

**Сергій Бойченко, Анна Яковлєва, Оксана Вовк,
Казимир Лейда, Сергій Шаманський**

АЛЬТЕРНАТИВНІ ЕНЕРГОРЕСУРСИ. ВСТУП ДО СПЕЦІАЛЬНОСТІ

Навчальний посібник

Рекомендовано Вченою радою
Факультету екологічної безпеки, інженерії та технологій
Національного авіаційного університету

Київ 2021

Автори:

Сергій Бойченко – д.т.н., проф., декан факультету – вступ, розділи 1,2,3 (спільно з Анною Яковлевою, Казимиром Лейдою, Сергієм Шаманським);

Анна Яковлева – к.т.н., доц., доц. кафедри – розділи 1, 2, 3 (спільно з Сергієм Бойченком, Оксаною Вовк, Казимиром Лейдою, Сергієм Шаманським);

Оксана Вовк – д. т. н., проф., проф. кафедри – розділ 1 (спільно з Сергієм Бойченком, Анною Яковлевою);

Казимир Лейда – д. т. н., проф., проф. кафедри – розділ 3 (спільно з Сергієм Бойченком, Анною Яковлевою);

Сергій Шаманський – д. т. н., доц. пров. н. с. – розділ 2 (спільно з Сергієм Бойченком, Анною Яковлевою).

Рецензенти:

В. О. Хрутьба – д. т. н., проф.

С. П. Денисюк – д. т. н., проф.

О. Б. Гринишин – д. т. н., проф.

Рекомендовано Вченою радою Факультету екологічної безпеки інженерії та технологій Національного авіаційного університету (протокол № 9 від 19 жовтня 2020 року)

Альтернативні енергоресурси. Вступ до спеціальності: навчальний посібник / С. В. Бойченко, А. В. Яковлева, О. О. Вовк, Казимир Лейда, С. Й. Шаманський; за заг. редакцією С. В. Бойченка. – К.: НАУ, 2021. – 397 с.

Навчальний посібник містить теоретичний і практичний матеріал з основних напрямів альтернативної енергетики. Розглянуто загальні поняття про альтернативну енергетику та альтернативні джерела енергії. Сучасний стан та перспективи розвитку енергетики з огляду зменшення її впливу на довкілля. Розглянуто міжнародне та українське законодавство щодо впровадження альтернативних джерел для забезпечення збалансованого розвитку. Показано місце альтернативних енергоресурсів у структурі світової та української енергетики, а також можливі перспективи їх розвитку. Окремо розглянуто альтернативні моторні палива, зокрема авіаційні. Розглянуто технології їх виробництва, зберігання і споживання, а також методи поводження з відходами під час спалювання.

Для студентів спеціальності «Хімічні технології та інженерія».

УДК 620.92(075)

ЗМІСТ

Вступ	6
Розділ 1. Загальні поняття про альтернативні джерела енергії	9
1.1. Основні терміни та поняття	9
1.2. Енергія – як необхідна умова існування людства	13
1.3. Сучасний технологічний уклад суспільства	15
1.4. Енергетична безпека та збалансований розвиток	22
1.5. Загальні поняття про альтернативні джерела енергії . .	27
1.5.1. Традиційна енергетика	27
1.5.2. Альтернативна енергетика	35
1.5.3. Відновлювана енергетика	37
1.5.4. Збалансована енергетика	43
1.6. Класифікація джерел енергії, їх види	45
1.7. Поняття енергоощадності, енергоефективності та енергозбереження	51
1.8. Сучасний стан і перспективи розвитку відновлюваної енергетики в світі	58
1.9. Перспективи розвитку та екологізації паливно-енергетичного комплексу в Україні	78
1.9.1. Законодавство України у сфері використання альтернативних джерел енергії	79
1.9.2. Основні положення Енергетичної стратегії України	85
Питання для самоперевірки	94
Розділ 2. Альтернативні джерела енергії в структурі енергетичної галузі світу та України	96
2.1. Склад енергетичної системи Землі	96
2.2. Енергетичні системи. Форми зберігання та перетворення енергії	102
2.3. Енергія Сонця	105
2.4. Енергія вітру	114
2.5. Гідроенергетика	120
2.5.1. Класифікація та принцип дії гідроелектростанцій .	122
2.5.2. Енергетичний потенціал малих річок	127
2.6. Енергія світового океану	133
2.6.1. Використання енергії припливів	134
2.6.2. Використання енергії морських хвиль	139

2.6.3. Використання теплової енергії океану	143
2.7. Геотермальна енергія	145
2.8. Енергія біомаси	156
2.8.1. Загальна характеристика біомаси	156
2.8.2. Характеристики основних видів біомаси	160
2.8.3. Технологічні процеси перероблення біомаси	166
2.8.4. Альтернативні палива з біомаси	172
2.8.5. Біоенергетичний потенціал України	174
2.9. Енергія біогазу	175
2.9.1. Технологічні процеси отримання біогазу	177
2.9.2. Сировина для одержання біогазу	184
2.9.3. Потенціал виробництва біогазу в Україні	191
Питання для самоперевірки	193
Розділ 3. Альтернативні моторні палива	196
3.1. Моторні палива з традиційної та нетрадиційної нафтової сировини	196
3.2. Біодизель. Технології виробництва та сировина	216
3.2.1. Сировина для виробництва біодизелю	217
3.2.2. Технології виробництва біодизелю	222
3.3. Аліфатичні спирти. Технології виробництва та сировина	239
3.3.1. Сировина та технології виробництва біоетанолу	240
3.3.2. Використання аліфатичних спиртів у двигунах внутрішнього згорання	245
3.4. Альтернативні авіаційні палива. Технології виробництва та сировина	256
3.4.1. Технології виробництва альтернативних авіаційних палив з невідновлюваної сировини	257
3.4.2. Технології виробництва альтернативних авіаційних палив з відновлюваної сировини	267
3.5. Водневе паливо	278
3.5.1. Отримання водню за допомогою альтернативних джерел енергії	283
3.5.2. Використання водню	286
3.6. Електричні двигуни та паливні елементи – перспектива традиційним джерелам живлення автомобілів	298
3.7. Відходи як сировина для отримання альтернативних	

палив	300
3.8. Моторні палива з полімерної сировини	304
3.8.1. Ресурси полімерів, як сировини для отримання альтернативних палив	304
3.8.2. Загальна характеристика процесів термічної і каталітичної деструкції полімерних відходів та виробництва альтернативних палив	312
3.8.3. Технохімічні показники палив з полімерної сировини	338
3.9. Моторні палива з водоростевої сировини	354
Питання для самоперевірки	363
Література.	366
Додатки	378

ВСТУП

Енергетика – основа розвитку економіки. Вона забезпечує технологічні процеси в промисловості, забезпечує тепло та світло людям. Це система галузей, що охоплює паливну промисловість та електроенергетику з їх підприємствами, комунікаціями, системами управління, науково-дослідною інфраструктурою. Підприємства енергетики ведуть розвідку, освоєння, переробку та транспортування енергоносіїв, виробництво та передачу електроенергії і тепла. Більшість виробничих об'єктів системи знаходяться під контролем одних і тих самих угруповань капіталу. У світовому господарстві це великі транснаціональні корпорації.

Функціонування енергетики оцінюється за показниками рівня забезпеченості країн носіями, рівня енергоспоживання в окремих країнах, пропорціями паливно-енергетичного балансу країн і світу в цілому. Як енергоносії людство раніше використовувало мускульну силу, деревину, рушійну енергію Сонця тощо. У наш час основними енергоносіями стали вуглеводневі сполуки (нафта, газ, вугілля) та ядерне паливо. Як альтернативні джерела майбутнього розглядається енергія Сонця, геотермічна енергія Землі, водень, термоядерна енергія.

Енергозабезпечення світу, наприклад, у 2016 р. за розмірами споживання становило більше 13 млрд тонн умовного палива (т.у.п.) у вугільному еквіваленті. Найбільші енергоспоживачі світу: США – 25 % енергоспоживання світу, Російська Федерація – близько 10 %, Китай – 9 %, Японія – 5,5 %, ФРН – 7,3 %. Енергоспоживання України (близько 3 %) співрозмірюється з показниками Великобританії, Франції, Канади та Індії.

Споживання енергії в світі особливо швидко зростало в другій половині ХХ ст. У цей період енергетика розвивалася випереджаючими темпами, енергомісткість виробництва (тобто затрати палива та електроенергії на одиницю продукції) на перших етапах науково-технічної революції (НТР) була високою. На межі 80–90-х років темпи приросту енергоспоживання знизилися – світ ступив на шлях впровадження енергозберігаючих технологій, тобто технологій, що забезпечують зниження енерговитрат.

Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії останнім часом стали одним із важливих критеріїв збалансованого розвитку

світової спільноти. Здійснюється пошук нових і вдосконалення існуючих технологій, виведення їх до економічно ефективного рівня та розширення сфер використання.

Головними причинами такої уваги є очікуване вичерпання запасів органічних видів палива, різке зростання їх ціни, недосконалість та низька ефективність технологій їхнього використання, шкідливий вплив на довкілля, наслідки якого все більше і більше турбують світову спільноту.

На сьогодні частка невідновлюваних джерел енергії (НВДЕ) у виробництві енергії у світі ще не є значною, але їх потенціал на кілька порядків перевищує рівень світового споживання паливно-енергетичних ресурсів. Темпи зростання обсягів виробництва енергії НВДЕ також значно перевищують аналогічні для традиційних видів енергії. Так, у найближчі 10 років, прогнозується щорічне зростання світових обсягів виробництва електроенергії традиційної електроенергетики на рівні 2,8 %, а електроенергії НВДЕ – 9,2 %.

В Україні також існує значний потенціал використання НВДЕ. З іншого боку, проблеми ефективності використання традиційних джерел енергії в Україні стоять ще гостріше, ніж у світі чи країнах ЄС. Причинами цього є застарілі технології, вичерпання ресурсів використання основних фондів генерації електроенергії і тепла, що разом з низькою ефективністю використання палива призводить до значних обсягів викидів шкідливих речовин. Значні втрати при транспортуванні, розподілі та використанні електроенергії і тепла, а також монопольна залежність від імпорту енергоносіїв ще більш ускладнюють ситуацію на енергетичних ринках країни.

