генератор для вироблення електроенергії. На станціях іншого типу використовуються геотермальні води температурою понад 190 °С. Вода в природний спосіб піднімається вгору свердловиною, подається у сепаратор, де внаслідок зменшення тиску частина її кипить і перетворюється на пару. Пара спрямовується в генератор або турбіну і виробляє електрику. Це найпоширеніший тип геотермальної електростанції.

Значні масштаби розвитку геотермальної енергетики у майбутньому можливі лише в разі одержання теплової енергії безпосередньо з гірських порід. У цьому випадку у місцях, де знайдено сухі гарячі скельні породи, бурять паралельні свердловини між якими утворюють систему тріщин. Тобто фактично формується штучний геотермальний резервуар, в який подається холодна вода з подальшим отриманням пари або пароводяної суміші.

Геотермальні теплові насоси. Середня температура Землі на глибині 3 – 5 м впродовж року становить 10 – 13 °С і вище. Цим можна скористатися для опалення й охолодження будинків, виробничих приміщень, тваринницьких ферм за допомогою теплообмінників і теплонасосних установок, що дає змогу заощаджувати до 50 – 70 % теплоти, яка використовується для створення оптимального температурного режиму в приміщеннях. Для цього у землі за певною схемою прокладають канали для руху повітря або закопують труби, у які подається вода (чи інший теплоносіє). Незалежно від того, що циркулює в такій системі, за рахунок теплообміну з землею такий тепловий насос може поглинати тепло землі й передавати його у будинок у холодну пору року або переміщувати тепло з будинку в землю у спекотну пору.

У деяких випадках використання теплового геотермального насоса дає змогу економити до 2/3 енергії, що використовується для опалення.

Перевагами геотермальної енергії можна вважати практичну невичерпність ресурсів; незалежність від зовнішніх умов, часу доби і року; можливість комплексного використання термальних вод для потреб теплоелектроенергетики і медицини. Недоліками її є висока мінералізація термальних вод родовищ і наявність токсичних сполук і металів, що виключає в більшості випадків скидання термальних вод у природні водойми; низька термодинамічна якість; необхідність використання тепла деяких джерел біля місця видобування.

4.2 Приклади розв'язання задач

Задача 4.1. Умова. Розрахувати корисну теплоту, яка припадає на 1 км^2 сухої скальної породи (граніт) до глибини 7 км , якщо температурний градієнт G становить $37 \text{ }^\circ\text{C}/\text{км}$, мінімальна допустима температура, що перевищує поверхневу, Δt становить 140 К ; $C_{ce} = 840 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; $\rho_{cr} = 2300 \text{ кг}/\text{м}^3$. Чому дорівнює стала часу видобування тепла з використанням теплоносія води з витратою $V = 1 \text{ м}/\text{с}$. Яка швидкість видобування тепла на початковому етапі і через 10 та 30 років?

Розв'язок. На глибині 7 км температура T_2 перевищує поверхневу T_0 на $\Delta t = 7 \cdot 40 = 280 \text{ К}$. Мінімумально допустима температура 140 К перевищує T_0 на глибині $3,5 \text{ км}$. Виходячи з цього енергетичний запас дорівнює:

$$E = \frac{E_0}{F} = \rho_{ce} \cdot C_{ce} \cdot (z_2 - z_1) \cdot \frac{(T_2 - T_1)}{2} =$$

$$= 2,3 \cdot 10^3 \cdot 0,84 \cdot 10^3 \cdot 3,5 \cdot 10^3 \cdot 70 = 4,73 \cdot 10^{11} \text{ Дж} / \text{м}^2 = 4,73 \cdot 10^{17} \text{ Дж} / \text{км}^2.$$

Тривалість використання джерела теплоти:

$$\tau_a = \frac{\rho_{ce} \cdot C_{ce} \cdot F \cdot (z_2 - z_1)}{V \cdot \rho_g \cdot C_g} = \frac{2,3 \cdot 10^3 \cdot 0,84 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^6 \cdot 3,5 \cdot 10^3}{1 \cdot 10^3 \cdot 4190} =$$

$$= 1,564 \cdot 10^9 \text{ с} = 49,5 \text{ років}$$

Потужність теплового потоку, яка видобувається на початковому етапі:

$$\left(\frac{dE}{d\tau}\right)_{\tau=0} = \frac{E}{\tau_a} = \frac{4,733 \cdot 10^{17}}{1,564 \cdot 10^9} = 302,6 \text{ МВт} / \text{км}^2.$$

Потужність теплового потоку, яка видобувається через 10 років:

$$\left(\frac{dE}{d\tau}\right)_{\tau=10} = E_0 \cdot \exp\left(-\frac{\tau}{\tau_a}\right) = 302,6 \cdot e^{-\frac{10}{49,5}} = 247,2 \text{ МВт} / \text{км}^2.$$

Потужність теплового потоку, яка видобувається через 30 років:

$$\left(\frac{dE}{d\tau}\right)_{\tau=30} = E_0 \cdot e^{-\frac{\tau}{\tau_a}} = 302,6 \cdot e^{-\frac{30}{49,5}} = 165,1 \text{ МВт} / \text{км}^2.$$

Задача 4.2. Умова. Розрахувати необхідну кількість геотермальної води з температурою $t_T = 75 \text{ }^\circ\text{C}$ для теплиці $F=200 \text{ м}^2$, яка має повітряне обігрівання. Температура повітря всередині і зоні теплиці відповідно рівна $t_{bc} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_3 =$ мінус $2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Розв'язання. Необхідна витрата геотермального теплоносія визначається з виразу $F_{нов} = 0,11 \cdot 10^3 \cdot G_2 \cdot (t_T - 35) / (t_{bc} - t_3)$; звідси:

$$F_{нов} = 200 \cdot (20 - (-2)) / (0,11 \cdot (75 - 35) \cdot 10^3) = 1,0 \text{ т} / \text{год}.$$

Запитання для самоперевірки

1. Що таке геотермальна енергія і який її світовий потенціал?
2. Класифікація джерел геотермальної енергії.
3. Назвіть пріоритетних напрямків розвитку геотермальної енергетики в Україні.
4. Види геотермальних станцій.

5. Охарактеризуйте принцип роботи геотермальних теплових насосів.
6. Перерахуйте переваги та недоліки використання геотермальної енергії.

ТЕМА 5. ЕНЕРГІЯ БІОМАСИ. БІОПАЛИВО

Мета заняття: ознайомитися з поняттям «біомаса». Вивчити види біомаси за походженням та за способом використання. Визначити стан розвитку біоенергетики в світі та Україні. Ознайомитися з перспективами отримання енергії з біосировини в Україні.

Загальні теоретичні відомості

Біомаса є одним з найдавніших джерел енергії, однак її використання до недавнього часу зводилося до прямого спалювання при відкритому вогні або в печах і топках з відносно низьким ККД. Під біомасою розуміються органічні речовини, які утворюються в рослинах в результаті фотосинтезу і можуть бути використані для отримання енергії, включаючи всі види рослинності, рослинні відходи сільського господарства, деревообробної та інших видів промисловості. У більш широкому розумінні до біомаси відносять також побутові й промислові відходи не завжди рослинного походження, але для яких характерні однакові принципи їх утилізації.

Використання біомаси для отримання енергії на основі сучасних технологій є екологічно значно більш безпечним в порівнянні з енергетичним використанням традиційних органічних ресурсів, таких як вугілля.

Біомаса по своєму складу може бути вуглецемісткою (рослинний матеріал, деревна тріска, тирса, морські водорості, зерно, папір, пакувальна тара) або цукромісткою (цукровий буряк, цукровий очерет, сорго).

За способом використання біомасу можна розділити на дві основні групи: первинна біомаса і вторинна. Джерелом первинної біомаси є наземний і водний рослинний світ, вторинної – відходи біомаси, що утворюються після збирання і перероблення первинної біомаси в товарну продукцію, і відходи, обумовлені життєдіяльністю тварин і людей.

Технології використання біомаси постійно вдосконалюються, забезпечуючи отримання енергії в придатній для споживача формі й з максимально можливою ефективністю.

У загальному випадку енергія з органічних відходів отримується або фізичними, або хімічними чи мікробіологічними методами. Фізичним методом енергію отримують шляхом спалювання органічних відходів. Основою хімічного метода є використання процесів піролізу і газифікації. Найрозповсюдженішим у світі є мікробіологічний метод безвідходного виробництва – отримання біогазу анаеробним зброджуванням. Дуже цінним продуктом виробництва біогазу є отримання високоякісних органічних добрив.

Сьогодні біомаса як паливо впевнено займає четверте місце в світі за обсягами виробництва та споживання енергії. Її частка в загальному постачанні первинної енергії сягає 10%, що становить 1272 млн. т н.е./рік. В секторі виробництва теплової енергії біомаса також знаходиться на четвертому місці після вугілля, природного газу та нафти.

Суттєвих успіхів в розвитку сектору біоенергетики досягнуто в Європейському Союзі. Частка біомаси в загальному споживанні енергії в ЄС зросла з 3% у 1995 році до майже 7% в теперішній час. При цьому в ряді країн цей показник набагато вищий за середньоєвропейський. Так, в Латвії частка біомаси у валовому внутрішньому енергоспоживанні становить близько 28% (лідер серед країн ЄС), в Швеції – 22%, в Фінляндії – 21%, в Данії – 17%, в Австрії – 16%, в Німеччині – 8%. Для порівняння: в США внесок біомаси до загального енергоспоживання складає 3,9%.

В ряді країн показник виробництва теплової енергії з біомаси значно вищий за середньоєвропейський: Швеція – 61% (лідер серед країн ЄС), Австрія – 37%, Данія – 35%, Фінляндія – 32%.

В структурі самої біомаси, що використовується для виробництва теплової енергії, в більшості країн ЄС основна частка припадає на тверду біомасу, наприклад, в Фінляндії – 94%, в Польщі – 93%, в Австрії – 89%, в Швеції – 78% (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

Структура виробництва теплової енергії з біомаси за видом палива в деяких країнах ЄС, 2009 р.

Країни ЄС	Види біомаси/біопалива				Загалом, ТДж/рік
	тверда біомаса	ТНВ	біогаз	рідкі біопалива	
Швеція	78%	17%	1%	5%	113405
Фінляндія	94%	4%	2%	-	51595
Данія	62%	36%	3%	-	41252
Німеччина	37%	58%	3%	1%	7758
Австрія	89%	8%	2%	1%	4471
Польща	93%	-	7%	-	11270
Франція	-	100%	-	-	10613
Нідерланди	24%	73%	3%	-	6869
Італія	37	34	12	17	6861
Чеська Республіка	56	39	5	-	3703
Угорщина	68	31	1	-	1696

В Україні сектор біоенергетики розвивається вкрай повільно. Згідно з енергетичним балансом 2011 року частка енергії, виробленої з біомаси, становить 1,24%. Хоча Україна має добрі передумови для суттєвого розширення використання біомаси в енергетичних цілях, в першу чергу - для виробництва теплової енергії. Однією з таких передумов є значний потенціал біомаси, доступної для виробництва енергії.

Найбільшими складовими потенціалу є відходи сільського господарства та біомаса енергетичних культур. Залежно від врожайності економічно доцільний потенціал коливається в межах 25-35 млн тонн умовного палива на рік, що становить 13-18% споживання первинних видів палива в Україні.

Наразі з наявного потенціалу біомаси для виробництва енергії в Україні найбільш активно використовується деревина та лушпиння соняшника. З

наведених у табл. 5.2. даних видно, що використання потенціалу деревної біомаси сягає 80%, а лушпиння - 59%. При цьому потенціал загальнодоступної соломи використовується лише на 1%.

Таблиця 5.2

Використання біомаси для виробництва енергії в Україні, 2011-2012 роки*

Вид біомаси	Річний обсяг споживання**		Частка від загального обсягу річного споживання біомаси, %	Частка від економічно доцільного потенціалу, %
	Натуральні одиниці	Тис тонн умовного палива		
Солома зернових та ріпаку	77 тис тонн	37	1,6	1
Дрова, населення	2 млн м куб	478	21,4	80
Дрова, крім населення	4 млн тонн	1 330	59,5	
Лушпиння соняшника	665 тис тонн	318	14,2	59
Біоетанол	52 тис тонн	48	2,1	4
Біодизель	318 тонн	~0	~0	~0
Біогаз з аграрних відходів	10 млн м куб	7	0,3	2
Біогаз з полігонів ТПВ	26 млн м куб	18	0,8	7
Усього		2 236***	100	

* - експертна оцінка

** - для виробництва енергії в Україні. Експорт гранул не враховується

*** - узгоджується з даними Держстату - 2,24 млн тонн умовного палива у 2011 році

В Україні існує низка бар'єрів на шляху розвитку біоенергетики взагалі і сектора виробництва теплової енергії зокрема. Серед них треба зазначити наступні.

1. Субсидування внутрішніх цін на газ для населення та ЖКГ робить біомасу неконкурентоспроможною у цих секторах.
2. Відсутність субсидій для покупців біоенергетичного обладнання.
3. Відсутність діючої державної програми з розвитку біоенергетики.
4. Можливості сектора біоенергетики майже проігноровані при розробці проекту оновленої Енергетичної стратегії України на період до 2030 року.
5. Нерозвиненість ринку біомаси як палива.
6. Завищені екологічні вимоги до котлів, що працюють на біомасі.
7. Механізм утворення тарифів не стимулює виробників тепла застосовувати місцеві біопалива, а навпаки - спонукає їх до використання імпортного газу.

Для подолання цих бар'єрів на державному рівні потрібно вжити цілу низку заходів. Серед іншого рекомендується встановлення в офіційних документах обґрунтованих цілей з внеску біомаси до енергоспоживання.

Наразі біомаса в Україні застосовується в основному для виробництва теплової енергії. Можна відзначити такі основні напрямки використання:

- Населення у сільській місцевості використовує дрова в традиційних пічках та грубках (близько 74% загального обсягу використаних дров). Решта утилізується підприємствами.

- Близько 2000 сучасних котлів працюють на деревній біомасі (тріска, гранули), а у м. Сміла (Черкаська обл.) – ТЕЦ на деревині. За даними Державного агентства лісових ресурсів України, на підприємствах галузі працюють 1387 котлів на біопаливі загальною встановленою потужністю 246 МВт. Серед вітчизняних виробників деревноспалюючих котлів можна відмітити котлозавод «Крігер» (Житомир), ТОВ «Волинь-Кальвіс» (Ковель, Волинська обл.), «Ройек-Львів» (Львів) та ін.

- Більше 1000 котлів, переведених з вугілля/мазуту на деревну біомасу, експлуатуються на підприємствах лісового господарства.

- Порядку 40 котлів та 40 теплогенераторів працюють на тюкованій соломі. Майже всі котли – виробництва компанії «Південтеплоенергомонтаж» (Київ), що випускає котли по виключній ліцензії датської компанії Passat Energy A/S. Котли експлуатуються у сільських школах, на аграрних підприємствах та інших об'єктах. Теплогенератори виробництва ВАТ «Бріг» (м. Первомайськ, Миколаївська обл.) працюють у складі зерносушильних комплексів у 20 областях України.

- Більше 70 котлів, розташованих на олієекстракційних заводах та масложирових комбінатах, використовують в якості палива лушпиння соняшника. Частина котлів спроектована СПКТБ «Енергомашпроект» (Київ), інші – іноземного виробництва, зокрема компаній Vynske (Бельгія), Rafako (Польща), Vavsock. Дві установки працюють в режимі ТЕЦ – на ВАТ «Кіровоградолія» (Кіровоград) та ТОВ «Комбінат Каргілл» (Донецьк).

Ще одним важливим напрямком використання енергетичного потенціалу біомаси є виробництво гранул та брикетів. За даними Асоціації учасників ринку альтернативних видів палива та енергії, в 2012 році в Україні було вироблено 810 тис. т твердого біопалива. Ліва частина виробленого біопалива експортується, в основному в країни Європи. Але останніми роками спостерігається тенденція збільшення частки, що залишається в Україні. Якщо 4-5 років тому назад 90-95% виробленого твердого біопалива вивозилося, то у 2012 році частка експорту скоротилася до 70%.

Запитання для самоперевірки

1. Що таке біомаса?
2. На які групи поділяють біомасу за способом використання?
3. Охарактеризувати структуру використання біомаси у країнах Європейського Союзу.
4. Які перешкоди для розвитку біоенергетики в Україні Ви знаєте?
5. Дати характеристику основних напрямків використання біосировини в Україні.

ТЕМА 6. БІОГАЗ

Мета заняття: ознайомитися з сировинною базою для виробництва біогазу. Вивчити технологію перетворення біосировини в біогаз. Визначити основні характеристики та конструктивні особливості обладнання з виробництва біопалива. Навчитися розраховувати потенціал біомаси у перерахунку на біопаливо.

6.1 Загальні теоретичні відомості

Біогаз – це газ, який виробляється із органічних відходів (відходів їжі, тваринництва). Біогаз має низку переваг перед природним газом, а саме:

1. Біогаз виробляється із біологічної сировини, отже, його виробництво і спалювання є частиною природного циклу вуглецю, що не приводить до накопичення природного газу в атмосфері і парникового ефекту. Природний газ добувається з глибини землі, він не є частиною атмосфери, отже, при його спалюванні відбувається накопичення вуглекислого газу.

2. Біогаз – відновлюване джерело енергії, тобто він ніколи не вичерпається. Природного газу і нафти при теперішніх темпах їх використання за прогнозами вистачить не більше, ніж на 50 років.

3. Біогаз виробляється близько до споживача, тому немає необхідності транспортувати газ на великі відстані.

Біогаз з високим вмістом метану (більше 40 %) придатний для використання на енергетичних об'єктах або в інших технологічних процесах.

Приклади використання біогазу:

- виробництво електроенергії за допомогою генераторів з приводом від двигуна внутрішнього згоряння або газотурбінних генераторів;
- виробництво теплової енергії в пристосованих газових котлах;
- виробництво електро- і теплоенергії в когенераційних установках;
- постачання газу до газової мережі;
- використання газу як палива для тракторних та автомобільних двигунів;
- використання газу в технологічних процесах, наприклад, у виробництві метанолу.

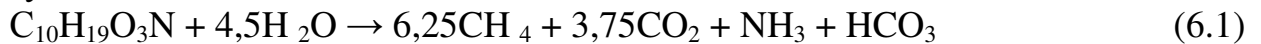
Біогаз виникає в результаті бродіння майже будь-яких видів біомаси. Біогаз – це горючий газ, який складається з метану (CH_4 : 50-75 %), вуглекислого газу (CO_2 : 25-50 %), водяної пари (H_2O : 0-10 %), азоту (0,01-5 %), кисню (0,01-2 %), водню (H_2 : 0-1 %), аміаку (0,01-2,5 мг/м³) та сірководню (H_2S : 10-30.000 мг/м³). Основним компонентом біогазу є горючий газ метан, при згорянні якого вивільняється енергія. Вміст метану в біогазі багато в чому залежить від використовуваних матеріалів і процесу бродіння.

Необхідною умовою для отримання біогазу є продуктивна життєдіяльність метанотворної бактерії. На сьогоднішній день відомо, що це є нестача кисню, рН – від 6,5 до 7,5 і постійна температура від 15 до 55 °С. Період ферментації становить від 10 до 120 днів в залежності від умов які

регулюються приведеними параметрами, а саме фактором рН і температурою середовища.

Метанове збродження являє собою процес розкладання органічних речовин до кінцевих продуктів, в основному метану і вуглекислого газу, завдяки життєдіяльності складного комплексу мікроорганізмів в анаеробних умовах. При оптимальних умовах ці гази утворюються в кількості які складають 90...95 % розкладеної органічної речовини. Решта 5...10 % витрачаються на відновлення бактеріальних клітин.

По теорії Маккарті повне руйнування органічних речовин відбувається слідуєчим чином:



Згідно сучасним уявленням анаеробне метанове збродження має чотири пов'язані стадії:

1. Стадія ферментативного гідролізу нерозчинних складних органічних речовин з утворенням простих розчинних речовин;
2. Стадія кислототворного процесу з виділенням летючих жирних кислот (ЛЖК), амінокислот, спиртів, водню і вуглекислого газу (кислотогенна стадія);
3. Ацетогенна стадія перетворення ЛЖК, амінокислот і спиртів в оцтову кислоту;
4. Метаногенна стадія – утворення метану з оцтової кислоти і відновлення воднем вуглекислого газу.

В Україні є поодинокі приклади впровадження біогазових технологій. Перша установка була побудована 1993 року на свинофермі "Запоріжсталі". Наступними стали компанії "Агро-овен", "Еліта", "Українська молочна компанія". Інформацію про діючі біогазові установки на території України представлено в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Діючі біогазові установки в Україні

Підприємство	Рік запуску	Поголів'я	Сировина	Об'єм сировини, тонн на добу	Об'єм реакторів, м3	Потужність, кВт	Технологія
Свиноферма комбінату "Запоріжсталь", Запоріжжя	1993	12 000	Гній	20-22	595	-	Bigadan Ltd, Данія
Свиноферма корпорації "Агро-овен", Оленівка, Дніпропетровська область	2003	15 000	Гній, жирові відходи	80	2x1000	180	BTG, Нідерланди
Аграрна компанія "Еліта", Терезине, Київська область	2009	1 000	Гній	60	1 500	250	LIPP, ФРН
Ферма ВРХ "УМК", В. Крупіль, Київська область	2009	6 000	Гній	400	3x2400 + 1 000	955	"Зорг", Україна

Для прикладу, біогазова установка на комбінаті "Запоріжсталь" була впроваджена для очищення стоків та зменшення споживання енергії. Теплова утилізація біогазу реалізується на власні потреби свиногомплексу комбінату.

На свиногомплексі корпорації "Агро-овен" електроенергія, що виробляється у біогазовій установці, споживається на власні потреби установки та підприємства, при цьому когенераційна установка не підключена до загальної електромережі.

Експлуатація БГУ компанії "Еліта" призупинена 2011 року через нерентабельність роботи за відсутності "зеленого" тарифу (ЗТ). Єдиною біогазовою установкою, підключеною до мережі, є БГУ на фермі "Української молочної компанії".

У вересні 2011 року почалося будівництво біогазової установки на базі свиногомплексу в селі Копанки Івано-Франківської області. У 2012 році "Миронівський хлібопродукт" почав будувати біогазову установку на птахофабриці "Оріль-лідер" у Дніпропетровській області. Планує реалізувати амбітну біогазову програму з тридцяти БГУ компанія "Укрлендфармінг".

Слід відмітити, що біогазові установки класифікують за призначенням, за температурним режимом, за технологічним процесом та за схемою бродіння.

Впровадження біогазових технологій залишається справою флагманів АПК, що мають власні ресурси для роботи в умовах слабого фінансового ринку і відсутності інвестицій. АПК України, виробляючи значні обсяги органічних відходів, володіє ресурсами для виробництва біогазу, здатними замінити 1,5 млрд кубометрів газу на рік (табл. 6.2). При розвитку галузі і широкому використанні рослинної сировини цей потенціал може бути доведений до 18 млрд кубометрів у перерахунку на природний газ.

У першому випадку передбачається використовувати 6% орних земель в Україні для вирощування кукурудзи на біогаз з консервативною величиною врожайності 30 тонн на га. Другий варіант, з вищим прогнозом, передбачає використання 7,9 млн га вільних від посівів земель з урахуванням підвищення врожайності.

Таблиця 6.2

Потенціал виробництва біогазу в АПК України

Вид діяльності	Кількість підприємств в Україні*	Загальний обсяг основних відходів	Потенціал виробництва біогазу із загального обсягу відходів і продукції
		тис. тонн	млн. кубометрів на рік
Всього в Україні	11 667	39 727	9 543
Цукрові заводи	60	23 264	976
Пивзаводи	51	1 017	122
Спиртові заводи	58	2 705	117
Ферми ВРХ	5 079	15 432	386
Свиноферми	5 634	5 657	160
Птахофабрики	785	4 722	378
Силос кукурудзи			7 406

Біогаз, у порівнянні з іншими поновлюваними джерелами енергії, є дуже

гнучким у використанні і знаходить застосування у трьох важливих напрямках (виробництво електроенергії, тепла, палива).

Енергетичний потенціал біогазу складається з різноманітних потенціалів. До них належать: потенціал площ для вирощування енергетичних культур; теоретично можливі потенціали традиційних органічних добрив (рідкий та твердий гній, курячий послід тощо); потенціали обробної промисловості (органічні відходи); потенціал використання відходів комунального господарства; підвищення ефективності у вирощуванні енергетичних культур на гектар площі; різноманітні потенціали можливостей використання біогазу, наприклад, чисте виробництво електроенергії, виробництво електроенергії і тепла (ТЕЦ), або використання в якості пального для транспорту.

Крім того, вирішальну роль у розвитку біоенергетики і ефективному використанні існуючих потенціалів відіграють політичні і правові рамкові умови, а також наявна інфраструктура. Найважливішими практичними кроками створення функціонуючого українського ринку біогазу (біометану) є такі: формулювання чітких цілей і шляхів розвитку виробництва біогазу в національній енергетичній стратегії, оптимізація енергетичного балансу держави; створення законодавчих рамок умов для регулювання подачі біометану і уможливлення транскордонної торгівлі; створення установ для здійснення нагляду, документування і сертифікації подачі біометану і торгівлі ним, а також забезпечення визнання такої сертифікації у транскордонній торгівлі; покращення інвестиційного клімату шляхом створення відповідних рамок умов для інвесторів з метою форсування розвитку ринку поновлюваних енергій.

6.2 Приклади розв'язання задач

Задача 6.1. Умова. Розрахувати параметри біогазоаої установки.