Таким чином, Україна має нагальну потребу у переході до енергетично ефективних та екологічно чистих технологій, якими є, в тому числі, і НВДЕ. Але, незважаючи на декларативні заяви щодо усвідомлення цієї потреби з боку різних гілок влади та низку нормативно-законодавчих актів, які стосуються розвитку НВДЕ, – реальних кроків щодо впровадження НВДЕ зроблено досить мало. Частка НВДЕ в енергетичному балансі країни становить лише 7,2 % (6,4 % – позабалансові джерела енергії; 0,8 % – відновлювані джерела)

Змінити ситуацію можна проведенням відповідної енергетичної політики, вдосконаленням нормативно-правової бази та залучення інвестицій у розвиток НВДЕ. Звісно, що цей процес не є швидким, але задля забезпечення майбутнього економічного процвітання України, її гідного місця у Європейській спільноті потрібно вже сьогодні активізувати вирішення цієї актуальної проблеми.

РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ ПРО АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

1.1. Основні терміни та поняття

Авіатранспортні процеси – процеси переміщення пасажирів (або вантажів) авіаційним транспортом, що включають: підготовку до перевезень, подачу рухомого складу, посадку пасажирів, завантаження багажу та вантажу, оформлення перевізних документів, переміщення, розвантаження та видачу вантажу вантажоотримувачу.

Альтернативні джерела енергії – будь-які джерела енергії, що є альтернативою викопному паливу.

Біоенергетика – галузь електроенергетики, заснована на використанні біопалива, що створюється на основі використання біомаси.

Біомаса – біологічно відновлювальні речовини органічного походження, що зазнають біологічного розкладу (відходи сільсько-го господарства (рослинництва і тваринництва), лісового господарства та технологічно пов'язаних з ним галузей промисловості, а також органічна частина промислових та побутових відходів).

Біопаливо (або біологічне паливо) – органічні матеріали, що використовуються для виробництва енергії. Це – поновлюване джерело енергії, на відміну від інших природних ресурсів, таких як нафта, вугілля й ядерне паливо.

Безпека – такий стан складної системи, коли дія зовнішніх і внутрішніх факторів не призводить до погіршення системи або до неможливості її функціонування і розвитку

Відновлювані джерела енергії – джерела енергії, відновлення яких постійно здійснюється в природі, і які існують на основі постійних чи періодично виникаючих в природі потоків енергії.

Вітроенергетика – галузь відновлюваної енергетики, що спеціалізується на використанні кінетичної енергії вітру.

Геліоенергетика – галузь відновлюваної енергетики, що спеціалізується на використанні сонячного випромінювання для отримання енергії в будь-якому зручному для її споживання вигляді.

Геотермальна енергетика – галузь альтернативної енергетики, в основі якої полягає виробництво електричної енергії на геотермальних станціях за рахунок енергії, що міститься в надрах землі.

Гідроенергетика – галузь відновлюваної енергетики, що спеціалізується на використанні енергії від течії води.

Екологічна безпека – це складова національної безпеки, процес управління системою національної безпеки, за якого державними і недержавними інституціями забезпечується екологічна рівновага і гарантується захист середовища проживання населення країни і біосфери в цілому, атмосфери, гідросфери, літосфери і космосфери, видового складу тваринного і рослинного світу, природних ресурсів, збереження здоров'я і життєдіяльності людей і включаються віддалені наслідки цього впливу для теперішнього і прийдешніх поколінь.

Екологія – складна багатогранна дисципліна, основою якої є біогеографічні знання, але яка поєднує сьогодні всі природничі, точні, гуманітарні і соціальні науки, з метою пошуків шляхів оптимального розвитку людства на максимально далеку перспективу, вироблення нових методів збереження біосфери планети.

Екологістика - усі дослідження і заходи, пов'язані із здійсненням оптимальних рішень щодо збору, зберігання, утилізації та управління утилізацією або необтяжливою для навколишнього середовища і суспільства ліквідацією відходів різних видів.

Енергетична безпека – це складова національної безпеки; стан захищеності життєво важливих «енергетичних інтересів» особистості, суспільства, держави від внутрішніх та зовнішніх загроз, що забезпечує безперерйне задоволення споживачів економічно доступними ПЕР прийнятної якості за нормальних умов та в надзвичайних ситуаціях.

Енергетична рентабельність – у фізиці, економічні та екологічні енергетиці – відношення кількості придатної для використання (корисної) енергії, отриманої з певного джерела енергії (ресурса), до кількості енергії, витраченої на отримання цього енергетичного ресурсу.

Енергія – це скалярна фізична величина, загальна кількісна міра руху і взаємодії всіх видів матерії. Енергія не виникає ні з чого

і нікуди не зникає, вона може тільки переходити з одного стану в інший.

Енергоефективність – це ефективне (раціональне) використання енергетичних ресурсів – досягнення економічно виправданої ефективності використання ПЕР при існуючому рівні розвитку техніки та технології, а також дотриманні вимог до охорони навколишнього середовища.

Енергозбереження – процес, під час якого скорочується потреба у паливі на одиницю кінцевого корисного ефекту від його використання. Оскільки у процесі виробництва матеріальних благ і послуг споживається тільки частина енергії, що здатна виконувати роботу, то енергозбереження зводиться як до заощадження палива, так і до забезпечення максимальної ефективності його використання.

Енергоощадність – діяльність (організаційна, наукова, практична, інформаційна), що спрямована на раціональне використання та економне витрачання первинної та перетвореної енергії й природних енергетичних ресурсів в національному господарстві та яка реалізується з використанням технічних, економічних та правових методів.

Ефективність – характеристика будь-якої системи з точки зору співставлення витраті результатів функціонування.

Зелена енергетика – енергія, що може бути вироблена та / або спожита без істотного негативного впливу на навколишнє середовище. Наш планета має природну здатність до відновлення, отже забруднення, що не виходить за рамки цієї здатності може вважатися зеленим.

Корисні копалини – мінеральні утворення земної кори, хімічний склад і фізичні властивості яких дають змогу ефективно використовувати їх у сфері матеріального виробництва.

Моторне паливо – автомобільні та авіаційні бензини, дизельне паливо, паливо для повітряно-реактивних двигунів, паливо для газотурбінних установок, газоподібне паливо, що призначено для використання у двигунах внутрішнього згорання.

Надійність – властивість виробу (двигуна, автомобілю, літака, і т.д.) виконувати задані функції, зберігаючи свої експлуатаційні показники в заданих межах протягом необхідного проміжку

часу або необхідної наробки. Визначається безвідмовністю, ремонтпридатністю виробу і довговічністю його складових частин.

Невідновлювані (традиційні) джерела енергії – природньо утворені й накопичені в надрах планети запаси речовин, здатних за певних умов звільняти енергію, що міститься в них. Ці запаси відомі як корисні копалини.

Паливно-енергетичні ресурси (ПЕР) – сукупність всіх природних і перетворених видів палива та енергії, які використовуються в національному господарстві.

Паливо – горючі речовини, основною складовою частиною яких є вуглець, що використовуються для отримання теплової енергії через спалювання (згорання).

Раціональне використання природних ресурсів – досягнення максимальної ефективності використання ПЕР при існуючому рівні розвитку техніки та технології і одночасному зниженні техногенного впливу на навколишнє природне середовище.

Раціональне природокористування – господарська діяльність людини, що забезпечує економне використання природних ресурсів і умов, їх охорону і відтворення з урахуванням не тільки справжніх, а й майбутніх інтересів суспільства.

Раціональність – сутність раціонального використання енергоресурсів, що полягає у максимально доцільному, організованому їх використанні, ґрунтованому на сучасних досягненнях науки і техніки, та відповідності рівню сучасних соціальних потреб.

Збалансована енергетика – збалансоване (стабільне) забезпечення енергією, яка задовольняє потреби нинішнього покоління, в той же час не створюючи перешкод майбутнім поколінням задовольняти свої потреби.

Збалансований розвиток – це розвиток суспільства, що дозволяє задовольняти потреби нинішнього покоління, не наносячи при цьому шкоди можливостям майбутніх поколінь для задоволення їхніх власних потреб. Іншими словами це процес гармонізації продуктивних сил, забезпечення задоволення необхідних потреб усіх членів суспільства за умов збереження і поетапного відновлення цілісності природного середовища, створення можливостей для рівноваги між його потенціалом і потребами людей усіх поколінь.

Технологічний уклад – техніко-технологічний комплекс, що функціонує на основі технології, що є особливою в межах єдності технологічного способу виробництва. Це сукупність галузей, пов'язаних єдиними технологічними принципами.

Хіммотологія – наука про технологічні процеси, властивості, якість і методологію раціонального використання палив, олив, мастил і технічних рідин під час експлуатації техніки.

Хіммотологічна надійність – надійність техніки, що залежить від якості паливно-мастильних матеріалів (характеристика (здатність) техніки забезпечувати протягом життєвого циклу надійне виконання заданих функцій на сортах паливно-мастильних матеріалів і технічних рідин раціонального рівня якості).

1.2. Енергія – як необхідна умова існування людства

Існування сучасної цивілізації залежить від можливості видобутку і використання багатьох джерел енергії, що необхідні для забезпечення нормального існування людства. Для кожної конкретної людини потрібна енергія та, що він споживає з їжею для підтримки життєдіяльності організму, і та, що потрібна для задоволення його інших потреб.

Чисельність населення Землі постійно зростає: на початку нашої ери на планеті було 200–300 млн людей, за часів Колумба – 500 млн, на початку XX століття – 1,6 млрд, а вже наприкінці – 6 млрд. Можна очікувати, що до кінця XXI століття чисельність людей на Землі стабілізується на рівні 10–12 млрд. Відповідно збільшується потреба в енергії, яку людство отримує споживаючи їжу. При середній добовій нормі їжі для однієї людини в 3000 ккал людство щороку споживає $6,6 \times 10^{13}$ ккал, що еквівалентно одному млрд тонн умовного палива (т у.п.). До кінця століття ця величина збільшиться вдвічі.

Крім забезпечення людства їжею необхідно задовольнити його побутові потреби, кількість яких з розвитком цивілізації постійно зростає. Кожен з нас бажає жити в красивих будинках з опаленням і електричною енергією, яка забезпечує використання численних побутових приладів. Крім того, людям потрібні транспортні засоби (автомобілі, поїзди, кораблі, літаки), засоби комунікації (ра-

діо, зв'язок, телебачення, Інтернет) та ще багато іншого, про що ми згадуємо лише тоді, коли це раптом зникає.