Розв'язок. Визначаємо добове надходження біомаси:

$$m_{\text{б.м}} = 1000 \cdot 5 = 5000 \text{ кг / добу.}$$

Частка сухої речовини в біомасі $m_{\text{сп}}$:

$$m_{\text{сп}} = 5000 \cdot \left(1 - \frac{90}{100}\right) = 500 \text{ кг / добу.}$$

Частка сухої органічної речовини:

$$M_{\text{соп}} = 500 \cdot 0,8 = 400 \text{ кг / добу.}$$

Об'єм метантенка:

$$V_{\text{мт}} = \frac{0,8 \cdot 5000 \cdot 20}{1020} = 78,4 \text{ м}^3.$$

Вихід біогазу при повному розкладанні сухої органічної речовини:

$$M_{\text{нор}} = 400 \cdot 0,415 = 166 \text{ м}^2.$$

Визначаємо обсяг отриманого біогазу:

$$V_{\text{б}} = 166 \cdot \frac{50}{100} = 83 \text{ м}^3.$$

Місячний об'єм біогазу:

$$V_{\bar{\sigma}}^M = 30 \cdot V_{\bar{\sigma}} = 30 \cdot 83 = 2490 \text{ м}^3.$$

Річний об'єм біогазу:

$$V_{\bar{\sigma}}^P = 365 \cdot V_{\bar{\sigma}} = 365 \cdot 83 = 30295 \text{ м}^3.$$

Як правило, метантанки мають циліндричну форму, відношення висоти до його внутрішнього діаметра приймаємо рівним $h/d = 0,9 \dots 1,3$. Приймаємо $h/d = 1$.

$$V_{mt} = \frac{\pi d_{\bar{\sigma}}^2}{4} \cdot h = \frac{\pi d_{\bar{\sigma}}^2}{4} \cdot d_{\bar{\sigma}},$$

$$d_{\bar{\sigma}} = \sqrt[3]{\frac{4V_{MT}}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 78,4}{3,14}} = 4,64 \text{ м}.$$

Температуру біомаси, що завантажується, приймаємо рівною середньомісячній температурі навколишнього повітря, якщо ж менше 5°C , тоді приймається рівною 5°C . Опір теплосприйняття, $1/\alpha_1 = 0,05 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C)/Вт}$; $1/\alpha_2$ – опір тепловіддачі, $1/\alpha_2 = 0,05 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C)/Вт}$.

Площа основи метантанка:

$$S_{осн} = \frac{\pi \cdot d_{\bar{\sigma}}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 4,64^2}{4} = 16,9 \text{ м}^2.$$

$$S_{біч} = \pi \cdot d_{\bar{\sigma}} \cdot h = \pi \cdot d_{\bar{\sigma}}^2 = 3,14 \cdot 4,64^2 = 67,6 \text{ м}^2.$$

$$F = 67,6 + 2 \cdot 16,9 = 101,4 \text{ м}^2.$$

Ухвалюємо бетонний метантенк товщиною $0,3 \text{ м}$, теплоізоляція виконана у вигляді шлакобетону ($0,1 \text{ м}$) і земляного валу (1 м).

Коефіцієнт тепловіддачі:

$$k = \frac{1}{0,05 + \frac{0,3}{1,83} + \frac{0,1}{0,06} + \frac{1}{1,75} + 0,05} = 0,4 \text{ Вт / м}^2 \cdot ^\circ\text{C}.$$

Кількість годин у місяці, $t_{\text{гм}}$ прийmemo 720 год. , базуючись на місяці з 30

днів; питома навантаження на мішалку, $q_{\text{норм}} = 50 \frac{\text{Вт} \cdot \text{г}}{\text{м}^3}$.

$$Q_{\text{мех}} = q_{\text{норм}} \cdot V_{\text{mt}} \cdot z = 50 \cdot 78,4 \cdot 8 = 31,4 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Переводимо отримані значення в Мдж/міс:

$$Q_{\text{мех}}^M = 3,6 \cdot Q_{\text{мех}} \cdot t_{\text{доб}}^M = 3,6 \cdot 31,4 \cdot 30 = 3388 \text{ МДж / міс}.$$

Результати розрахунків зводимо в таблицю 7.12.

Потенційна енергія біогазу $Q_{\text{отр}}$, виробленого за рік:

$$Q_{\text{отр}} = V_{\bar{\sigma}}^{\text{рік}} \cdot q_{\bar{\sigma}} = 30295 \cdot 25 = 757375 \text{ МДж}.$$

Енергетичний ефект біогазової установки $\mathcal{E}_{\bar{\sigma}}$ за рік:

$$\mathcal{E}_{\bar{\sigma}} = V_{\bar{\sigma}}^{\text{рік}} \cdot q_{\bar{\sigma}} = 20651 \cdot 25 = 516281 \text{ МДж}.$$

Коефіцієнт товарності біогазової установки:

$$K_{\text{мов}} = \frac{Э_б}{Q_{\text{отр}}} \cdot 100\% = \frac{516281}{757375} \cdot 100\% = 68,2\%.$$

Річна економія умовного палива:

$$B_{\text{ун}} = \frac{Э_б}{29300} = \frac{516281}{29300} = 17,6 \text{ тун.}$$

Запитання для самоперевірки

1. Що таке біогаз? Який його хімічний склад?
2. В якому стані перебуває виробництво біогазу в Україні сьогодні?
3. З яких стадій складається процес продукування біогазу?
4. Охарактеризувати енергетичний потенціал біогазу.
5. Яких заходів потребує створення повноцінного функціонуючого українського ринку біогазу?

ТЕМА 7. ТВЕРДЕ БІОПАЛИВО

Мета заняття: ознайомитися з характеристикою різних видів твердого біопалива. Вивчити основні технологічні особливості процесу виробництва. Навчитися розраховувати потенціал біомаси у перерахунку на біопаливо та основні конструкційні характеристики обладнання.

7.1 Загальні теоретичні відомості

Тверде біопаливо - тверда біомаса, що використовується як котельно-пічне паливо, у тому числі дрова, торф, тирса, тріска, солома, інші сільськогосподарські відходи, гранули та брикети, вироблені з біомаси, деревне вугілля та вуглиста речовина.

Тверді енергоносії біологічного походження (головним чином гній, відходи деревина, торф) брикетують, сушать і спалюють в камінах житлових будинків і топках теплових електростанцій, виробляючи дешеву електрику для побутових і виробничих потреб. Відходи деревини з мінімальним ступенем підготовки до спалювання (тирса, кора, лушпиння, солома тощо) пресують в паливні брикети або в пелети, які мають форму циліндричних або сферичних гранул діаметром 8-23 мм і довжину 10-30 мм.

В Україні одним з найперспективніших напрямів використання потенціалу біомаси є виробництво брикетів і гранул. За даними Асоціації учасників ринку альтернативних видів палива та енергії, протягом 2011 року в країні виробили 810 тис. тонн твердого біопалива. Зараз більшу частину цього палива експортують, оскільки в Україні немає значного попиту на цей енергоресурс. Однак можна відзначити і незначну тенденцію зростання потреб у твердому біопаливі всередині країни. Кілька років тому виробники твердого палива експортували близько 90-95% своєї продукції. У 2012 році ця цифра становила 70%.

Так, основним споживачем українських гранул з деревних відходів, лушпиння соняшника та соломи багато років є найближчий сусід – Польща, яка купує порівняно дешеві українські пелети для потреб ТЕС. І хоча польські компанії купують українську паливну продукцію за нижчими цінами, ніж за неї пропонують контрагенти з інших країн, наприклад, Бельгії та Італії, саме польський ринок кращий для українських виробників з багатьох причин:

1. Відносна близькість і, відповідно, низькі транспортні витрати.

2. Наявність добре відпрацьованих зв'язків і каналів постачання. Показовий приклад – робота найбільшого постачальника деревних пелет, компанії ТОВ “Барлінек Інвест” (Вінницька область). Компанія є дочірньою структурою потужного польського деревообробного концерну “Барлінек” і відправляє продукцію на експорт переважно своїм дружнім компаніям.

3. Не самі високі вимоги щодо якості продукції, оскільки її цільове призначення – спалювання на твердопаливних і змішаних (тверде біопаливо плюс вугілля) теплових електростанціях.

Процеси гранулювання (пелетування) являються масовими технологічними процесами, досить поширені в наш час, і знаходять усе більш широке використання в хімічній, нафтохімічній, фармацевтичній, металургійній галузях промисловості. Це пояснюється перевагами гранул у порівнянні з порошкоподібною, рідкою і пастоюподібною формами речовин.

Гранулювання проводять з метою поліпшення якості як проміжних, так і готових продуктів. Показники якості залежать від специфіки продукту і його призначення. У загальному випадку, гранулювання дозволяє істотно зменшити схильність продукту до злежування, а отже, спростити зберігання, транспортування і дозування; підвищити сипучість при одночасному усуненні запиленості, і тим самим поліпшити умови праці в різноманітних сферах виробництва. Поряд з цим, гранулювання відкриває можливість гомогенізувати суміш відносно фізико-хімічних властивостей; збільшити поверхню теплообміну та масообміну; регулювати структуру гранул і пов'язані з нею властивості. Все це сприяє інтенсифікації процесів, в яких використовуються гранульовані продукти, підвищенню продуктивності праці і культури виробництва.

Розглянемо більш детально використання паливних гранул, так як використання гранул у даній сфері є найбільш раціональним та розповсюдженим.

Паливні гранули – екологічно чисте паливо з вмістом золи не більше 3 %. При спалюванні гранул в атмосферу викидається рівно стільки CO₂, скільки було поглинуто рослиною під час росту. Проте, якщо в місці зростання сировини докілька містило токсини або радіоактивні речовини, то при спалюванні гранул ці речовини можуть бути розпорошені в атмосферу. Гранули менш схильні до самозаймання, оскільки не містять пилу і спор, які також можуть викликати алергічну реакцію у людей. Гранули мають незначну вологість (8...12 %) та значну щільність. Ці якості забезпечують високу теплотворну здатність – при згоранні тонни гранул виділяється приблизно 5 тис. кВт год. тепла, що у півтора рази більше, ніж у звичайних дров. Низька

вологість – це не лише перевага гранул як палива, але і проблема їх виробництва. Сушка може виявитися однією з основних статей витрат при виробництві паливних гранул. Крім того, залежно від виробництва, підготовка, сортування і очищення сировини також можуть спричинити додаткові витрати. Процес сушки важливо ретельно спланувати, що дозволить зменшити ризики, пов'язані з якістю готової продукції, її собівартістю і пожежонебезпекою виробництва. Одна з найважливіших переваг гранул – висока і постійна насипна щільність, що дозволяє відносно легко транспортувати цей сипкий продукт на великі відстані. Завдяки правильній формі, невеликому розміру і однорідній консистенції продукту, гранули можна пересипати через спеціальні рукави, що дозволяє автоматизувати процеси навантаження, розвантаження і спалювання цього виду палива.

Найбільш важливою паливно-технологічною характеристикою біомаси, яку використовують в якості сировини, є її теплотворна здатність, що залежить від багатьох чинників: генетичних особливостей енергетичних рослин, впливу навколишнього середовища, умов зберігання, вологості тощо. Нижче (табл. 7.1.) наведено середню теплотворну здатність сільськогосподарської енергетичної сировини (що раніше відносили до відходів агропромислового виробництва) при абсолютній її вологості на рівні 20 %.

Таблиця 7.1

Теплотворна здатність енергетичної сировини

Назва енергетичної сировини	Теплотворна здатність, МДж/кг
Солома зернових культур	10,5
Стебла кукурудзи	12,5
Гілки плодкових дерев	10,5
Лузга гречки	12,5
Лузга соняшнику	14,2

Для виробництва гранул витрачається біля 3 % енергії, що містить отримана гранула. Тоді як, під час виробництва нафти ці енерговитрати складають 10 %, а при виробництві електроенергії 60...90 %. Теплотворна здатність гранул складає 4,5...5,0 кВт/кг, що в 1,5 рази більше, ніж у звичайної деревини і вона наближається до теплотворної здатності вугілля. Горіння гранул в топці котла відбувається більш ефективно – кількість залишків (золи) не перевищує 0,5...1,0 % від загального об'єму використаного палива.

Для багатьох регіонів України використання власного твердого біопалива доцільніше, ніж вугілля або нафтопродуктів, бо вироблене з місцевої сировини біопаливо обходиться у 2...4 рази дешевше й не потребує значних транспортних витрат на його доставку. Використовують тверде біопаливо у вигляді солом'яний брикетів, гранул, зрубков та відходів сільськогосподарського виробництва. Наприклад, на 14 підприємствах олійної галузі України парові котли переведені на спалювання лушпиння, за рахунок чого у 2008 році заощаджено 152 млн. м³ газу. В минулому 2014 році олійно-жирова галузь використала для спалювання в промислових котлах лушпиння соняшнику в кількості до 500 тис. тонн. Крім того, близько 120 тис. тонн лушпиння щорічно гранулюється і продається на експорт та населенню. Властивості різних органічних палив наведено в табл. 7.2.

Таблиця 7.2

Порівняльна характеристика властивостей різних видів палива

Вид палива	Вологість матеріалу, %	Теплотворна здатність, МДж/кг	Вміст сірки, %	Вміст золи, %
Природний газ	–	35...38	0	0
Кам'яне вугілля	–	15...25	1...3	10...35
Паливо моторне	–	42,5	0,2	1,0
Мазут	–	42	1,2	1,5
Тріски дерев, тирса	40...45	10,5...12,0	0	2,0
Брикети, гранули з деревини	7...8	16,8...21,0	0,1	1,0
Брикети, гранули з соломи	8...10	16,5...18,8	0,2	3,0

Подрібнене тверде біопаливо для котлів, яке складається з відходів деревини (залишки кори, тирса, зрубки, шматки деревини, тощо), повинне мати теплотворну здатність сухої маси вищу ніж 5400 кВт·год/т; вологість меншу за 40 %; середній розмір частинок — на рівні 50×50×20 мм, при цьому кількість частинок з розмірами до 150×60×20 мм не більше ніж 10 %; вміст золи до 2 % його сухої маси. До того ж, не дозволяється додавання у біопаливо речовин, що здатні негативно вплинути на його зберігання, перевезення і використання в опалювальному обладнанні.

Відомо, що рослинні відходи характеризуються високою теплою згорання, яка значною мірою залежить від їх вологості. Найбільший показник теплоти згорання (теплотворності) був зафіксований при згоранні деревного вугілля – 31,55 мДж/кг (30,23 мДж/кг) і найменший – при згоранні паперу – 17,05 мДж/кг (16,39 мДж/кг). Для порівняння – теплотворна властивість вугілля становить 27...33 мДж/кг, бурого вугілля – 27...33 мДж/кг, дизельного топлива – 41...46 мДж/кг, газів – 35...49 мДж/кг.

Процес виробництва деревних гранул класично будується за схемою, наведеною на рис. 7.1

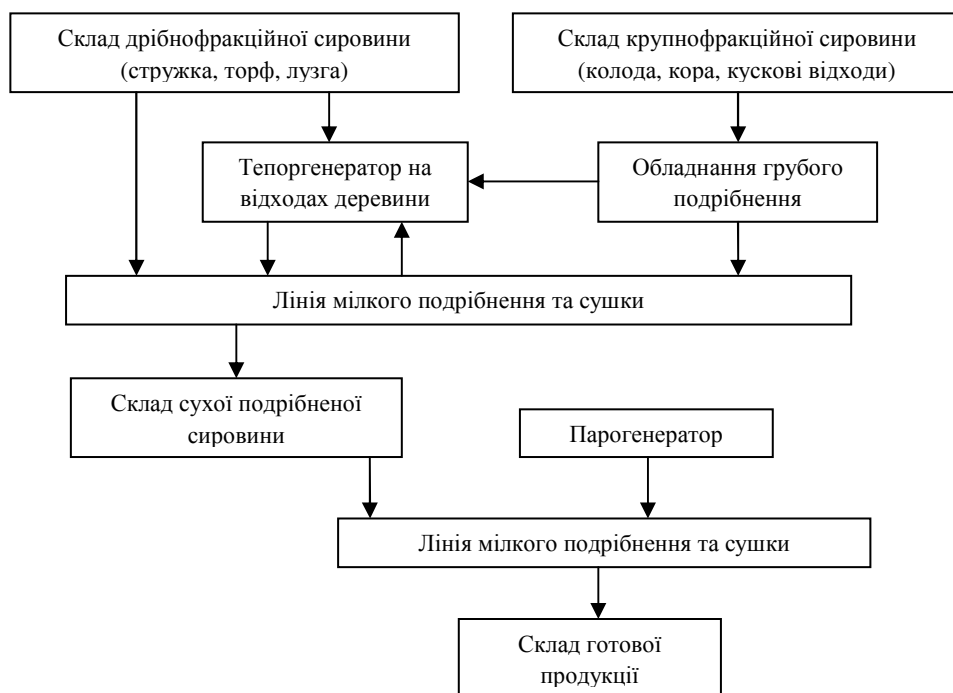


Рис. 7.1. - Технологічна схема виробництва паливних гранул.

Розглянемо детальніше кожен етап виробництва.

Крупнофракційне (грубе) дроблення. Крупнофракційні дробарки подрібнюють сировину для подальшого просушування. Подрібнення повинне дійти до розмірів частинок не більше 25×25×2 мм. Крупнофракційне подрібнення дозволяє швидко і якісно висушувати сировину і готує його до подальшого дроблення в мілкофракційній дробарці. Для грубого подрібнення використовуються дробарки вертикального та горизонтального типу, в залежності від способу завантаження сировини. Найпоширенішими є барабанні різальні машини та молоткові дробарки.

Сушка. Деревні відходи з вологістю більше 15% погано пресуються особливо пресами з кільцевими матрицями. Окрім цього, гранули з підвищеною вологістю не підходять для спалювання. Тому сировина перед пресуванням повинна мати вологість між 8 і 14%. Найчастіше використовують сушарки барабанного та стрічкового типів. Серед альтернативних технологій сушіння, які отримали певне поширення в біопаливній галузі:

- Сушильні комплекси «фонтанного типу»;
- Кінетичні агрегати для сушки і подрібнення матеріалів;
- Роторні барабанні сушарки;
- Шнекові сушарки.

Мілкофракційне дроблення. У прес сировина повинна заходити з розмірами частинок менше 4 мм. Мілкофракційна дробарка подрібнює сировину до необхідних розмірів. У мілкофракційну дробарку сировина повинна заходити з максимальними розмірами частинок 25х25х2 мм. Для тонкого подрібнення застосовують молоткові дробарки та мельнички різних конструкцій.

Водопідготовка. Сировина з вологістю менше 8% погано піддається склеюванню під час пресування. Тому перед пресуванням вологість сировини контролюється і підвищується у разі необхідності. Один з способів – це використання шнекових змішувачів, де вбудовані входи для подачі води або пари. Пару застосовують для пом'якшення деревини твердих порід. Також слід застосовувати пару для старої, сухої та злежаної сировини.

Пресування. До преса вся сировина називається сміттям, після преса – паливом. Прес – це і є головне в гранулюванні. Найчастіше використовують преси-гранулятори різних типів.

Охолодження. В процесі пресування сировина досягає 70-90 °С. Чим більша у преса сила пресування, тим більше температура сировини, тим краще гранули за якістю. Охолодження потрібне для осушення гранул після пресування. Також в схемі після охолодження існують циклони для очищення готових гранул від пилу, що істотно покращує загальний вигляд і якість продукції.

В загальному, для подолання системної кризи галузі і для формування внутрішнього ринку "Український Пелетний Союз" впроваджує в Україні європейську систему сертифікації твердого біопалива ENplus для виробників, орієнтованих на експорт, а також українську систему сертифікації ENua для

внутрішнього ринку. ENua діятиме на території України і надаватиме українським виробникам можливість брати участь у тендерах і державних закупівлях твердого біопалива. Виробники і трейдери, сертифіковані за ENplus, одержать можливість прямих форвардних контрактів з країнами Західної Європи за реальними, а не трейдерськими демпінговими цінами. Необхідно чітко визначати класи біопалива за їх енергетичними і технічними характеристиками і експортувати лише високоякісне біопаливо, залишаючи решту на внутрішньому ринку і спрямовуючи на подолання газової залежності та зниження тарифів.

7.2. Приклади розв'язання задач

Задача 7.1. Умова. Розрахувати характерні для екструдера-гранулятора показники, коли відомо, що D – тривалість періоду, протягом якого проводиться гранулювання палива, ($D = 30$ днів); T – тривалість зміни, ($T = 8$ год.); K_3 – кількість змін ($K_3 = 1,5$); $\tau_{зм}$ – коефіцієнт використання робочого часу ($\tau_{зм} = 0,8$). Інші дані наведено в процесі проведення розрахунку.

Розв'язок.

Визначаємо продуктивність машини.

Виходячи з конструктивних міркувань, приймаємо кількість ножів гранулятора $m = 1$ шт. та довжину гранул (у відповідності з технологією) $l = 50$ мм, $n = 100$ об/хв.

Швидкість руху матеріалу:

$$V = l \cdot n \cdot m = \frac{0,05 \cdot 100 \cdot 1}{60} = 0,083 \text{ м/с.}$$

Крок витків шнека:

$$t = \frac{V}{n} = \frac{0,083 \cdot 60}{100} = 0,05 \text{ м.}$$

У відповідності з конструкцією гранулятора $M = 1$, $R_1 = 0,063$ м, $R_2 = 0,080$ м, $B_1 = B_2 = 0,007$ м, $K_1 = 0,82$, $K_2 = 0,3$.

Згідно з реологічними властивостями матеріалу $\rho = 1100$ кг/м³.

Кут підйому гвинтової лінії біля вала шнека, град.:

$$\alpha_{D2} = \arctg \frac{t}{\pi R_2} = \arctg \frac{0,05}{3,14 \cdot 0,08} = 11,257^\circ.$$

Кут підйому гвинтової лінії по периферії шнека, град.:

$$\alpha_{D1} = \arctg \frac{t}{\pi R_1} = \arctg \frac{0,05}{3,14 \cdot 0,063} = 14,185^\circ.$$

Кут підйому гвинтової лопаті по середньому діаметру шнека:

$$\alpha_{cp} = 0,5(\alpha_{D1} + \alpha_{D2}) = 0,5(11,257 + 14,185) = 12,721^\circ.$$

Продуктивність гранулятора:

$$G = \pi \cdot M \cdot n \cdot \rho_1 \cdot (R_2^2 - R_1^2) \cdot \left(t - \frac{B_1 + B_2}{2 \cdot \cos \alpha_{cp}}\right) \cdot K_1 \cdot K_2 =$$

$$= 3,14 \cdot 1 \cdot \frac{100}{60} \cdot 1100 \cdot (0,08^2 - 0,063^2) \cdot \left(0,05 - \frac{0,007 + 0,007}{2 \cdot \cos(12,721)}\right) \cdot 0,82 \cdot 0,3 =$$

$$= 0,147 \text{ кг} / \text{с} = 0,529 \text{ м} / \text{год}.$$

Визначаємо необхідну потужність електродвигуна для приводу машини.
Крутний момент на валу шнека:

$$M_{кр} = 0,131 \cdot n \cdot p_{\max} \cdot (D1^3 - D2^3) \cdot \text{tg} \alpha_{cp},$$

$$p_{\max} = \frac{4\sigma_s}{3\sqrt{3}} \text{tg} \alpha_{cp} + \frac{2\sigma_s}{\sqrt{3}} \frac{f}{\cos \alpha_{cp}} \frac{2h}{D}.$$

Коефіцієнт тертя матеріалу по поверхні корпусу пресуючої частини гранулятора приймаємо $f = 0,3$.

$$h = \frac{D - d}{2} = \frac{0,16 - 0,124}{2} = 0,018 \text{ м}.$$

$$p_{\max} = \frac{4 \cdot 420 \cdot 10^6}{3\sqrt{3}} \text{tg}(12,721) + \frac{2 \cdot 420 \cdot 10^6}{\sqrt{3}} \cdot \frac{0,3}{\cos(12,721)} \cdot \frac{2 \cdot 0,018}{0,160} = 98,59 \text{ МПа}.$$

$$M_{кр} = 0,131 \cdot \frac{100}{60} \cdot 98,59 \cdot 10^6 \cdot (0,16^3 - 0,124^3) \cdot \text{tg}(12,721) = 3468,63 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Кутова швидкість обертання шнека:

$$\omega = 2\pi n = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 100}{60} = 10,47 \text{ с}^{-1}.$$

Коефіцієнт корисної дії привода:

$$\eta = \eta_{м-р} \cdot \eta_{пш},$$

де $\eta_{м-р}$ – коефіцієнт корисної дії мотор-редуктора ($\eta_{м-р} = 0,91$); $\eta_{пш}$ – коефіцієнт корисної дії пари підшипників ($\eta_{пш} = 0,99$).

$$\eta = 0,91 \cdot 0,99 = 0,90.$$

Потужність привода гранулятора:

$$N = \frac{M_{кр} \cdot \omega}{1000\eta} = \frac{3468,63 \cdot 10,47}{1000 \cdot 0,90} = 36,86 \text{ кВт}.$$

Приймаємо мотор-редуктор марки МР1-500-14-100-Ф1П, для якого $N_{м-р} = 37 \text{ кВт}$, $n_{м-р} = 100 \text{ об/хв.}$, $M_{кр.ном.} = 3484 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Визначимо осьове зусилля шнека:

$$Q = 0,393 \cdot n \cdot p_{\max} \cdot (D1^2 - D2^2) = 0,393 \cdot \frac{100}{60} \cdot 98,59 \cdot 10^6 \cdot$$

$$\cdot (0,16^2 - 0,124^2) = 290,37 \text{ кН}.$$

Площа поперечного перерізу вала шнека:

$$F = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,124^2}{4} = 0,0053 \text{ м}^2.$$

Нормальні напруження на валу шнека:

$$\sigma_{cm} = \frac{Q}{F} \leq [\sigma_{cm}].$$

Для сталі 20 $[\sigma_{cm}] = 420 \text{ МПа}$, МПа.

$$\sigma_{cm} = \frac{290,37 \cdot 10^3}{0,0053} = 54,79 \text{ МПа} \leq [\sigma_{cm}] = 420 \text{ МПа}.$$

Дотичні напруження на валу шнека:

$$\tau_{кр} = \frac{M_{кр}}{W_p} \leq [\tau_{кр}].$$

Для сталі 20 $[\tau_{кр}] = 210 \text{ МПа}$.

$$W_p = \frac{\pi d^3}{16} = \frac{3,14 \cdot 0,124^3}{16} = 0,108 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

$$\tau_{кр} = \frac{3468,63}{0,108 \cdot 10^{-3}} = 29,34 \text{ МПа} \leq [\tau_{кр}] = 210 \text{ МПа}.$$

Знайдемо еквівалентне напруження за теорією найбільших дотичних напружень:

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_{cm}^2 + 4\tau_{кр}^2} = \sqrt{54,79^2 + 4 \cdot 29,34^2} = 80,28 \text{ МПа}.$$

Перевіримо найнебезпечніший переріз (II-II) шнеку на міцність.