Історія розвитку нашої цивілізації – це безперервна боротьба за збільшення виробництва енергії, необхідної людству для задоволення його побутових потреб. Приблизно 500 тисяч років тому людина стала використовувати вогонь, 40 тис. років тому – тварин, на початку н.е. побудувала водяний млин, в XI сторіччі було винайдено вітряк. У 1784 році Джеймс Уатт створив паровий двигун, який разом з паровозом Стефенсона в 1825 році на сто років вперед визначив обличчя промислової революції. У 1885 році Даймлер Бенц сконструював автомобіль з бензиновим двигуном, який з плином часу змінив світ. На рубежі XIX і XX століть завдяки відкриттю Фарадея і створення електричних машин людство перейшло з століття пара в століття електрики. У 1881 році Едісон побудував першу електростанцію і розподільні мережі до неї. Зараз загальна потужність електростанцій всіх країн світу складає 2,1 млрд кВт. На виробництво електричної енергії витрачається третина всього палива, що видобувається. Щорічні витрати енергії, враховуючи забезпечення роботи транспорту, хімічної та металургійної промисловості, побуту та іншого, складають 13 млрд кВт-год. Для первісних людей єдиним джерелом енергії була деревина, що лише кілька сторіч тому була замінена вугіллям. Наприкінці XIX століття почали використовувати продукти переробки нафти, на початку минулого століття – природний газ, що в свою чергу став витісняти нафту. На тепер у світі 65 % електричної енергії виробляється тепловими електростанціями, для чого щорічно спалюється 12 млрд т у.п. Решта 35 % виробляються приблизно порівну атомними і гідроелектростанціями, 0,5 % – нетрадиційні джерела енергії.

Таким чином, подальший добробут нашої цивілізації значною мірою залежить від того, на скільки років вистачить запасів вугілля, нафти і природного газу. Оптимісти вважають, що запасів вугілля людству вистачить на 300 років, нафти на 40 років і газу на 50 років. На думку песимістів цей час може бути ще меншим і залежить він від наших справжніх і прогнозованих потреб. Якщо до середини поточного сторіччя виробництво всіх видів енергії подвоїться, а виробництво електричної енергії потроїться, і все людство захоче жити за американськими стандартами, то вже найближчим

часом розпочнуться війни між країнами за паливні ресурси. Дехто вважає, що ці війни вже почалися. На жаль, людство ще не у повній мірі осягнуло загрозу втратити запаси палива, воно не хоче зрозуміти, що стрімко наближається до прірви.

Постійне зростання видобутку і спалювання паливних ресурсів органічного походження призводить до ще одного трагічного для людства наслідку. Під час спалювання такого палива (особливо вугілля) утворюється величезна кількість шкідливих речовин: зола, оксиди сірки і азоту, вуглекислий газ. Вже сьогодні в атмосфері Землі щорічно викидається 6,5 млрд тонн вуглекислого газу, тобто по одній тонні на кожного жителя. Після використання всіх запасів природного газу і нафти та переходу на спалювання вугілля обсяг цих викидів зросте ще більше. Наслідком цього буде посилення «парникового ефекту», що спричинить підвищення середньої температури атмосфери Землі і, як наслідок, природні катастрофи глобального масштабу, підвищення рівня світового океану, затоплення прибережних зон, посуху, повені, урагани, а також зміни клімату не лише окремих регіонів, а й всієї Землі.

1.3. Сучасний технологічний уклад суспільства

Освоєння всіх природних ресурсів на землі відбувається поступово, і на деякому етапі розвитку етносів історично складаються певні природно-господарські комплекси. На першому етапі їх створення людина пристосовувалася до природних умов, методом проб і помилок удосконалюючи природокористування. До початку епохи великих географічних відкриттів в межах сформованих держав, склалися певні типи територіально-господарсько-культурних комплексів, пов'язаних з географічними умовами місць проживання, що легко укладаються в широтні ландшафтно-кліматичні зони. Ці комплекси зберігають свої просторові обриси і до теперішнього часу, але на раніше існуючі ареали наклалися шари «культури землекористування», пов'язані з розвитком промислового виробництва, а потім і з науково-технічною революцією.

Природокористування, що виникло до початку географічних відкриттів, сьогодні називається традиційним, а всі наступні його модифікації – накладеними. Традиційні види природокорис-

тування розвивалися в умовах нормального перебігу природних процесів, у тому числі тих, що ми тепер називаємо негативними.

Поселення людей завжди змінює природну обстановку, порушуючи рослинний і ґрунтовий покрив, режим формування поверхневих і підземних вод, якість повітряних, водних і ґрунтових об'єктів. З'являється необхідність регулювання землекористування та земельних відносин.

У всьому світі стає популярною концепція зміни технологічних укладів. За думкою авторів концепції, технологічний уклад характеризується сукупністю технологій і виробництв одного рівня, що об'єднуються в стійку цілісність складових його виробництв, пов'язаних потоками якісно однорідних ресурсів, що спираються на кваліфіковану робочу силу, загальний науково-технічний потенціал і залежить від зовнішніх і внутрішніх умов розвитку економіки (табл. 1.1, 1.2).

Кожен технологічний уклад складається з трьох елементів:

- епохальні та базисні інновації, що визначають ключові напрями розвитку нового технологічного укладу називаються *ключовим фактором*;
- комплекс ключових напрямів розвитку утворює *ядро технологічного укладу*;
- галузі, де застосовуються ключові напрями розвитку називаються *несучими галузями*.

З кожним наступним укладом зростає залежність економіки від діяльності людини (освіта і засвоєння нових технологій) і технічних засобів. Цінними стають не тільки робоча сила, але і знання, інтелект, пам'ять, цілеспрямованість, а також питання технологічної дисципліни та освіти кадрів, що особливо характерно для останніх технологічних укладів, що наочно демонструють науково-технічний прогрес. Він трактується як послідовність виробничо-технологічних укладів, що забезпечують динамічний розвиток усіх продуктивних сил суспільства. У результаті новітні технології тієї чи іншої країни стають фундаментальною основою для забезпечення високого і стійкого рівня ринкової конкурентної здатності товарів. Саме в новітніх технологіях закладений потужний імпульс до економічного і соціального прогресу людства, регіонів і країн світу.

Таблиця 1.1

Характеристика технологічних укладів

Характеристика укладу	Номер технологічного укладу					
	1 1770–1830 роки	2 1830–1880 роки	3 1880–1930 роки	4 1930–1970 роки	5 1970–2010 роки	6 2010–2050 роки
Період домінування	2	3	4	5	6	7
Технологічні лідери	Великобританія, Франція, Бельгія	Великобританія, Франція, Бельгія, Німеччина, США	Німеччина, США, Великобританія, Франція, Бельгія, Швейцарія, Нідерланди	США, західна Європа, Японія	США, ЄС, Японія	США, ЄС, Японія, Китай, Росія
Розвинуті країни	Германські держави, Нідерланди	Італія, Нідерланди, Швейцарія, Австро-Угорщина	Італія, Данія, Австро-Угорщина, Канада, Японія, Іспанія, Росія, Швеція	СРСР, Нові промислово розвинені країни (НПК)	НПК, Бразилія, Росія	НПК, СНД, Бразилія, Китай
Ядро технологічного укладу	Текстильна промисловість, текстильне машинобудування, виплавка чугуну, обробка заліза, будівництво каналів, водний двигун	Паровий двигун, залізничне будівництво, транспорт, машинобудування, вугільна, пароплавебудування, вугільна, станко-інструментальна промисловість, чорна металургія	Електро-технічне, важке машинобудування, виробництво та прокат сталі, ліній електропередач, неорганічна хімія	Автомобіле-, тракторобудування, кольорова металургія, виробництво товарів довготривалого використання, синтетичні матеріали, органічна хімія, добування та переробка нафти	Електронна промисловість, обчислювальна, оптоволоконна техніка, програмне забезпечення, телекомунікації, роботобудування, добування та переробка газу, інформаційні послуги	Наноелектроніка, молекулярна та нанопотоніка, наноматеріали та наноструктуровані покриття, оптичні наноматеріали, нанотерогенні системи, нанобіотехнології, наносистема техніки, нанообладнання
Ключовий фактор	Текстильні машини	Паровий двигун, станки	Електродвигун, сталь	Двигун внутрішнього згорання, нафтохімія	Мікроелектронні компоненти	Нанотехнології

Продовження таблиці 1.1

Характеристика укладу	Номер технологічного укладу					
	1 роки 2	2 роки 3	3 роки 4	4 роки 5	5 роки 6	6 роки 7
Період домінування	1770–1830	1830–1880	1880–1930	1930–1970	1970–2010	2010–2050
1						
Ядро нового укладу, що формується	Парові двигуни, машинобудування	Сталь, електроенерге- тика, важке машинобуду- вання, неорганічна хімія	Автомобілебуду- вання, органічна хімія, добування та переробка нафти, кольорова металургія, будівництво автошляхів	Радари, будівництво трубопроводів, авіаційна промисловість, добування та переробка газу	Нанотехнології, молекулярна біологія	Кіпінні технології, генна інженерія
Переваги даного технологічного укладу над попереднім	Механізація та концентрації виробництва на фабриках	Ріст масштабів та концентрації виробництва на основі використання парового двигуна	Підвищення гнучкості виробництва на основі використання електродвигуна, стандартизації виробництва, урбанізації	Масове та серійне виробництво	Індивідуалізація виробництва та споживання, підвищення гнучкості виробництва	Різке зниження енерго- та матеріальності виробництва, конструювання матеріалів та організмів із заданими властивостями

Таблиця 1.2.

Інституційна структура технологічних укладів

Соціально-економічні характеристики укладів	Номер технологічного укладу					
	1	2	3	4	5	6
<i>I</i>	2	3	4	5	6	7
Режими економічного регулювання в країнах-лідерах	Руйнування феодалних монополій, обмеження професійних союзів, свобода торгівлі	Свобода торгівлі, обмеження державного втручання, поява галузевих професійних союзів, формування соціального законодавства	Розширення інститутів державного регулювання, Державна власність на природні монополії, основні види інфраструктури, в тому числі соціальної	Розвиток державних інститутів соціального забезпечення, воєнно-промисловий комплекс, Кейнсіанське державне регулювання економіки	Державне регулювання стратегічних видів інформаційної та комунікаційної інфраструктури, ліберизація фінансових інститутів та ринків капіталу	Стратегічне планування науково-технічного та економічного розвитку, Електронний уряд, Інститути розвитку та фонди фінансування інноваційної активності
Міжнародні Режими економічного регулювання	Британське домінування в міжнародній торгівлі, фінансах	Політичне, фінансове та торговельне домінування Великобританії, Свобода міжнародної торгівлі.	Імперіалізм та колонізація, Кінець Британського панування	Економічне та військове домінування США та СРСР	Поліцентричність світової економічної системи, Регіональні блоки, Лібералізація, Глобалізація	Становлення інститутів глобального регулювання економічної активності та світових ринків, Попівалютність світової фінансової системи

Продовження таблиці 1.2.

1	2	3	4	5	6	7
Основні Економічні Інститути	Конкуренція окремих підприємств та малих фірм, їх об'єднання та партнерство, що забезпечує кооперацію індивідуального капіталу	Концентрація виробництва в великих організаціях. Розвиток акціонерних товариств, що забезпечують концентрацію капіталу на принципах обмеженої відповідальності	Злиття фірм, концентрація виробництва в картелях і трестах. Панування монополій та олігополій. Концентрація капіталу в банківській системі. Відокремлення управління від власності	Транснаціональна корпорація, олігополія на світовому ринку. Вертикальна інтеграція та концентрація виробництва. Дивізіональний ієрархічний контроль та домінування технічної структури в організаціях	Міжнародна інтеграція малих та середніх фірм на основі інформаційних технологій, інтеграція виробництва та збуту. Поставка «як раз вчасно»	Стратегічні альянси. Інтеграційні структури бізнесу, науки та освіти, технопарки, державно-приватні партнерства
Організація інноваційної активності в країнах-лідерах	Організація наукових досліджень в національних академіях та наукових товариствах, місцевих, інженерних та наукових товариствах. Індивідуальне інженерне та винахідницьке підприємство та партнерство. Професійне навчання кадрів з відривом та без відриву від виробництва	Формування науково-дослідних інститутів. Приєднання розв'язок професійної освіти та її інтернаціоналізації. Формування національних та міжнародних систем охорони інтелектуальної власності	Створення внутрішньо фірмових науково-дослідних відділів. Використання інженерів з університетською освітою у виробництві. Національні інститути та лабораторії. Всезагальна початкова освіта	Спеціалізовані та науково-дослідні відділи в більшості фірм. Державне субсидування військових науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт. Залучення держави у сферу цивільних НДДКР. Розвиток середньої, вищої та професійної освіти. Передача технологій через ліцензії та інвестиції транснаціональними корпораціями	Горизонтальна інтеграція НДДКР, проектування виробництва. Обчислювальні мережі та сучасні дослідження. Державна підтримка нових технологій та університетсько-промислове співробітництво	Перехід до неперервного інноваційного процесу, віднесення витрат на НДДКР на собівартість продукції. Комерціалізація науки та науково-виробничої інтеграції. КА/ІС-технології. Комп'ютерне моделювання життєвого циклу продукції

Аналізуючи ключові фактори технологічних укладів, можна зробити наступні висновки.

1. Відкриття нового, більш ефективного енергоресурсу веде до зміни технологічного укладу: вугілля ефективніше за дрова, а нафта ефективніше за вугілля (в даний час вугілля, газ, уран використовуються тільки тому, що нафти недостатньо).

2. Відкриття менш ефективних, ніж нафта енергоресурсів – газу та урану, не привело до зміни технологічного укладу, не кажучи про ще менш ефективні альтернативні джерела, такі як біодизель, етанол, бітумінозні піски, сланцева нафта.

3. Відкриття нового виду енергії (електроенергія) та впровадження інноваційних машин, що використовують дану енергію, веде до зміни технологічного укладу.

Стає зрозуміло, що фундаментально зміна технологічних укладів залежить від відкриття нових більш ефективних, ніж вже наявних енергоресурсів.

Детальніше слід зупинитися на електроенергії, яка сама по собі є епохальною технологічною інновацією. Якщо другий і четвертий технологічні уклади прямо пов'язані з масштабним освоєнням знову відкритого енергоресурсу, то третій і п'ятий пов'язані з освоєнням електроенергії: електродвигун і електронні обчислювальні машини – це технології, що використовують електроенергію, подібно до того, як двигун внутрішнього згорання використовує нафту, а паровий двигун вугілля.

Електроенергія виробляється на різних видах електростанцій, що використовують різні первинні енергоресурси для отримання кінетичної енергії, яка використовується для обертання турбін, які виробляють електроенергію. Також, шляхом вироблення електроенергії є фотовольтаїка.

Електроенергія – це нова ланка в ланцюзі перетворення енергії в корисну для суспільства роботу. У випадку з двигуном внутрішнього згорання ми маємо двоступеневе перетворення: тепла енергія перетворюється в кінетичну енергію і далі в корисну роботу. У випадку з тепловою електростанцією ланцюжок продовжується: тепла енергія перетворюється в кінетичну енергію, далі в електроенергію і потім вже в корисну роботу.

Немає нічого дивного і особливого в тому, що саме нові енергоресурси або новий вид енергії забезпечують зміну технологічних укладів і ширше - сприяють науково-технічному прогресу. Все життя і діяльність людини – це енергообмін в найрізноманітніших видах. Виробництво і рух товарів, наука, культура і відпочинок – це все споживання енергії. Тому чим ефективнішим є енергоресурс, що використовується, тим ефективнішими є технології, і тим краще, швидше і якісніше виконується корисна для людини робота, а це і є визначення прогресу.

1.4 Енергетична безпека та збалансований розвиток

Безумовно, сьогодні ключовим індикатором благополуччя будь-якої країни є стан розвитку її економіки, рівень її економічної безпеки. Економічна безпека визначається внеском всіх її складових: соціальної, екологічної, військової, правової, енергетичної, інформаційної та інших сфер життя країни чи території, регіону (рис. 1.1).

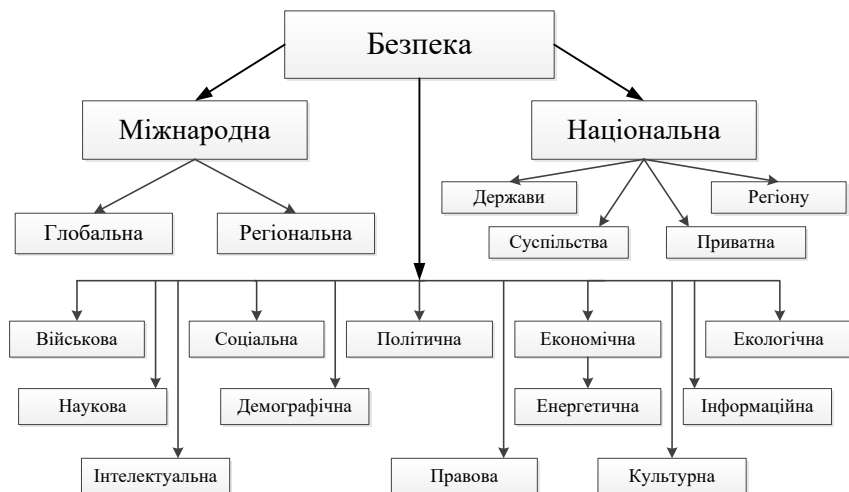


Рис. 1.1. Схема поняття «безпека»

На нинішньому рівні розвитку економіки енергетична сфера має вирішальний вплив як на інші складові сфери так і на економіку загалом. Забезпечення енергетичної безпеки стає одним з першочергових завдань для створення умов нормального функціонування всіх галузей сучасної економіки.

Енергетичну безпеку іноді розуміють як властивість технічної безпеки систем енергетики. Проте, енергетична безпека, ставить на меті гарантований захист особи, суспільства, держави від дефіциту паливноенергетичних ресурсів, тобто має більш широкий зміст, ніж поняття надійності, й виступає як економічна, політична й філософська категорія. Споживання енергії є обов'язковою умовою існування людства. Найчастіше розглядають такі основні поняття енергетичної безпеки, що доповнюються одне одним.

1. Енергетична безпека – це впевненість, що енергії буде у розпорядженні у тій кількості та тієї якості, що потрібні за даних економічних умов.

2. Енергетична безпека – це стан захищеності життєво важливих «енергетичних інтересів» особи, суспільства і держави від внутрішніх та зовнішніх загроз.

3. Енергетична безпека – це стан захищеності країни (регіону), її громадян, суспільства, держави та економіки від загрози дефіциту щодо забезпечення потреб в енергії економічно доступними паливно-енергетичними ресурсами прийнятної якості за нормальних умов і надзвичайних обставин, а також від загрози порушення стабільності паливої енергопостачання.

4. Енергетична безпека – це своєчасне, повне і безперебійне забезпечення паливом та енергією необхідної якості матеріального виробництва, невиробничої сфери, населення, комунально-побутових та інших споживачів, щоб уникнути шкідливого впливу на навколишнє середовище.

Дослідження енергетичної безпеки передбачають низку визначальних етапів, а саме:

- здійснення загального аналізу стану галузі;
- формування системи основних показників (індикаторів), що найбільш повно характеризують галузь і можуть відображати у ній зміни під впливом різних внутрішніх і зовнішніх факторів. Необхідний рівень енергетичної безпеки досягається за умови, що

весь комплекс показників (індикаторів) перебуває у допустимих межах своїх порогових значень.

- виявлення, аналіз та систематизація за визначальними ознаками і ступенем загрози енергетичній безпеці;
- визначення порогових величин індикаторів, перевищення яких призводить до виникнення негативних, руйнівних явищ у розглянутій області;
- обчислення фактичних значень індикаторів енергетичної безпеки і зіставлення їх з пороговими величинами;
- визначення значень інтегральних показників енергетичної безпеки;
- формування рекомендацій і заходів щодо попередження загроз і поліпшення показників енергетичної безпеки.

Одним з визначальних етапів дослідження енергетичної безпеки, як уже відзначалося, є ідентифікація загроз енергетичній безпеці. До них прийнято відносити події короткочасного або довготривалого характеру, які можуть дестабілізувати роботу енергокомплексу, обмежити або порушити енергозабезпечення, призвести до аварій та інших негативних наслідків для енергетики, економіки та суспільства.

Умовно загрози енергетичній безпеці поділяють на групи: економічні, соціальнополітичні, зовнішньоекономічні та зовнішньополітичні, техногенні та природні, а також загрози, пов'язані з недосконалістю управління. Всі перераховані групи загроз безпосередньо стосуються енергокомплексу України (рис. 1.2).

Забезпечення енергетичної безпеки можливе через розроблення виваженої та ефективної політики, яка повинна охоплювати:

- розроблення та реалізацію прозорої та дієвої нормативно-правової бази функціонування всіх галузей енергетики, що передбачає регулювання, координацію та контроль за діяльністю державних енергетичних систем, атомної енергетики і природних монополій;
- гарантованість і контроль з боку державних органів виконавчої влади та місцевих органів самоуправління щодо надійного енергозабезпечення всіх галузей економіки та населення в повному обсязі;

- створення економічних умов для забезпечення поставок енергоресурсів на внутрішні та зовнішні ринки;

- ефективне управління стратегічними запасами енергетичних ресурсів, яке передбачає: диверсифікацію постачання джерел енергоносіїв, запобігання нераціональному використанню енергоресурсів, узгодження темпів споживання вичерпних ресурсів із темпами освоєння поновлювальних джерел енергії, зростання частки атомної та гідроенергії у загальному балансі паливно-енергетичних ресурсів, перевірка якості та екологічної безпеки родовищ корисних копалин на відповідність до вимог законодавства та міжнародних стандартів;

- реалізація інвестиційної політики в національній енергетиці, що передбачає модернізацію застарілої технологічної бази паливно-енергетичного комплексу, розширення інфраструктури наукової, інженерно-технічної підтримки та супроводу експлуатації складного устаткування енергетичної галузі;

- встановлення технічних регламентів та розроблення стандартів і нормативів безпеки й ефективності роботи енергетичних об'єктів і установок, а також розроблення механізму державного нагляду за їх дотриманням.