Даний переріз працює в умовах кручення, тому його умова міцності запишеться так:

$$\tau_{кр} = \frac{M_{кр}}{W_{p1}} \leq [\tau_{кр}].$$

$$W_{p1} = \frac{\pi D_3^3}{16}.$$

$$D_3 = \sqrt[3]{\frac{16M_{кр}}{\pi[\tau_{кр}]}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 3468,63}{3,14 \cdot 210 \cdot 10^6}} = 0,043 \text{ м}.$$

Приймаємо $D_3 = 48 \text{ мм}$.

У відповідності з технологією та діючими стандартами приймаємо $d = 0,010 \text{ м}$.

Кількість філь'єр необхідну для забезпечення продуктивності машини:

$$m = \frac{4G}{\pi d^2 V \rho} = \frac{4 \cdot 0,147}{3,14 \cdot 0,010^2 \cdot 0,083 \cdot 1100} = 20,02 \text{ шт}.$$

Приймаємо $m = 20 \text{ шт}$.

Визначаємо крок розміщення філь'єр:

$$\beta = \frac{360^\circ}{m} = \frac{360^\circ}{20} = 18^\circ.$$

Перевіримо найнебезпечніший переріз (I-I) матриці на міцність

Даний переріз працює в умовах зрізу, тому запишемо для нього умову міцності на зріз:

$$\tau_{зр} = \frac{Q}{S} \leq [\tau_{зр}].$$

Допустиме напруження на зріз матеріалу матриці для сталі 40X
 $[\tau_{зр}] = 500 \text{ МПа}$

Площа небезпечного перерізу визначається за формулою:

$$S = \pi D b.$$

Виходячи з конструктивних особливостей машини $D = 0,128 \text{ м}$.

$$b \geq \frac{F}{\pi D [\tau_{зр}]} \geq \frac{290,37 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 0,128 \cdot 500 \cdot 10^6} = 0,005 \text{ м}.$$

Приймаємо значення ширини буртика $b = 20 \text{ мм}$.

Умова міцності для болтів:

$$\sigma_p = \frac{Q}{k S_1} \leq [\sigma_p].$$

Допустиме напруження на розтяг матеріалу болта для сталі 45
 $[\sigma_p] = 610 \text{ МПа}$

Площа поперечного перерізу одного болта:

$$S_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}.$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4Q}{\pi k [\sigma_p]}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 290,37 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 4 \cdot 610 \cdot 10^6}} = 0,012 \text{ м}.$$

Приймаємо шість болтів М16 по ГОСТ 7798-70.

Матеріал шпонки – сталь 45, $d = 62 \text{ мм}$, $M_{кр} = 3468,63 \text{ Н} \cdot \text{м}$

Напруження зминання від крутного моменту:

$$\sigma_{зм} = \frac{2M_{кр}}{d l_p (h - t_1)} \approx \frac{4M_{кр}}{d l_p h} \leq [\sigma_{зм}],$$

$$l_p \geq \frac{2M_{кр}}{d (h - t_1) [\sigma_{зм}]} \approx \frac{4M_{кр}}{d h [\sigma_{зм}]}.$$

Згідно з ГОСТ 10748-79 для $d = 62 \text{ мм}$ - $h = 16 \text{ мм}$.

Для шпонок зі сталі 45 допустимі напруження зминання при середньому режимі роботи $[\sigma_{зм}] = 130 \dots 180 \text{ МПа}$. Приймаємо $[\sigma_{зм}] = 150 \text{ МПа}$.

$$l_p = \frac{4 \cdot 3468,63 \cdot 10^3}{62 \cdot 16 \cdot 150} = 85,18 \text{ мм}.$$

Повна довжина шпонки:

$$l = l_p = 85,18 \text{ мм}.$$

Приймаємо по ГОСТ 10748-79 шпонку $b \times h \times l = 18 \times 16 \times 110 \text{ мм}$.

Запитання для самоперевірки

1. Загальна характеристика процесу гранулювання.
2. Що таке «паливна гранула»?
3. Дати порівняльну характеристику гранульованого палива, виробленого з різних видів біосировини.

4. Технологія виробництва паливних гранул. Технологічна схема.
5. З якою метою проводиться операція крупнофракційного (грубого) дроблення?
6. Охарактеризувати процес пресування при виробництві паливних гранул.

ТЕМА 8. ГАЗОГЕНЕРАЦІЯ БІОМАСИ

Мета заняття: ознайомитися з технологічними особливостями газифікації біосировини. Вивчити поетапність процесу газифікації. Визначити основні характеристики обладнання з виробництва біопалива. Навчитися розраховувати потенціал біомаси у перерахунку на біопаливо.

8.1. Основні теоретичні відомості

Газифікація твердого органічного палива – процес виробництва газу при неповному окисленні органічної маси, має давню історію з періодами бурхливого розвитку і спадами. Вперше генераторний газ отримав англієць Мердок в 1792 р. як побічний продукт при виробництві «світильного масла». До 50-х років XIX ст. практично у всіх великих і середніх містах Європи і Північної Америки працювали газові заводи для виробництва опалювального, побутового і світильного газу. Це було «золоте століття» газифікації рослинної біомаси. Починаючи з 60-х років XIX ст., все більш серйозну конкуренцію рослинній біомасі складає нафта. На початку 1960-х років родовища дешевої нафти на Близькому Сході і в Західному Сибіру призвели практично до цілковитої ліквідації газогенерації рослинної біомаси як галузі промисловості. Однак вже в 1972 р. захмарилося першою «енергетичною» кризою, світові ціни на нафту підвищилися з 5...7 до 24 дол. США за баррель (1 т сирової нафти – 8,06 баррелів). Ця криза піднесла цивілізованому світу дуже важливий урок. По-перше, всі усвідомили, що запаси вуглеводневої сировини розподілені украй нерівномірно, і, по-друге, ці запаси – вичерпні. Запаси ж інших твердих паливних копалин розподілені більш рівномірно, і терміни їх вичерпання оцінюються багатьма сотнями років. Та найголовніший результат кризи полягає в активізації робіт по енергозбереженню.

Якщо проаналізувати конструктивні особливості і принцип дії сучасних промислових газогенераторів, можна виділити чотири основоположні інженерні рішення.

1. Створення Фріцем Вінклером (концерн BASF) в 1926 р. газогенератора з киплячим шаром. Ця технологія послужила основою для сучасних процесів НТВ (Hoch-Temperatur Winkler) і КРВ (Kellogg-Rust-Westinghouse) і ін.

2. Розробка фірмою «Лурги» в 1932 р. шарового газогенератора, що працює під тиском 3 МПа. Використання підвищеного тиску для інтенсифікації

процесу газифікації реалізоване майже у всіх сучасних промислових газогенераторах.

3. Розробка Генріхом Копперсом і Фрідріхом Тотцеком в 1944-45 рр. пилевугільного газогенератора з рідким шлаковидаленням. Перший промисловий апарат цього типу був побудований в 1952 р. у Фінляндії. Пилевугільний принцип газифікації з рідким шлаковидаленням реалізований в промислових апаратах Destec, Shell, Prenflo, розроблених на основі газогенератора Копперса-Тотцека, в апараті Техасо і ін. Видалення шлаку в рідкому вигляді реалізоване в шаровому газогенераторі BGL (British Gas-Lurgy), розробленому на основі газогенератора Лурги.

4. Розробка фірмою Техасо в 1950-і роки газогенераторів для переробки важких нафтових залишків. Всього побудовано більше 160 таких установок. У 1970-і роки була розроблена модифікація апарату Техасо для газифікації водо-вугільної суспензії. Принцип подачі вугілля в апарат у вигляді водо-вугільної суспензії використаний і в газогенераторі Destec.

Були спроби використовувати і ряд інших технічних рішень для створення нових газогенераторів: використання зовнішнього теплоносія, зокрема тепло ядерного реактора; газифікація в розплавах солей, заліза, шлаку; два – тріступінчата газифікація; газифікація в плазмі; каталітична газифікація та ін.

У 1930-1950 рр. були розроблені теоретичні основи фізико-хімічних процесів горіння і газифікації вугілля, виконані фундаментальні дослідження, що не втратили актуальності до теперішнього часу.

Газифікація являє собою процес інтенсивного екзотермічного окислення, при якому відбувається реакції вуглецю з вуглекислотою і водяною парою з утворенням горючих газів (CO, H₂, CH₄ та ін.). При надлишковій кількості кисню процес газифікації переходить в процес горіння, що характеризується максимальним виділенням теплоти (ендотермічна реакція).

Механізм процесу газифікації рослинної біомаси надзвичайно складний. Це пов'язано з різноманіттям швидкоплинних реакцій, складною їх взаємодією, що погано піддаються експериментальному дослідженню.

Встановлено, що весь процес газифікації можливо поділити на три етапи: 1 – нагрів і сушіння рослинної біомаси; 2 – термічне розкладання сировини на газоподібні продукти і твердий залишок; 3 – газифікація вуглецевого залишку.

На першому етапі рослинну біомасу нагрівають до температури близько 250 °С. За цієї температури при високих швидкостях нагріву внаслідок підвищення тиску відбувається розрив стінок клітин рослинної біомаси з виділення зв'язаної вологи з органічної сировини у вигляді пари.

Встановлено, що за температур 200÷300 °С біомаса починає вступати в реакцію, а за температури 400 °С термічне розкладання завершується. Слід зазначити, що основними компонентами внаслідок термічного розкладання, наприклад деревини, є целюлоза, лігнін і геміцелюлоза.

Відмічено, що за високих температур і малих розмірах частинок сировини проходить процес газифікації, а за низьких температурах і великих

розмірах частинок, та за наявності в сировині вологи – утворення вуглецевої речовини, води і CO_2 .

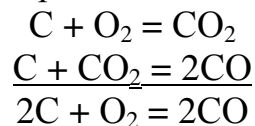
Якщо процес газифікації відбувається тільки за рахунок кисню повітря, то утворюється так званий повітряний газ, який в основному складається з окису вуглецю та азоту, що переходить з повітря, а також з невеликої кількості вуглекислоти. При використанні в якості дуття водяної пари утворюється: водень, окис вуглецю і вуглекислота, до яких домішується водяна пара. Така суміш має назву – водяний газ. При одночасному застосуванні в якості дуття водяної пари і повітря утворюється окис вуглецю, водень, вуглекислота, азот і водяний пар, ця суміш називається змішаним, або пароповітряним газом.

Обов'язковою умовою протікання процесу газифікації рослинної біомаси є запобігання горіння газів, що утворюються в процесі.

У результаті горіння при надлишку вуглецю у системі вуглець-кисень утворюється CO , який при наявності надлишкового кисню може перетворитися в CO_2 . В свою чергу горіння при надлишковому кисню проходить з утворенням CO_2 , який при нагріванні розкладається на CO і O_2 .

Реакція $\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$ за температури 982°C протікає миттєво, а за нижчих температур її відносна швидкість виражається наступними величинами: $350^\circ\text{C} - 1$, при $400^\circ\text{C} - 10$ і при $500^\circ\text{C} - 200$.

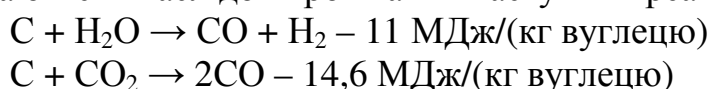
Реакція $2\text{C} + \text{O}_2 = 2\text{CO}$ вважається первинною при горінні вуглецю. Однак, враховуючи, що вуглець згоряє безпосередньо в CO_2 з подальшим відновленням, – застосовується для вираження кінцевого результату реакцій:



Реакція $\text{C} + \text{CO}_2 = 2\text{CO}$ є основною з точки зору протікання газогенераторного процесу. Взаємодія CO_2 та вуглецю з отриманням CO протікає зі зростанням об'єму і негативним тепловим ефектом. Відповідно до принципу Ле-Шательє, в стані рівноваги при підвищенні тиску реакція повинна протікати в бік утворення CO_2 , і навпаки, зі зменшенням тиску в зрівноваженій суміші має зростати вміст CO . Аналогічно підвищення температури повинно викликати протікання реакції в бік утворення CO , і навпаки.

У суміші газів, що відповідає за складом генераторному газу, реакція утворення CO протікає за температури вище 700°C , а температура нижче 700°C призводить до процесу розкладання CO . Встановлено, чим вище температура, тим повніше відбувається відновлення CO_2 . Виявлено, що за температури 1000°C виникають сприятливі умови для повного відновлення CO_2 в CO , в той час як зменшення тиску сприяє отриманню більшої кількості CO і меншої CO_2 .

Перетворення вуглецевого залишку в газоподібні продукти відбуваються внаслідок протікання наступних реакцій:



Для прискорення протікання реакцій газифікації рослинної біомаси необхідно забезпечення температури 700 °С і підведення теплоти у кількості від 11 до 14,6 МДж на 1 кг вуглецю в вуглецевому залишку.

В залежності від способу підведення теплоти, газифікацію рослинної біомаси можна класифікувати на автотермічну і аллотермічну.

На практиці більшого поширення набули газогенератори автотермічного типу де теплота необхідна для газифікації рослинної біомаси виробляється в результаті згоряння частини палива усередині самого газогенератора. Процес згоряння відбувається або в атмосфері повітря (пароповітряна газифікація) або, в атмосфері кисню (парокиснева газифікація).

В залежності від складу, окислювального середовища і вологості вихідного палива генераторний газ має теплоту згоряння від 4 до 15 МДж/м³.

Аллотермічний спосіб отримання горючих газів з твердих палив базується на підведенні теплоти в зону газифікації твердого вуглецевого залишку через корпус реактора газогенератора, або шляхом підігріву частинок палива всередині газогенератора за рахунок зовнішнього теплоносія. Враховуючи теоретичні основи і особливості конструктивного оформлення аллотермічного способу, отримання газоподібних палив не набуло широкого розповсюдження на відміну від автотермічного способу газифікації.

В залежності від організації подачі окислювача і гранулометричного складу вихідного твердого палива розрізняють наступні схеми автотермічного способу газифікації: в щільному шарі; в киплячому шарі; в пиловому потоці.

8.2 Приклад розв'язання задач

Задача 8.1. Умова. Розрахувати параметри газогенераційної енергетичної установки.

Розв'язок. Для визначення основних параметрів процесу газифікації використовуємо літературні дані (додаток 4).

Перерахувавши елементи з яких складається паливо отримаємо склад робочої маси палива (табл. 8.1).

Таблиця 8.1

Склад робочої маси палива

Паливо	Вміст в %		Горюча маса в % по масі				
	волога, W ^p	зола, A ^p	вуглець, C ^p	водень, H ^p	кисень, O ^p	азот, N ^p	сірка, S ^p
відходи деревини-технологічна щепи	16	1,0	41,5	5,0	35,7	0,8	-
відходи с/г (лушпиння соняшнику)	10	3,5	40,8	5,2	39,08	0,87	0,87

Нижчу теплотворність робочої маси твердого палива визначається за формулою Менделєєва:

$$H_n^p = 81 \cdot C^p + 246 \cdot H^p - 26 \cdot (O^p - S_n^p) - 6 \cdot W^p \frac{\text{ккал}}{\text{кг}},$$

де S_n^p – вміст летючої (горючої) сірки в робочому паливі.

$$\text{для щепи: } H_n^p = 81 \cdot 41,5 + 246 \cdot 5,0 - 26 \cdot 35,7 - 6 \cdot 16,0 = 3567 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}};$$

$$\text{для лузги: } H_n^p = 81 \cdot 40,8 + 246 \cdot 5,2 - 26 \cdot (39,08 - 0,87) - 6 \cdot 10,0 = 3531 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}}.$$

Всі компоненти палива перераховуються на робочу масу. При цьому вмістом сірки в паливі можна знехтувати або віднести її вміст на рахунок вмісту золи в паливі.

На основі даних отриманих з багатократних досліджень різних за конструкцією газогенераторів, виявлено, що склад генераторного газу залежить лише від виду вибраного палива, на якому працює газогенератор. В відповідності з прийнятими видами палива: деревні відходи (технологічна щепа), відходи с/г (лузга) користуючись довідковою літературою приймаємо наступний склад газу (табл. 8.2).

Таблиця 8.2

Паливо	Склад сухого газу в % по об'єму					
	CO	CO ₂	H ₂	CH ₄	O ₂	N ₂
відходи деревини-технологічна щепа	20,9	9,2	16,1	2,5	1,6	49,7
відходи с/г (лушпиння соняшнику)	15,4	13,3	14,8	3,2	0,2	53

Вихід сухого газу з кг робочого палива для відходів деревини:

$$V_g = \frac{1,867 \cdot (41,5 - 2)}{20,9 + 9,2 + 2,5} = 2,26 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}};$$

$$\text{для лушпиння: } V_g = \frac{1,867 \cdot (40,8 - 2)}{15,4 + 13,3 + 3,2} = 2,27 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}.$$

Питома вага сухого газу при температурі 0 °С і 760 м. рт. ст.

для відходів деревини:

$$\gamma_2 = 0,0125 \cdot 20,9 + 0,0009 \cdot 16,1 + 0,0072 \cdot 2,5 + 0,0198 \cdot 9,2 + 0,0125 \cdot 49,7 + 0,0143 \cdot 1,6 = 1,12 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

для лушпиння:

$$\gamma_2 = 0,0125 \cdot 15,4 + 0,0009 \cdot 14,8 + 0,0072 \cdot 3,2 + 0,0198 \cdot 13,3 + 0,0125 \cdot 53 + 0,0143 \cdot 0,2 = 1,16 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Кількість води, що вміщується в 1 м³ газу:

$$\text{для відходів деревини: } f_2 = \frac{16 + 9 \cdot 5}{100 \cdot 2,26} - \frac{0,804 \cdot (16,1 + 2 \cdot 2,5)}{100} \approx 0,1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$\text{для лушпиння: } f_2 = \frac{16 + 9 \cdot 5,2}{100 \cdot 2,27} - \frac{0,804 \cdot (14,8 + 2 \cdot 3,2)}{100} \approx 0,09 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Сумарний вміст водяних парів в газі:

$$\text{для відходів деревини: } G_{\text{вод}} = 0,1 \cdot 2,26 = 0,226 \frac{\text{кг}}{\text{кг}_{\text{палива}}};$$

$$\text{для лушпиння: } G_{\text{вод}} = 0,09 \cdot 2,27 = 0,2043 \frac{\text{кг}}{\text{кг}_{\text{палива}}}.$$

Вихід вологого газу в об'ємних одиницях:

$$\text{для відходів деревини: } V_g' = 2,26 \cdot (1 + 1,24 \cdot 0,1) = 2,54 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}_{\text{палива}}};$$

$$\text{для лушпиння: } V_g' = 2,27 \cdot (1 + 1,24 \cdot 0,09) = 2,5 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}_{\text{палива}}}.$$

На газифікацію 1 кг палив необхідно:

$$\text{для відходів деревини: } L = 0,0127 \cdot 2,26 \cdot 49,7 = 1,43 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}};$$

$$\text{для лушпиння: } L = 0,0127 \cdot 2,27 \cdot 53,0 = 1,53 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}.$$

В перерахунку на 1 м³ отриманого газу маємо:

$$\text{для відходів деревини: } L^* = \frac{1,43}{2,26} = 0,63 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3_{\text{газу}}};$$

$$\text{для лушпиння: } L^* = \frac{1,53}{2,27} = 0,67 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3_{\text{газу}}}.$$

Матеріальний баланс процесу газифікації буде:

для відходів деревини:

$$1,0 + 1,293 \cdot 1,293 = 1,12 \cdot 2,26 + 0,226 + 0,01 \cdot 1,0 + 0,01 \cdot 0,02. \\ 2,849 \approx 2,787.$$

невідповідність $2,849 - 2,787 = 0,062$ або $2,18\%$ цілком допустима, і може бути віднесена на рахунок неточності аналізів палива і газу;

для лушпиння:

$$1,0 + 1,293 \cdot 1,53 = 1,16 \cdot 2,27 + 0,2043 + 0,01 \cdot 3,5 + 0,01 \cdot 0,02. \\ 2,978 \approx 2,891.$$

невідповідність $2,978 - 2,891 = 0,087$ або $2,92\%$ цілком допустима, і може бути віднесена на рахунок неточності аналізів палива і газу.

Нижча теплотворність газу:

для відходів деревини:

$$H_u = 30,35 \cdot 20,9 + 25,7 \cdot 16,1 + 85,7 \cdot 2,5 = 1262 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^3};$$

$$\text{для лушпиння: } H_u = 30,35 \cdot 15,4 + 25,7 \cdot 14,8 + 85,7 \cdot 3,2 = 1122 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^3}.$$

ККД газогенераційної енергетичної установки:

$$\text{для відходів деревини: } \eta_e = \frac{2,26 \cdot 1262}{3567} = 0,8;$$

$$\text{для лушпиння: } \eta_e = \frac{2,27 \cdot 1122}{3531} = 0,72.$$

Знаючи, що $1 \text{ кВт} = 1 \text{ кДж/с} = 3600 \text{ кДж/год.}$ та $1 \text{ кДж} = 4,19 \text{ ккал}$ звідки $1 \text{ кВт} = 3600/4,19 = 860 \text{ ккал/год.}$ маємо

$$\left\{ \begin{array}{l} N_y = 100 \text{ кВт} = 86000 \text{ ккал/год.} \\ N_y = 250 \text{ кВт} = 215000 \text{ ккал/год.} \\ N_y = 400 \text{ кВт} = 344000 \text{ ккал/год.} \end{array} \right.$$

Необхідна потужність газогенератора по виробленому газу N_z :

для $N_y=100$ кВт маємо:

$$\text{для відходів деревини: } N_z = \frac{86000}{1262} = 68,1 \frac{\text{м}^3}{\text{год}};$$

$$\text{для лушпиння: } N_z = \frac{86000}{1122} = 76,6 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}.$$

для $N_y=250$ кВт маємо:

$$\text{для відходів деревини: } N_z = \frac{215000}{1262} = 170,4 \frac{\text{м}^3}{\text{год}};$$

$$\text{для лушпиння: } N_z = \frac{215000}{1122} = 191,6 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}.$$

для $N_y=400$ кВт маємо:

$$\text{для відходів деревини: } N_z = \frac{344000}{1262} = 272,6 \frac{\text{м}^3}{\text{год}};$$

$$\text{для лушпиння: } N_z = \frac{344000}{1122} = 306,6 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}.$$

Кількість палива, необхідна для газогенерації:

для $N_y=100$ кВт маємо:

$$\text{для відходів деревини: } G_T = \frac{68,1}{2,26} = 30,1 \frac{\text{кг}}{\text{год}};$$

$$\text{для лушпиння: } G_T = \frac{76,6}{2,27} = 33,7 \frac{\text{кг}}{\text{год}}.$$

для $N_y=250$ кВт маємо:

$$\text{для відходів деревини: } G_T = \frac{170,4}{2,26} = 75,4 \frac{\text{кг}}{\text{год}};$$

$$\text{для лушпиння: } G_T = \frac{191,6}{2,27} = 84,4 \frac{\text{кг}}{\text{год}}.$$

для $N_y=400$ кВт маємо:

$$\text{для відходів деревини: } G_T = \frac{272,6}{2,26} = 120,6 \frac{\text{кг}}{\text{год}};$$

$$\text{для лушпиння: } G_T = \frac{306,6}{2,27} = 135,1 \frac{\text{кг}}{\text{год}}.$$

Витрати повітря:

$$\text{для відходів деревини: } L_0 = \frac{1}{21} \cdot [0,5 \cdot (20,9 + 16,1) + 2 \cdot 2,5 - 1,6] = 1,04 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3_{\text{газу}}};$$

$$\text{для лушпиння: } L_0 = \frac{1}{21} \cdot [0,5 \cdot (15,4 + 14,8) + 2 \cdot 3,2 - 0,2] = 1,02 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3_{\text{газу}}}.$$

Теплотворність газоповітряної суміші:

$$\text{для відходів деревини: } h_u = \frac{0,92 \cdot 1262}{1 + 1 \cdot 1,04} = 569 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^3};$$

$$\text{для лушпиння: } h_u = \frac{0,92 \cdot 1122}{1 + 1 \cdot 1,02} = 511 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^3}.$$

Діаметр камери газифікації :

$$D_k = 1130 \sqrt{\frac{135}{800}}, \text{ мм.}$$

В більшості відомих газогенераторах, що працюють на відходах деревини відношення $\frac{D_k}{d_2} = 1,6 \div 2,6$. Для камер з високою напруженістю горіння приймається менше значення, а для камер з низькою частотою горіння – більше значення відношення $\frac{D_k}{d_2}$.