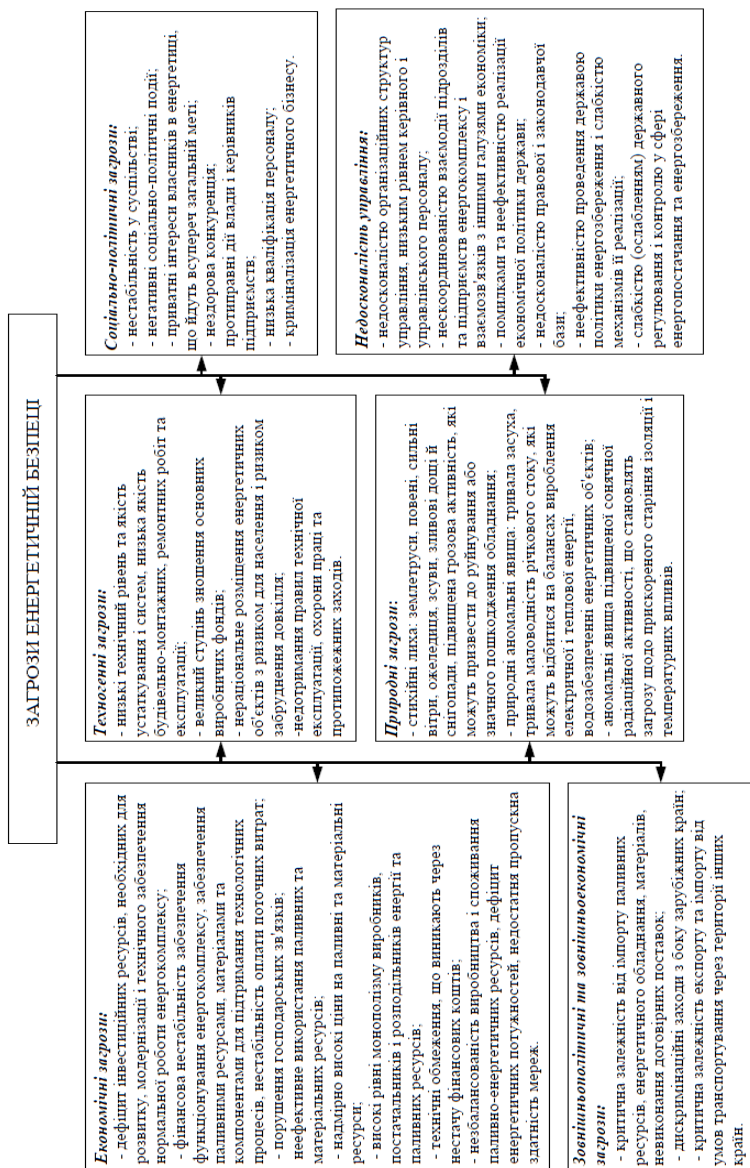


Рис. 1.2. Структура загроз енергетичній безпеці держави

1.5. Загальні поняття про альтернативні джерела енергії

Світові енергетичні ресурси величезні: потенційні геологічні запаси всіх видів мінерального палива на Землі оцінюються від 10 до 25 трлн т у.п., з яких сучасними екологічно безпечними способами можна добути лише близько 4 трлн т у.п. Велика частина (80 %) органічного палива припадає на вугілля. Крім мінеральних паливних ресурсів є ще так звані відновлювані й нетрадиційні, використання яких поступово збільшується. Значні перспективи пов'язують також з використанням запасів урану і торію, що можуть дати теплової енергії в сотні разів більше, ніж усі відомі запаси паливних корисних копалин.

1.5.1. Традиційна енергетика

У світі сьогодні існує достатньо відомий всім факт: енергія – основа життя на землі. Енергія завжди відігравала найважливішу роль в житті людини. З усіх галузей господарської діяльності саме енергетика чинить найбільший вплив на наше життя. Тепло і світло в будинках, транспортні потоки і робота промисловості – усе це вимагає неабияких затрат енергії. Людина завжди шукала нові способи перетворення енергії для своїх потреб, і технічний прогрес, що вона створила за останні два століття, перетворив її побут до невпізнання.

Серед усіх напрямів використання людиною паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) можна виділити такі найголовніші:

- транспорт;
- промисловість – металургія, хімічний синтез, виготовлення готових виробів;
- температурний контроль – опалення та охолодження приміщень, гаряче водопостачання;
- виробництво електроенергії, необхідної для роботи електромоторів, освітлення, побутової та промислової електроніки.

Під час оцінки світових енергетичних ресурсів необхідно враховувати рівень розвіданості їх запасів. Наведені вище цифри – це оцінки загальногеологічних запасів, що включають потенційні та прогнозовані запаси. Достовірні, або розвідані, а також промислові та балансові запаси, як правило, у багато разів менші. Напри-

клад, з 15 трлн т світових запасів вугілля розвідані запаси становлять лише 1,5 трлн т (10 %).

Загальногеологічні запаси поступово перетворюються в достовірні. Однак цей процес досить тривалий і стає все більш дорогим: розвідка копалин відбувається за рахунок родовищ палива, розташованих у місцях віддалених від місць споживання, переважно малодоступних і малообжитих районах, а також на великих глибинах і морських акваторіях. Це призводить до ускладнення видобутку палива і, як наслідок, його здорожчання. Нарощування обсягів видобутку випереджає приріст запасів. Необхідно також враховувати те, що при сучасному рівні розвитку техніки з надр Землі видобувається лише частина наявних запасів мінерального палива. Так, для кам'яного вугілля шахтної видобутку ця частина становить близько половини, для нафти – третину, для природного газу – 0,8. Нафту добувають зі свердловини до тих пір, поки цей процес рентабельний. Після цього свердловину виводять з чинного фонду незалежно від того, скільки нафти там залишилося. За оцінками фахівців, у 2015 р. світові потреби в ПЕР зросли на 54 % у порівнянні з 1995 р. Майже половина приросту споживання ПЕР (45 %) обумовлюється зростанням енергетичних потреб країн, що розвиваються, що називають «азіатськими драконами». Це обумовлено тим, що розвиток промислового сектора є основною ланкою їх швидкого економічного зростання (зокрема, Китаю та Індії). Споживання енергії в цих країнах до 2015 р. зросло на 44 %.

У 70-ті роки XX ст. багато економічно розвинених країн вступили у смугу так званої «енергетичної кризи», тобто відставання темпів видобування нафти від темпів її споживання. У результаті почався активний пошук шляхів економії енергії та її альтернативних джерел. У наш час невідповідність видобування енергоресурсів їх споживанню ще більша – ми споживаємо значно більше, ніж виробляємо. Загальне енергоспоживання має такий вигляд: нафтопродукти ~33 %, природний газ ~23 %, вугілля ~ 29 % у ядерне паливо ~4 %, гідроелектростанції ~7 % та інші відновлювані енергоресурси ~ 3 %. Враховуючи, що крім нафти використовуються такі види палива, як вугілля і природний газ, можна вважати, що понад 90 % всієї споживаної енергії виробляється з не відновлюва-

ної вуглеводневої сировини. На рис. 1.3 представлено структуру споживання енергоресурсів у світі.

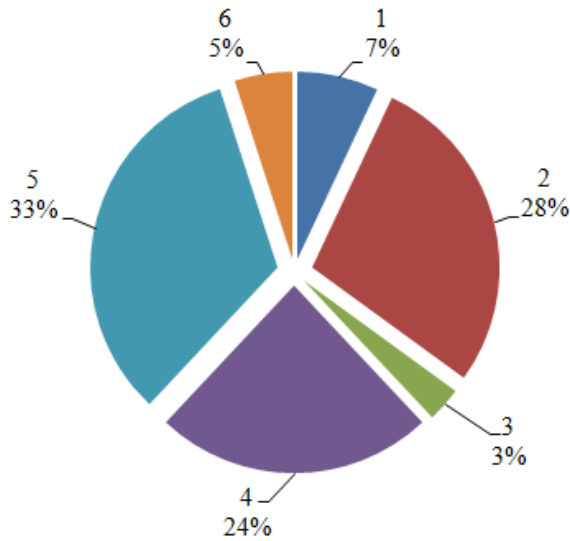


Рис. 1.3. Структура енергобалансу світу у 2018 р.:

1 – гідроенергетика, 2 – вугілля, 3 – відновлювана енергетика, 4 – природний газ, 5 – нафта, 6 – атомна енергія.

Родовища викопних видів палива на Планеті розташовані дуже нерівномірно. Близько третини потенційних світових запасів вугілля і газу та більше 20 % нафти знаходяться у Росії. Близько 35 % нафти і 17 % газу зосереджено на Середньому Сході. Великий потенціал вугілля, газу й нафти має Північна Америка. Ці три регіони володіють майже 70 % розвіданих світових запасів викопного палива. Ще не повністю оцінені великі поля родовищ нафти й газу, розташовані в районах континентального шельфу морів Північної півкулі. Розглянемо більш детально родовища основних викопних видів палива на планеті.

Вугілля

На Землі відомо понад 3600 вугільних басейнів і родовищ, які займають 15 % її території. Велика частина вугільних ресурсів світу припадає на Азію, Північну Америку і Європу і зосереджена в десяти найбільших басейнах. Найпотужніші поклади вугілля зосереджені в таких країнах: Росія – близько половини світових запасів, Китай – 1,5 трлн тон, США – близько 3 млрд. Найбільшим експортером вугілля на сьогодні вважається Австралія, яка постачає на світовий ринок майже третину потрібного людству вугілля. У всьому світі електростанції, які працюють на вугіллі, виробляють 40 % електричної енергії. Застосування новітніх технологій дозволяє розширити його використання. Зараз видобуток вугілля в країнах світу становить: Китай – 1290 млн т, США – 935 млн т, Індія – 286 млн. т, Росія – 263 млн т, Німеччина – 246 млн т, Австралія – 243 млн т, ПАР – 204 млн т, Польща – 198 млн т, Чехія – 90 млн т, Україна – 80 млн т.