При достатній кількості фурм (їх може бути від 5 до 12) добуток напруження горіння q та відношення $\frac{D_k}{d_2}$ можна вважати сталою величиною рівною 1450 кг/(м²год.)

$$q \cdot \frac{D_k}{d_2} = 1940 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{год.}}$$

Діаметр горловини:

$$d_2 = \frac{D_k \cdot q}{1940} = \frac{460 \cdot 800}{1940} = 175 \text{ мм.}$$

Висота камери газифікації:

$$H_3 = \frac{1270 \cdot 0,8 \cdot 44,3}{46^2} \approx 22 \text{ см} = 200 \text{ мм.}$$

Приймаючи насипну вагу золи $\gamma_0 = 0,5 \frac{\text{кг}}{\text{л}}$, кількість золи $A_3 = 6\%$, періодичність чистки зольника $t = 16 \text{ год.}$ площа зольника $F_{\text{зол}} = 20 \text{ м}^2$, висота зольника:

$$H_{\text{зол}} = \frac{80 \cdot 16 \cdot 1,6}{20 \cdot 0,5} \approx 220 \text{ мм.}$$

Діаметр бункера в газогенераторах зворотного процесу газифікації палива приймають на 40÷60 мм менше діаметра корпусу. При заданому діаметрі висотою бункера визначається тривалість роботи газогенераційної установки в год. без довантаження паливом.

Періодичність довантаження бункера:

$$t_6 = 0,9 \cdot \frac{216 \cdot 0,6}{135} = 0,96 \text{ год.}$$

При загальній висоті газогенератора ≈ 2000 , висоті реакторної камери ≈ 400 мм, висоті зольника ≈ 220 мм і товщині колосників ≈ 20 мм висота бункера газогенератора буде рівною

$$l_6 = 2000 - (420 + 220 + 20) = 1340 \text{ мм.}$$

Тоді об'єм бункера при його діаметрі $D_6 = 460$ мм = 4,6 дм буде

$$V_6 = \pi \cdot R_6^2 \cdot l_6 = 3,14 \cdot 2,3^2 \cdot 13 = 216 \text{ л.}$$

Площа охолоджувача.

$$F_{ox} = 0,05 \cdot N_e = 0,05 \cdot 44,3 \approx 2,22 \text{ м}^2.$$

Для чотирьохтрубного охолоджувача з трубами діаметром $D = 100$ мм довжина кожної труби буде

$$l_{ox} = \frac{F_{ox}}{4 \cdot \pi \cdot D} = \frac{2,22}{4 \cdot 3,14 \cdot 0,1} \approx 1,77 \text{ м}.$$

Діаметр фільтра тонкої очистки:

$$D_{oc} = 18,8 \cdot \sqrt{\frac{183,2}{0,2}} \approx 560 \text{ мм}.$$

Результати розрахунку газогенераційного енергетичного комплексу зведені в табл. 8.3.

Таблиця 8.3

Характеристики та параметри газифікації

Характеристики та параметри газифікації		Теплова потужність, кВт			
Об'єм генераторного газу, м ³ /год.		100	250	400	
Витрата палива, кг/год.	Відходи деревини-технологічна щепка	68,1	170,4	272,6	
	Відходи с/г (лушпиння соняшнику)	76,6	191,6	306,6	
Теплотворна здатність генераторного газу, ккал/кг	Відходи деревини-технологічна щепка	30,1	75,4	120,6	
	Відходи с/г (лушпиння соняшнику)	33,7	84,4	135,1	
Конструктивні характеристики газогенераційної установки	Відходи деревини-технологічна щепка		3567		
	Відходи с/г (лушпиння соняшнику)		3531		
	Діаметр камери газифікації D_k , мм		460		
	Діаметр горловини реакторної камери d_r , мм		175		
	Висота реакторної камери газифікації H_3 , мм		220		
	Висота зольника H_{zol} , мм		220		
	Об'єм паливного бункера газогенератора V_b , л		262		
	Висота бункера газогенератора l_b , мм		1340		
	Періодичність довантаження бункера t_b , год.		2,2		
	Площа поверхні охолоджувача F_{ox} , м ²		2,22		
	Діаметр фільтра тонкої очистки газу D_{oc} , мм		560		
	ККД газогенераційної установки, %	Відходи деревини-технологічна щепка		80	
		Відходи с/г (лушпиння соняшнику)		72	

Запитання для самоперевірки

1. Історія виникнення генераторного газу.
2. Конструктивні особливості сучасних газогенераторів.
3. Характеристика етапів процесу газифікації.
4. Умови процесу газифікації.
5. Класифікація процесу газифікації за способом підведення теплоти.

9 ВАРИАНТИ ЗАВДАНЬ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Варіант завдання обирається за порядковим номером студента в журналі академічної групи або за вибором викладача.

1. У теплообмінник типу «труба в трубі»; температура води на вході $t'_1=90$ °С, її витрати $\tau_1=1$ кг/с і вона рухається у внутрішній трубі ($d_2/d_1 = 40/35$ мм). Теплопровідність сталюї труби $\lambda=46$ Вт/мК. Температура води, що нагрівається $t'_2=10$ °С, на виході $t''_2=60$ °С. Внутрішній діаметр зовнішньої труби теплообмінника 50 мм, витрати $\tau_2=1,0$ кг/с. Втрати теплоти у зовнішнє середовище при розв'язку не враховувати. Визначити площу поверхні нагрівання.

2. Розрахувати корисну теплоту, яка припадає на 1 км^2 сухої скальної породи (граніт) до глибини z км, якщо температурний градієнт G , °С/км, мінімальна допустима температура, що перевищує поверхневу, Δt , К; $C_{с2} - 840$ Дж/(кг·К); $\rho_{с2} = 2300$ кг/м³. Чому дорівнює стала часу видобування тепла з використанням теплоносія води з витратою V , м³/с? Яка швидкість видобування тепла на початковому етапі і через 10 та 25 років? Значення величин для різних варіантів вказано у табл. 9.1.

Таблиця 9.1

Варіанти завдань

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8
$G, \text{°С/км}$	38	36	34	32	40	35	33	38
$Z, \text{км}$	6,8	6,4	6,2	6,5	6,0	6,7	6,6	6,9
$V, \text{м}^3/\text{с}$	0,9	и	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
$\Delta t, \text{К}$	129	115	105	104	120	117	109	131

3. Визначити параметри ротора вітроенергетичної установки, якщо потужність вітроустановки $P_n = 4$ кВт; середньорічна швидкість вітру $v_{с.р.} = 5,7$ м/с; температура навколишнього середовища $t_c = (\text{мінус } 12 \dots +20)$ °С; тиск $B = 720 \dots 760$ мм рт.ст.

4. Розрахувати параметри двоконтурних сонячних енергетичних установок (площу сонячних водонагрівачів (F_{CBH}), площу водоводяного теплообмінника ($F_{зм}$), коефіцієнт теплопередачі теплообмінника ($k_{зм}$), якщо відомі значення таких показників: потреби – 200 МДж/год.; система двоконтурна – в другому контурі швидкісний теплообмінник з параметрами: внутрішній діаметр корпуса $D_{вн} = 0,05$ м, зовнішній (d_3) та внутрішній ($d_{вн}$) діаметр трубок: $d_3 = 0,018$ м, $d_{вн} = 0,014$ м, число трубок $z=3$, площа живого перетину трубок $f_{mp}=0,0007$ м², площа між трубного простору $f_{м.тр}=0,00120$ м². Сонячний колектор – сталевий, коефіцієнт теплоносія покриття $\epsilon k_{ex}=0,7$, температура навколишнього середовища $t_0=33$ °С, потік питомої сумарної сонячної радіації 700 Вт/м²; температура на виході сонячного водонагрівача $t'_1=65$ °С; температура на виході з теплообмінника $t''_1 = 20$ °С; температура води на виході з теплообмінника $t''_2=60$ °С; температура води на вході теплообмінника $t'_2=15$ °С. Приведений коефіцієнт теплопередачі сонячного водонагрівача при $v=4$ м/с, $k_{np}=7,2$ Вт/м².

5. У фотоелектричному перетворювачі напруга становить 13 В,

струм – $6 \cdot 10^{-2}$ А , час споживання – 3,5 год. Визначити площу фотобатареї.

6. Визначити щоденну сумарну кількість сонячної енергії у жовтні, яка надходить на поверхню колектора, повернуту на південь під кутом $\beta = 20^\circ$ в точці місцевості північної широти $\varphi = 30^\circ$.

7. Розрахувати екструдер-гранулятор. Згідно завдання необхідно провести технологічний розрахунок метою якого є визначення продуктивності екструдера-гранулятора; енергетичний розрахунок метою якого є визначення необхідної потужності приводу та підбір відповідного електродвигуна; конструктивний розрахунок – мета якого розрахувати геометричні розміри пресуючого шнеку, матриці, головного валу та ін.

Варіанти завдань

№ п/п	кількість ножів т, шт.	довжина гранул l, мм	частота обертання шнека n, об/с	кількість заходів шнека М	густина гранул ρ , кг/м ³	зовнішній діаметр шнека D ₂ , м	внутрішній діаметр шнека D ₁ , м
1	1	60	90	2	900	0.12	0.08
2	2	40	110	1	1000	0.14	0.09
3	1	45	95	2	1100	0.16	0.10
4	2	55	115	1	1050	0.18	0.12
5	1	40	100	2	950	0.10	0.07
6	2	55	105	1	1050	0.12	0.08
7	1	50	90	2	1000	0.14	0.09
8	2	45	95	1	1100	0.16	0.10
9	1	55	100	2	900	0.18	0.12
10	2	60	80	1	1000	0.10	0.07
11	1	45	95	2	1100	0.12	0.08
12	2	60	100	1	1050	0.14	0.09
13	1	40	90	2	950	0.16	0.10
14	2	55	85	1	1050	0.18	0.12
15	1	45	80	2	1000	0.10	0.07
16	2	40	110	1	1100	0.12	0.08
17	1	60	105	2	900	0.14	0.09
18	2	45	95	1	1050	0.16	0.10
19	1	55	90	2	1000	0.18	0.12
20	2	40	85	1	950	0.10	0.07
21	1	45	80	2	1000	0.10	0.07
22	2	40	110	1	1100	0.12	0.08
23	1	60	105	2	900	0.14	0.09
24	2	45	95	1	1050	0.16	0.10
25	1	55	90	2	1000	0.18	0.12

8. Розрахувати газогенераційну енергетичну установку. Згідно завдання необхідно провести енергетичний розрахунок метою якого є аналіз теплотворної здатності вхідної сировини; конструктивний розрахунок – мета якого розрахувати геометричні розміри робочого реактора газогенератора.

Варіанти завдань

№ п/п	Вміст в %		Горюча маса в % по масі				
	волога, W ^p	зола, A ^c	вуглець, C ^r	водень, H ^r	кисень, O ^r	азот, N ^r	сірка, S ^r
1	16,0	2,35	50,0	6,0	43,0	1,1	0,75
2	10,5	3,7	47,0	6,1	45,0	1,2	1,1
3	15,0	4,4	45,0	5,9	46,0	0,9	-
4	16,5	4,5	49,0	5,8	42,0	1,0	0,8
5	18,0	6,0	51,0	6,0	45,0	0,8	0,9
6	15,5	3,5	53,0	6,1	43,0	1,0	0,85
7	13,0	5,0	45,0	6,0	45,0	0,9	-
8	17,0	3,7	47,0	6,1	46,0	1,0	0,5
9	16,5	5,0	46,0	5,9	42,0	0,8	1,0
10	17,5	5,7	48,0	5,8	45,0	1,0	0,75
11	16,5	2,35	53,0	6,0	43,0	0,9	0,2

Закінчення табл.

12	16,0	3,7	51,0	6,1	45,0	1,0	0,45
13	10,5	4,4	49,0	6,0	46,0	0,8	0,7
14	15,0	4,5	48,0	6,1	42,0	1,0	-
15	16,5	6,0	46,0	5,9	45,0	0,9	1,0
16	18,0	3,5	47,0	5,8	43,0	1,0	1,2
17	15,5	5,0	45,0	6,0	45,0	0,8	1,1
18	13,0	3,7	49,0	6,1	46,0	1,0	0,8
19	17,0	5,0	51,0	6,0	42,0	0,9	0,55
20	16,5	5,7	46,0	6,1	45,0	1,0	-
21	17,5	2,35	50,0	5,9	43,0	0,8	0,9
22	16,5	3,7	50,1	5,8	45,0	1,0	1,0
23	16,0	4,4	48,0	6,0	46,0	0,9	1,1
24	10,5	4,5	50,0	6,1	42,0	1,0	0,65
25	15,0	6,0	45,0	6,0	45,0	0,8	0,8

9. Розрахувати параметри біогазової установки. Згідно завдання необхідно провести конструктивно-технологічний розрахунок – мета якого розрахувати геометричні розміри метантенка та показники енергетичної ефективності біогазової установки

Варіанти завдань

№	Кількість корів	Кількість биків	Варіанти індивідуальних завдань					
			Телята				Свині	Поросята
			3-х міс.	6-ти міс.	До 12 міс.	Старші 12 міс.		
1	4	2	5	3	2	7	10	20
2	3	3	1	2	3	15	12	25
3	5	1	3	4	1	11	11	21
4	8	4	5	7	4	13	13	23
5	7	3	6	1	7	12	16	24
6	6	5	7	2	8	15	19	27
7	5	2	4	5	6	14	17	30
8	10	3	5	3	5	16	14	35
9	8	1	8	-	3	11	12	38
10	14	3	4	6	2	14	18	26
11	9	1	7	8	4	12	19	27
12	13	4	6	3	5	13	12	29
13	17	5	5	4	9	14	16	33
14	16	3	3	4	8	19	18	34
15	10	4	7	7	5	18	19	37
16	17	5	3	1	6	13	11	28
17	15	1	6	9	7	15	14	29
18	12	5	2	3	9	18	13	33
19	11	4	8	8	4	17	12	35
20	16	2	1	4	3	13	16	31
21	19	1	3	7	6	18	17	32
22	10	3	4	6	1	17	15	26
23	18	2	9	8	8	19	17	35
24	15	4	8	9	9	17	18	34
25	20	5	10	10	10	20	20	40

ДОДАТКИ

Додаток 1. Таблиці переведення фізичних величин

Таблиця 1

Метрична система, співвідношення одиниць вимірювання довжини

Перерахунок	В							
	ангстрем (Å)	нанометр (nm, нм)	мікрон (mkm, мкм)	міліметр (mm, мм)	сантиметр (cm, см)	дециметр (dm, дм)	метр (m, м)	кілометр (km, км)
метр (m, м)	1x10E10	1x10E9	1000000	1000	100	10	1	0,001

Таблиця 2

Системи відношення одиниць вимірювання довжини прийняті в Великобританії та США

Перерахунок	В							
	ліга, льє	миля (mi)	род (rd)	ярд (yd)	фут (ft)	лінк (link)	дюйм (in)	лінія (line)
миля (mi)	0,3333	1	320	1760	5280	8000	63360	760300

Таблиця 3

Переведення одиниць вимірювання довжини прийнятих в Великобританії та США в метричну

Перерахунок	В							
	ангстрем (Å)	нанометр (nm, нм)	мікрон (mkm, мкм)	міліметр (mm, мм)	сантиметр (cm, см)	дециметр (dm, дм)	метр (m, м)	кілометр (km, км)
ліга, льє	4828x10E10	4828x10E9	4828x10E6	4828x10E3	482800	48280	4828	4,828
миля (mi)	1609x10E10	1609x10E9	1609x10E6	1609x10E3	160900	16090	1609	1,609
род (rd)	5029x10E7	5029x10E6	5029x10E3	5029	502,9	50,29	5,029	0,005029
ярд (yd)	9144x10E6	9144x10E5	9144x10E2	914,4	91,44	9,144	0,9144	0,0009144
фут (ft)	3048x10E6	3048x10E5	3048x10E2	304,8	30,48	3,048	0,3048	0,0003048
лінк (link)	2012x10E6	2012x10E5	2012x10E2	201,2	20,12	2,012	0,2012	0,0002012
дюйм (in)	254x10E6	254x10E5	254x10E2	25,4	2,54	0,254	0,0254	0,0000254
лінія (line)	2117x10E4	2117x10E3	2117	2,117	0,2117	0,02117	0,002117	0,000002117

Таблиця 4

Переведення одиниць вимірювання площі

Перерахунок	В							
	см ²	м ²	км ²	дюйм ²	фут ²	ярд ²	акр	миля ²
см ²	1	0,0001	–	0,155	0,001076	0,0001196	–	–
м ²	10000	1	0,000001	1550	10,7639	1,19599	0,0002471	–
км ²	–	1000000	1	–	–	–	247,105	0,386102
дюйм ²	6,4516	0,000645	–	1	0,006944	0,000772	–	–
фут ²	929,03	0,092903	–	144	1	0,111111	0,000023	–
ярд ²	8361,27	0,836127	–	1296	9	1	0,0002066	–
акр	–	4046,86	0,004047	–	43560	4840	1	0,001562
миля ²	–	–	2,589987	–	–	–	640	1

Таблиця 5

Переведення одиниць вимірювання маси

Перерахунок	В						
	кг	тона	фунт	Англ. cwt	Англ. тона	Амер. cwt	Амер. тона
кг	1	0,001	2,20462	0,019684	0,000984	0,022046	0,001102
тонна	1000	1	2204,62	19,6841	0,984207	22,0462	1,10231
фунт	0,453592	0,000454	1	0,008929	0,000446	0,01	0,0005
Англ. cwt	50,8023	0,050802	112	1	0,05	1,12	0,056
Англ. тона	1016,05	1,01605	2240	20	1	22,4	1,12
Амер. cwt	45,3592	0,045359	100	0,892857	0,044643	1	0,05
Амер. тона	907,185	0,907185	2000	17,8517	0,892857	20	1

Таблиця 6

Переведення одиниць вимірювання об'єму

Перерахунок	В									
	см ³	м ³	літр (дм ³)	дюйм ³	фут ³	ярд ³	UK пінта	UK галон	US пінта	US галон
см ³	1	-	0,001	0,061024	0,0000353	-	0,001760	0,00022	0,002113	0,000264
м ³	-	1	1000	61023,7	35,3147	1,30795	1759,75	219,969	2113,38	264,172
літр (дм ³)	1000	0,001	1	61,0237	0,035315	0,001308	1,75975	0,219969	2,11338	0,264172
дюйм ³	16,3871	-	0,016387	1	0,0005787	0,0000214	0,028837	0,003605	0,034632	0,004329
фут ³	28316,8	0,028317	28,3168	1728	1	0,037037	49,8307	6,22883	59,8442	7,48052
ярд ³	764555	0,764555	764,555	46656	27	1	1345,429	168,1784	1615,793	201,974
UK пінта	568,261	0,0005683	0,568261	34,6774	0,020068	0,000743	1	0,125	1,20095	0,150119
UK галон	4546,09	0,0045461	4,54609	277,42	0,160544	0,005946	8	1	9,6076	1,20095
US пінта	473,176	0,0004732	0,473176	28,875	0,01671	0,000619	0,832674	0,104084	1	0,125
US галон	3785,41	0,0037854	3,785411	231	0,133681	0,004951	6,661392	0,832674	8	1

Закінчення табл. 6

Таблиця 7

Переведення одиниць вимірювання тиску

Перерахунок	В							
	атм	мм рт.ст.	мбар	бар	паскаль	дюйм вод.ст.	дюйм рт.ст.	psi
атм	1	760	1013,25	1,0132	101325	406,781	29,9213	14,6959
мм рт.ст.	0,0013158	1	1,33322	0,001333	133,322	0,53524	0,03937	0,019337
мбар	0,0009869	0,750062	1	0,001	100	0,401463	0,02953	0,014504
бар	0,9869	750,062	1000	1	100000	401,463	29,53	14,504
паскаль	0,0000099	0,007501	0,01	0,00001	1	0,004015	0,0002953	0,000145
дюйм вод.ст.	0,0024583	1,86832	2,49089	0,002491	249,089	1	0,073556	0,036127
дюйм рт.ст.	0,033421	25,4	33,8639	0,0338639	3386,39	13,5951	1	0,491154
фунт/дюйм ²	0,068046	51,7149	68,9476	0,068948	6894,76	27,6799	2,03602	1

Таблиця 8

Переведення одиниць вимірювання об'ємної витрати

Перерахунок	В							
	літр/с (дм ³ /сек)	літр/год	м ³ /с	м ³ /год	cfm	фут ³ /год	UK галон/год	US галон/год
літр/с (дм ³ /с)	1	3600	0,001	3,6	2,118882	127,133	791,8884	951,019
літр/год	0,000278	1	-	0,001	0,000588	0,035315	0,219969	0,264172

м ³ /с	1000	3600000	1	3600	2118,88	127133	791889	951019
м ³ /год	0,277778	1000	0,000278	1	0,588578	35,3147	219,969	264,1718
<i>Закінчення табл. 8</i>								
cfm	0,471947	1699,017	0,000472	1,699017	1	60	373,73	448,831
фут ³ /год	0,007866	28,3168	–	0,028317	0,016667	1	6,228833	7,480517
UK галон/год	0,001263	4,54609	–	0,004546	0,002676	0,160544	1	1,20095
US галон/год	0,001052	3,785411	–	0,003785	0,002228	0,133681	0,832674	1

Таблиця 9

Переведення одиниць вимірювання потужності

Перерахунок	В			
	Вт/час	Вт	ккал/час	кВт
Вт/час	1	0,293071	0,251996	0,000293
Вт	3,41214	1	0,859845	0,001
ккал/час	3,96832	1,163	1	0,001163
кВт	3412,14	1000	859,845	1

Таблиця 10

Переведення одиниць вимірювання енергії

Перерахунок	В				
	Втu	Терм	Дж	кДж	кал
Втu	1	0,00001	1055,06	1,055	251,996
терм	100000	1	–	105 500	25 199 600
Дж	0,00094	–	1	0,001	0,2388
кДж	0,9478	0,000009478	1000	1	238,85
Кал	0,0039683	0,0039683 x 10 ⁻³	4,1868	–	1

Таблиця 11

Переведення одиниць вимірювання теплоти

Перерахунок	В	
	Втu/lb °F	Дж/кг °C
Втu/lb °F	1	4186,8
Дж/кг °C	0,00023	1

Таблиця 12

Переведення одиниць вимірювання коефіцієнта теплопередачі

Перерахунок	В		
	Втu/ft ² год	Вт/м ²	ккал/м ²
Втu/ft ² год	1	3,154	2,712
Вт/м ²	0,3169	1	0,859
ккал/м ²	0,368	1,163	1

Таблиця 13

Переведення одиниць вимірювання теплопровідності

Перерахунок	В		
	Втu/фут ² год °F	Вт/м ² °C	ккал/м ² год °C
Втu/фут ² год °F	1	5,67826	4,88243
Вт/м ² °C	0,176110	1	0,859845
ккал/м ² год °C	0,204816	1,163	1

Таблиця 14

Переведення одиниць вимірювання теплоємності

Перерахунок	В	
	Втu/фунт	кДж/кг
Втu/фунт	1	2,326

кДж/кг	0,4299	1
--------	--------	---

Додаток 2

Щоденне надходження сумарної E , розсіяної E_p , сонячної енергії (МДж/м²) та температури повітря (°С) у відповідному місяці року для місцевості північної півкулі

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

Додаток 3

Середньомісячні значення $K_{пр}$ для сонячних колекторів південної орієнтації з різними кутами їх нахилу до горизонту

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

Додаток 4

Елементний склад палива

Паливо	Вміст, %		Горюча маса, % по масі				
	волога, W^p	зола, A^c	вуглець, C^r	водень, H^r	кисень, O^r	азот, N^r	сірка, S^r
відходи деревини-технологічна щепка	16...18	0,4...1,0	50,0	6,0	43,0	1,0	-
відходи с/г (лущиння соняшнику)	10	3,5	47	6	45	1	1

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Веденев, А.Г. Биогазовые технологии установки в Кыргызской Республике. / А.Г. Веденев, Т.А. Веденев, - Бишкек: Евро, 2006. - 90 с.
2. Желих, В.М. Нетрадиційні джерела енергії. / О.Т. Возняк, Ю.С. Юркевич, - Львів: В-во НУ «Львівська політехніка», 2009. - 83 с.
3. Калетник, Г.М. Біопаливна галузь і енергетична та продовольча безпека України. / Г.М. Калетник. // Вісник аграрної науки. -2009.-№8,-С.62- 64.
4. Некрасов, В. Микробиологическая анаэробная конверсия биомассы. / В. Некрасов, - М: Колос, 2008. - 215 с.
5. Серьогін, О.О. Обладнання для виробництва біопалив: конспект лекцій для студентів спеціальності 7.05050313 «Обладнання переробних і харчових виробництв» спеціалізація «Обладнання виробництва біопалива» для денної та заочної форм навчання. / О.О. Осьмак, Д.В. Риндюк, О.О. Твердохліб – К.: НУХТ, 2011. – 100 с.
6. Сиротюк, М. І. Поновлювані джерела енергії : навч. посіб. / за ред. С.І. Кукурудзи ; Львівськ. нац. ун-т ім. І. Франка. - Л. : Вид. центр ЛНУ ім. І. Франка, 2008. - 248 с.
7. Скляр, О.Г. Основи біогазових технологій та параметри оптимізації процесу зброджування. / О.Г. Скляр, Р.В. Скляр. // Праці Таврійського держ. агротехнол. ун-ту. - Мелітополь: 2009. -ТІ, Вип. 9. - С 20 - 30.
8. Товажнянський, Л. Л. Паливно-енергетичний комплекс. Стратегія розвитку : навч. посіб. / Л.Л. Товажнянський, Б.О. Левченко ; Нац. техн. ун-т "Харк. політехн. ін-т". - Х. : ХПІ, 2009. - 400 с.
9. Щербина, О. М. Енергія для всіх : техн. довід. з енергоощад. та відновних джерел енергії / Олександр Щербина. - Вид. 4-е, доп. і перероб. - Ужгород: Вид-во Валерія Падяка, 2007. - 336 с.