Нафта

На земній кулі розвідано понад 600 нафтогазоносних басейнів, 450 з них розробляються. Загальна кількість нафтових родовищ сягає 35 тис. Основні запаси знаходяться в північній півкулі, велика частина їх сконцентрована в небагатьох найбільших басейнах. Міжнародним енергетичним агентством загальносвітові геологічні запаси нафти оцінені в 200 млрд т, достовірні – 120 млрд т. Нафтоносні площі світу становлять 32 млн км². Найбільші ресурси нафти зосереджені в таких країнах: Саудівська Аравія – 23 млрд т, Мексика – 20 млрд т, ОАЕ, Кувейт, Ірак – по 13 млрд т, Іран – 12 млрд т, США – 4 млрд т, Венесуела – 3,7 млрд т, Лівія – 3 млрд т, Нігерія – 2,2 млрд т, Великобританія – 2 млрд т, Норвегія – 1,3 млрд т, Алжир, Канада – по 1 млрд т. У Росії зосереджено понад 10 млрд т нафти, яка становить 8 % світових запасів. Деякі з геологів стверджують, що лише в Тюменської області знаходиться близько 14 млрд т нафти. Достовірні запаси нафти постійно зростають. Так, за останні 20 років вони зросли на 56 % (з 770 до 1200 млрд барелів). Обсяг видобутку нафти – чи то з окремої свердловини, чи по всій країні – спочатку зростає до максимуму, поки не вичерпа-

ється половина підземних запасів. Після цього видобуток поступово скорочується майже до нульової позначки.

Для світової економіки важливо не те, коли вичерпаються всі запаси нафти, а те, коли почнеться скорочення її видобутку. Якщо видобуток буде падати, а попит буде підніматися, то ціни на нафту різко зростуть або будуть дуже нестабільними. Це може привести до економічного хаосу, проблем з перевезенням продуктів та інших товарів і навіть війн між країнами за родовища нафти. Щоб цього не сталося, необхідно відкривати нові поклади нафти. Але вже зараз обсяг покладів, які відкриваються, не здатний покрити витрати: щорічний приріст запасів становить 0,8 %, а приріст щорічних витрат – 2 % від світових запасів.

За свою історію людство вже використало 100 млрд т нафти. Щороку видобувається і використовується 3 млрд т нафти, з яких 1 млрд т використовують США. Кожен день світ споживає 86 млн барелів нафти, з яких 20 – США. Якщо теперішні темпи видобутку нафти не знизяться, то її підземних запасів вистачить ще на 40 років. Для регулювання цін на нафту нафтовидобувні країни створили організацію країн-експортерів нафти (ОПЕК). Членами цієї організації є країни, економіка яких залежить від доходів від експорту нафти: Іран, Ірак, Кувейт, Саудівська Аравія, Венесуела, Катар, Індонезія, Лівія, ОАЕ, Алжир, Нігерія, Ангола. Мета ОПЕК: координація діяльності та вироблення спільної політики щодо видобутку нафти серед країн-учасниць організації з метою підтримки стабільних цін на нафту, забезпечення стабільних поставок нафти споживачам. Розміри підтверджених запасів нафти ОПЕК постійно зростають. Так, якщо в 1970 р. вони становили 412 млрд барелів і до цього часу було видобуто 374 млрд барелів, то сьогодні ОПЕК має запаси в 903 млрд барелів. Тільки Саудівська Аравія володіє приблизно 80 родовищами нафти, з яких експлуатується лише дев'ять.

Природний газ

Світові розвідані запаси природного газу оцінюються в 100 трлн м³. Найбільші його поклади зосереджені в таких країнах: Росія – близько третини світових запасів, Іран – 13,5 трлн м³, США –

6 трлн м³, Алжир – 3,5 трлн м³, Канада – 3,3 трлн м³, Норвегія – 3,0 трлн м³, Мексика – 2,5 трлн м³, Нідерланди – 2,0 трлн м³, Венесуела – 1,8 трлн м³, Малайзія – 1,5 трлн м³, Індонезія – 1,2 трлн м³, Великобританія – 1,1 трлн м³, Аргентина – 0,8 трлн м³.

Найбільш ймовірні відкриття нових родовищ природного газу пов'язують з районом Перської затоки, північної Канади, Південно-Східної Азії, північного шельфу Австралії, шельфу США, Північного і Норвезького морів і іншими районами, де нині проводяться необхідні геологорозвідувальні та бурові роботи. Але необхідно відзначити, що нині різні фахівці оцінюють кількість запасів природного газу на основі різних припущень. Тому точно визначити реальні його запаси досить важко.

Використання природного газу постійно збільшується з огляду на те, що його вплив на навколишнє середовище є менш згубним, ніж за використання інших видів палива. Проте слід зазначити, що головною складовою природного газу є метан, який посилює парниковий ефект в 21 разів сильніше, ніж вуглекислий газ. Тому зменшення викидів шкідливих речовин через більш широке використання природного газу призведе до подальшого нарощування парникового ефекту. Потреби в природному газі будуть зростати найбільш динамічно (щорічно на 3 %). Найбільше споживання газу передбачається в країнах, що розвиваються.

Уранова сировина

У всьому світі налічується приблизно 450 атомних реакторів, що виробляють 16 % усієї електричної енергії. Щорічно вводяться в дію десятки атомних реакторів. Атомна енергетика і далі залишається перспективною попри те, що на АЕС трапляються аварії, як, наприклад, в Чорнобилі в 1986 р.. Уран є головним енергоносієм для АЕС. Відомості про запаси урану мають орієнтовний характер, оскільки важко судити про реальність оціночних даних. На основі сучасного рівня вивчення залягання покладів урану можна виділити такі уранові провінції: Канадський геологічний щит, Скелясті гори, Південна Америка, Західна, Південна і Східна Європа, Центральна Азія, Центральна і Південна Африка, Австралія. Провідні місця у видобутку урану займають США, Канада, ПАР,

Австралія, Франція, Росія, Україна. Крім цих країн, уран видобувається також у Бразилії, Мексиці, Казахстані, Аргентині, Індії, Пакистані, Китаї, Мозамбіку, Габоні, Конго, Заїрі, Великобританії, Португалії.

Україна має значні природні ресурси та унікальне для Європи навколишнє середовище, але водночас є однією з найбільш екологічно забруднених країн регіону. Неефективне управління довкіллям в минулому спричинило зростаючу кількість природних катастроф протягом останніх років, а також призвело до погіршення стану здоров'я населення. На сьогодні Україна є однією з країн світу, де енергія використовується найменш ефективно.

Україна задовольняє власні потреби в енергоресурсах менше, ніж наполовину. Сьогодні структура видобутку енергетичних корисних копалин в нашій державі виглядає таким чином: з майже 40 млрд. м³ спожитого в 2016 р. природного газу видобуто було лише близька 20 млрд. м³; частка імпорту нафтопродуктів в Україну в 2016 р. склала 80 %; протягом того ж року на українських шахтах було видобуто 40,8 млн т вугілля, при цьому обсяг імпортованого вугілля склав 15,6 млн т.

Енергетичний потенціал України складається з природних корисних копалин, водних ресурсів і нетрадиційних джерел енергії. У її енергетичному балансі переважає природний газ, вугілля та атомна енергія, при цьому природний газ та уран Україна здебільшого імпортує з Росії або транзитом через цю країну, що робить її енергетично залежною. У структурі постачання первинної енергії споживачам в Україні за останні роки найбільший обсяг припадає на вугілля – 32,6 %, обсяг постачання природного газу становить 28 %, нафти – 12,1 %, атомної енергії – 23,3 %, гідроресурсів та інших відновлювальних джерел енергії – 4 %. Рівень енергозабезпечення країни характеризує показник питомого споживання первинної енергії на одну людину. Енергозабезпечення України у 2005 році дорівнювало 4,3 т умовного палива на одну людину, тоді як у США – 15,6 т у.п./люд.

Технологічний рівень країни характеризується показником споживання електричної енергії на одну людину. Питоме споживання

вання електроенергії в Україні становило 3789 кВт·год/люд., що у 2–3 рази нижче, ніж у розвинутих країнах світу.

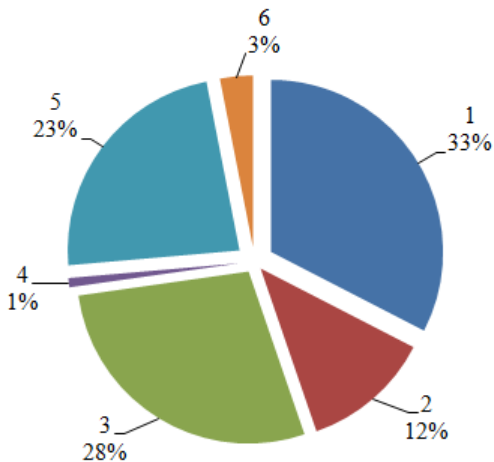


Рис. 1.4. Структура постачання первинної енергії в Україні у 2018 р.:

1 – вугілля і торф, 2 – нафта, 3 – природний газ, 4 – гідро-, вітрова та сонячна енергія, 5 – атомна енергія, 6 – біопалива та відходи.

Головним споживачем нафтопродуктів сьогодні залишається транспорт; ядерне паливо слугує лише для виробництва електрики і не може використовуватися на транспорті. Поява нового джерела енергії не виправить становища, якщо енергію з цього джерела не можна буде використовувати там, де сьогодні використовують нафту. Отже, головною енергетичною проблемою у світі є проблема виснаження запасів нафти.

Основою електроенергетики світу поки що є теплова енергетика, тобто ТЕС, у яких використовується органічне паливо (вугілля, мазут, природний газ). Нові розробки щодо підвищення економічності та безпеки ТЕС для довкілля спрямовані як на покращення технічних показників топків, застосування киплячого шару тощо, так і на використання комбінованого парогазового циклу, що дає можливість суттєво підвищити ККД. Використання газу дозво-

ляє значно зменшити кількість небезпечних викидів у навколишнє середовище, однак внаслідок обмеженості ресурсів та інших причин газ спалюють переважно у години пікових навантажень.

Неможливість відмовитися від спалювання на ТЕС вугілля, що є найбільшим забруднювачем довкілля, може бути компенсована застосуванням нових технологій газифікації вугілля. Широкому впровадженню останніх заважають високі витрати капіталу. У розвинутих країнах застосовується практика комбінованого використання різних типів палива. Перша комерційна парогазова установка з прямоточним котлом-утилізатором була введена в експлуатацію у 2000 р. на ТЕС. Вона розрахована на спалювання зрідженого природного газу і приблизно на 40 % економічніша за інші, має нижчі викиди CO_2 і концентрацію оксидів азоту у газах завдяки денітрифікаційній станції. Тоді як головною тенденцією енергетики провідних країн світу є перехід на парогазові турбіни, що працюють на газі, поступове падіння частки вугілля стало головною проблемою енергетиків. Але й американські, і європейські спеціалісти розуміють, що тривале забезпечення їх країн електроенергією має базуватися на використанні вугілля, запаси якого суттєво перевищують запаси природного газу.

Таким чином, статус-кво, що склався останнім часом між основними постачальниками енергоносіїв, не може бути тривалим, оскільки потреби в енергії зростають, передусім через країни, що розвиваються. Гідроенергетичні ресурси обмежені. Широко впроваджена атомна технологія не має підтримки у населення, а також використовує уран, ресурси якого обмежені. Проблема обмежених ресурсів викопного органічного палива ще гостріша, тому що найбільш цінне енергетичне джерело – газ – має вичерпатись у першу чергу. З іншого боку, використання органічного палива спричинює значні викиди у довкілля як CO_2 (небезпека глобального потепління), так і токсичних SO_2 і NO_x , а також пилу. Це і є головні причини виникнення глобальної енергетичної кризи.

1.5.2. Альтернативна енергетика

Альтернативні джерела енергії це будь-які джерела енергії, що є альтернативою викопному паливу. Такі джерела енергії по-

кликані на вирішення проблем, пов'язаних з виробництвом та використанням викопних видів палива.

Думки вчених на тему того, що ж являють собою альтернативні джерела енергії та можливі шляхи їх використання значно змінилися з часів, відколи було введено це поняття. Сьогодні, коли існує велике різноманіття джерел енергії, так само як і способів їх отримання та застосування, поняття «альтернативна» є досить неоднозначним та суперечним.

У загальному розумінні, поняття «альтернативна енергія», як воно трактується на даний момент, це енергія, що виробляється або відновлюється без небажаних наслідків, властивих використанню традиційних видів палива, зокрема великих викидів вуглекислого газу, що є важливим чинником глобального потепління. Найбільш популярними визначеннями поняття «альтернативної енергії» є:

- енергія, що живиться способами без використання природних ресурсів і яка не завдає шкоди навколишньому природному середовищу;

- енергія, отримана з джерел, що не використовують природні ресурси або не завдає шкоди навколишньому природному середовищу;

- енергія, одержувана з нетрадиційних джерел (наприклад, стиснений природний газ, сонячна радіація, гідрологічні ресурси, вітер та ін.);

- енергія, що не широко використовується і, як правило, є екологічно безпечною, така як сонячна або вітрова енергія (на відміну від викопних видів палива);

- джерела палива, відмінні від тих, що отримують з корисних копалин. Зазвичай є взаємозамінними з *відновлюваними джерелами енергії*. Прикладами є: енергія вітру, сонця, біомаси, енергія хвиль та припливів;

- енергія, отримана з сировини, альтернативної корисним копалинам. Не обов'язково є *відновлюваною*.

Основні причини, що вказують на важливість якнайшвидшого переходу до альтернативних джерел енергії:

- глобально-екологічні: сьогодні загальновідомий і доведений факт згубного впливу на навколишнє середовище традиційних енергодобиваючих технологій (у т.ч. ядерних і термоядерних), їх застосування неминуче веде до катастрофічного зміни клімату вже в перших десятиліттях XXI століття;

- політичні: та країна, що першою в повній мірі освоїть альтернативну енергетику, здатна претендувати на світову першість і фактично диктувати ціни на паливні ресурси;

- економічні: перехід на альтернативні технології в енергетиці дозволить зберегти паливні ресурси країни для переробки в хімічній та інших галузях промисловості. Крім того, вартість енергії, виробленої багатьма альтернативними джерелами, вже сьогодні нижче вартості енергії з традиційних джерел, та і терміни окупності будівництва альтернативних електростанцій істотно коротше. Ціни на альтернативну енергію знижуються, на традиційну - постійно зростають;

- соціальні: чисельність і густина населення постійно зростають. При цьому важко знайти райони будівництва АЕС, ГРЕС, де виробництво енергії було б рентабельно і безпечно для навколишнього середовища. Загальновідомі факти зростання онкологічних і інших важких захворювань у районах розташування АЕС, великих ГРЕС, підприємств паливно-енергетичного комплексу, добре відомий шкоду, що наноситься гігантськими рівнинними ГЕС, – все це збільшує соціальну напруженість;

- еволюційно-історичні: у зв'язку з обмеженістю паливних ресурсів на Землі, а також експоненціальним наростанням катастрофічних змін в атмосфері та біосфері Планети існуюча традиційна енергетика представляється тупиковою; для еволюційного розвитку суспільства необхідно негайно розпочати поступовий перехід на альтернативні джерела енергії.

1.5.3. Відновлювана енергетика

Відновлювані джерела енергії (ВДЕ) є соціально та політично визначена категорія джерел енергії. Відновлювана енергія, як правило, визначається як енергія, отримана з ресурсів, що постійно поповнюються в людських масштабах часу, таких як

гідро, сонячна, вітрова, геотермальна, гідравлічна енергії, енергія морських течій, хвиль, припливів, температурного градієнта морської води, різниці температур між повітряною масою і океаном, тепло Землі, біомаса тваринного, рослинного і побутового походження. Існує фундаментальна привабливість у використанні цих природних сил, що оберігають навколишнє середовище від ефектів горіння органічного палива.

З усього перерахованого тільки енергія падаючої води в річках набула широкого поширення для перетворення в електроенергію. Основне застосування сонячної енергії, завдяки фотосинтезу, людство знайшло в сільському господарстві і лісівництві, але все частіше її починають використовувати для опалення. Біомаса спалюється для одержання енергії, збільшується використання зерна для отримання автомобільного палива. Масштаби використання інших видів природної енергії в даний час набагато менші.

До останнього часу в розвитку енергетики простежувалася чітка закономірність: розвиток отримували ті напрями енергетики, що забезпечували досить швидкий прямий економічний ефект. Пов'язані з цими напрямками соціальні та екологічні наслідки розглядалися лише як супутні, і їх роль у прийнятті рішень була незначною. При такому підході відновлювані джерела енергії розглядалися лише як енергоресурси майбутнього, коли будуть вичерпані традиційні джерела енергії або коли їх видобуток стане надзвичайно дорогим та трудомістким. Так як це майбутнє видавалося досить віддаленим, то використання ВДЕ уявлялося досить цікавим, але скоріше екзотичним, ніж практичним, завданням.

Ситуацію різко змінило усвідомлення людством екологічних меж зростання. Швидке зростання негативних антропогенних впливів на навколишнє середовище веде до істотного погіршення середовища проживання людини. Підтримання цього середовища в нормальному стані і можливість його до самозбереження, стає однією з пріоритетних цілей життєдіяльності суспільства. У цих умовах колишні, тільки вузько економічні оцінки різних напрямків техніки, технології, господарювання, очевидно стають недостатніми,

адже вони не враховують соціальні та екологічні аспекти. Імпульсом для інтенсивного розвитку відновлюваних джерел енергії вперше стали не перспективні економічні прогнози, а громадський натиск, заснований на екологічних вимогах. Думка про те, що використання відновлюваних джерел енергії істотно поліпшить екологічну ситуацію в світі – ось основа цього натиску. Основна перевага ВДЕ – невичерпність та екологічна чистота. Їх використання не змінює енергетичний баланс планети. Ці якості і послужили причиною бурхливого розвитку відновлюваної енергетики за кордоном і вельми оптимістичних прогнозів їх розвитку в найближчому десятилітті. Близько 16 % кінцевого споживання енергії в світі надходить з відновлюваних ресурсів. З них 10 % всієї енергії отримується з традиційної біомаси, що використовується в основному для опалення, а 3,4 % належить гідроелектроенергії (рис. 1.5). Нові ВДЕ (малі ГЕС, сучасна біомаса, вітер, сонце, геотермальні джерела, біопалива) складають разом ще 3 % і швидко розвиваються.

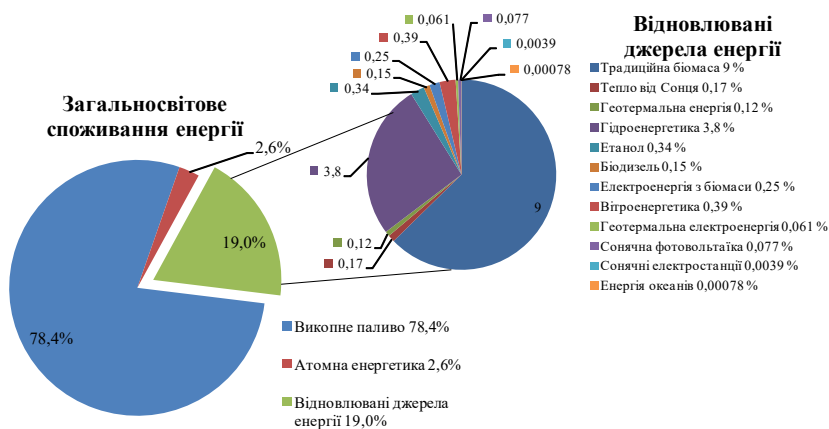


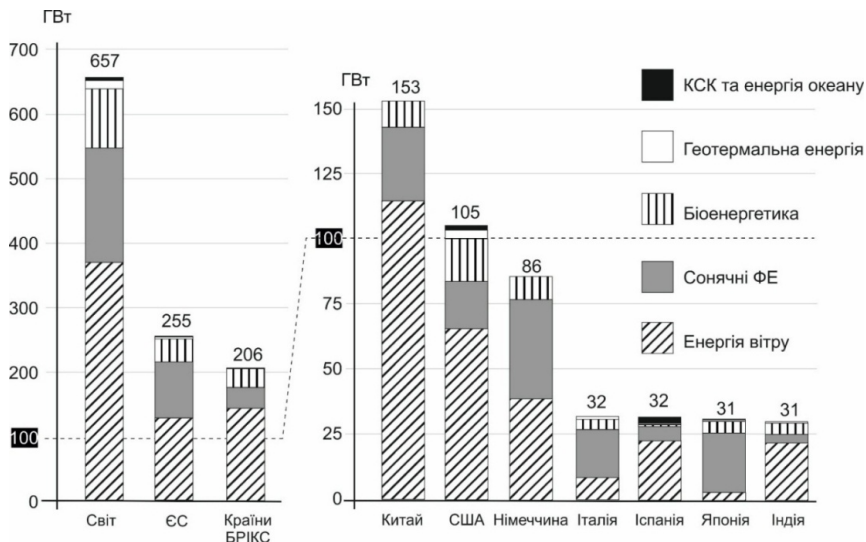
Рис. 1.5. Структура споживання енергії у світі станом на 2018 р

Внесок ВДЕ до загального виробництва *електроенергії* в світі становить майже 23 %, при цьому лівова частка припадає на гідроенергію – 16,6 %. З інших ВДЕ найбільша частка у вітроенергії – 3,1 %, за якою слідує біомаса – 1,8 %. Найкрупнішими виробниками «зеленої» електроенергії є 7 країн, сумарні потужності яких складають 71,5 % світових (470 ГВт, без врахування гідроенергії): Китай, США, Німеччина, Італія, Іспанія, Японія, Індія (рис. 1.6).

Теплова енергія становить близько половини кінцевого енергоспоживання в світі. Більше чверті потреби в тепловій енергії забезпечується через відновлювані джерела, зокрема 17 % дає традиційна біомаса, 7 % – сучасна біомаса і лише 1 % – інші сучасні ВДЕ.

Однією з найважливіших характеристик ВДЕ є їх енергетичний потенціал – показник, який визначає кількість енергії, властивій відповідному виду ВДЕ. Для оцінки можливих обсягів використання енергетичних ресурсів ВДЕ енергетичний потенціал по вітчизняній класифікації поділяють наступним чином:

- теоретичний або теоретично-можливий потенціал ВДЕ – загальна кількість енергії, яким характеризується кожне із джерел відновлюваної енергії;
- технічний або технічно-досяжний потенціал ВДЕ – частина енергії загального потенціалу, що можна реалізувати за допомогою сучасних технічних пристроїв;
- економічно-доцільний потенціал ВДЕ – частина енергії загального потенціалу, що доцільно використовувати, враховуючи економічні, соціальні, техніко-технологічні та політичні чинники.



КСК – концентруючі сонячні колектори, ФЕ – фотоелектричні елементи

Рис. 1.6. Встановлена електрична потужність ВДЕ у світі без врахування гідроенергії (2018 р.)

Теоретичний або теоретично-можливий енергетичний потенціал ВДЕ визначається за відповідними методиками з урахуванням багаторічних статистичних даних щодо надходження або наявності кожного з видів ВДЕ на відповідних територіях. Теоретичний потенціал низки видів ВДЕ залежить в першу чергу від кліматометеорологічних умов і в середньому вважається незмінним – енергія Сонця, вітру та води; тоді як енергетичний потенціал такого виду ВДЕ, як енергія відходів біомаси, залежить від господарської діяльності людини і визначається щорічно з урахуванням цього фактора. Теоретичний енергетичний потенціал ВДЕ є базовим для визначення технічного і економічного енергетичного потенціалу ВДЕ.

Технічний або технічно-досяжний потенціал ВДЕ визначається з урахуванням стану сучасного розвитку технічної та техно-

логічної бази відновлюваної енергетики та, як правило, встановлюється на певний термін – 5–10 років. Крім того, при проведенні розрахунків технічного енергетичного потенціалу ВДЕ враховується також стан економічного розвитку країни – показники технічного енергопотенціалу залежать від можливості закупівлі та впровадження найбільш сучасної світової техніки і технологій або необхідності орієнтації на власний рівень розвитку.

Економічний або економічно-доцільний потенціал ВДЕ є найбільш складним для розрахунків, так як при його визначенні необхідно враховувати цілий ряд факторів – стан економічного розвитку, соціальні, техніко-технологічні та політичні чинники країн і територій. Для держав, що характеризуються нестабільністю в даних сферах, показники економічного потенціалу можуть мати значні розбіжності у різних авторів.

Необхідність широкого використання ВДЕ визначається швидким зростанням потреби в електричній енергії; вичерпанням у видимому майбутньому розвіданих запасів органічного палива; кризовим станом довкілля в зв'язку із забрудненням оксидами азоту і сірки, вуглекислим газом, пилоподібними частинками від згорання палива, радіоактивним і тепловим забрудненням тощо.

Сьогодні загалом можна виділити п'ять основних причин, що зумовили розвиток ВДЕ:

- забезпечення енергетичної безпеки;
- збереження навколишнього середовища та забезпечення екологічної безпеки;
- завоювання світових ринків ВДЕ, особливо в країнах, що розвиваються;
- збереження запасів власних енергоресурсів для майбутніх поколінь;
- збільшення споживання сировини для неенергетичного використання палива.

У той час як більшість проектів з використання відновлюваної енергії є великомасштабними, технології використання відновлюваних джерел також є підходящими для сільських та віддалених регіонів, де енергія часто має вирішальне значення для існування та розвитку людини.

ВДЕ, що прямо або опосередковано отримують свою енергію від сонця, наприклад, гідро- та вітрова енергія, потенційно, будуть здатні забезпечувати людство енергією ще протягом майже 1 млрд років, до того часу, коли прогнозоване збільшення сонячного випромінювання зросте до такого рівня, що поверхня Землі стане занадто гарячою для існування.

Окрім очевидних перевах відновлюваних джерел енергії існують і певні недоліки, що характерні кожному з них. Так, якщо фундаментальна властивість відновлювальності джерел енергії полягає в їх доступності та широкій поширеності, то фундаментальна проблема пов'язана з їх нестабільністю та недостатньою передбачуваністю. Виняток становить геотермальна енергія, що не широкодоступною. Це означає, що повинні існувати або дублюючі джерела електроенергії, або способи її накопичення у великих масштабах (накопичення гідроенергії у водосховищах, стисненого повітря в резервуарах або акумулювання енергії).

1.5.4. Збалансована енергетика

Під поняттям *збалансована енергетика* сьогодні розуміється стабільне забезпечення енергією, що дає змогу задовольняти потреби нинішнього покоління та не перешкоджаючи майбутнім поколінням задовольняти свої енергетичні потреби. Технології, що сприяють розвитку збалансованої енергетики мають на увазі використання відновлюваних джерел енергії, таких, як гідроенергетика, сонячна енергія, енергія вітру, енергії хвиль, геотермальна енергія, штучний фотосинтез, енергія припливів та відпливів, а також реалізація технологій, спрямованих на підвищення ефективності використання енергії.

Енергоефективність та відновлювані джерела енергії, сьогодні вважаються двома основоположними складовими збалансованої енергетики. Нижче наведено найбільш поширені визначення збалансованої енергетики.

1. «Забезпечення енергією таким чином, що дає змогу задовольняти потреби нинішнього покоління та не перешкоджаючи майбутнім поколінням задовольняти свої енергетичні потреби.

...Стіяка енергетика має два основні компоненти: відновлювані джерела енергії та енергоефективність».

2. «Динамічна рівновага між об'єктивною доступністю енергоємних товарів і послуг для всіх людей та збереженням землі для майбутніх поколінь», і «...рішення полягає в пошуку збалансованих джерел енергії та більш ефективних способів перетворення і використання енергії».

3. «Будь-які джерела виробництва енергії, її ефективного використання та збереження, де: ресурси, доступні у великих масштабах для забезпечення виробництва великої кількості енергії протягом тривалого терміну, близька 100 років».

4. «Енергія, що може бути поновленою протягом життя людини і не наносить довготривалої шкоди навколишньому середовищу».

Подібні підходи та визначення виокремлюють поняття сталої енергетики серед термінології стосовно інших відновлюваних джерел енергії, таких як альтернативні джерела енергії, та зосереджують увагу на здатності збалансованої енергетики продовжувати забезпечення енергією протягом багатьох років. У той же час виробництво та використання збалансованої енергетики може бути джерелом деякого незначного забруднення навколишнього середовища. Слід також зазначити, що збалансована енергетика також відрізняється від *низьковуглецевої енергетики*, що є збалансованою лише в тому сенсі, що її виробництво і використання не збільшує кількість вуглекислого газу в атмосфері.

Зеленою енергетикою називають ті види енергії, що можуть видобуватися (отримуватися) та/або споживатися без значного негативного впливу на навколишнє середовище. Наша планета має природну здатність до відновлення. А це в свою чергу означає, що забруднення, яке не виходить за межі цієї можливості можна трактувати як «зелене».

Зелена енергетика являє собою сукупність поновлюваних джерел енергії і представляє ті джерела та технології, які здатні забезпечувати найвищу екологічну вигоду. Агентство США з охорони навколишнього середовища визначає зелену енергетику як енергію, отриману переробкою енергії сонця, вітру, геотермальної

енергії, біогазу, біомаси, та малогабаритних гідроелектростанцій. Усе частіше виробники купують зелену енергію з метою уникнення або мінімізації впливу на навколишнє середовище, а також завдяки її перевагам відносно скорочення викидів парникових газів.

1.6. Класифікація джерел енергії, їх види

Джерела енергії (енергетичні ресурси) – це матеріальні об'єкти, в яких зосереджена енергія, придатна для практичного використання людиною.

Зважаючи на велике різноманіття існуючих сьогодні джерел енергії їх класифікують за різними ознаками (у залежності від їх походження, технологічних процесів отримання, компонентного складу та ін.). Відповідно до стану переробки енергетичні ресурси поділяються на первинні (природні) та вторинні. Загальна класифікація джерел енергії представлена на рис. 1.7.

Первинні (природні) енергетичні ресурси – це мінеральна сировина, що володіє запасом хімічної енергії в частині, що не складає матеріальну основу готового продукту, тобто не є сировиною, а використовується як джерело енергії. Іншими словами, первинні джерела енергії – це природні ресурси, що ніколи не перероблялися і не перетворювалися. Наприклад, сира нафта, природний газ, вугілля, горючі сланці, вода річок і морів, гейзери, вітер тощо. Крім того, до первинної енергії відноситься ядерна, сонячна, а також хімічно зв'язане тепло шихти деяких руд.

Первинні ресурси можна поділити на:

- *природні*, що утворюються внаслідок геологічного розвитку землі та інших природних процесів;
- *облагороджені*, отримані в процесах облагороджування або збагачення природного енергетичного ресурсу без зміни його фізичної основи;
- *перероблені*, що отримують у процесі переробки природного енергетичного ресурсу зі зміною його фізико-хімічної основи, але без зміни агрегатного стану;
- *перетворені*, що отримують в процесі перетворення природного або переробленого енергетичного ресурсу зі зміною його фізико-хімічної основи й агрегатного стану.



Рис. 1.7. Класифікація джерел енергії

Вторинні енергетичні ресурси – енергетичний потенціал продукції, відходів, побічних і проміжних продуктів, що утворюється в технологічних агрегатах (установках, процесах) і не використовується в самому агрегаті, але може бути частково чи повністю використаний для енергопостачання інших апаратів (процесів). Прикладами вторинних джерел енергії можуть бути тепло пари, гарячої води, газу і палив, що отримується в основному технологічному процесі як вторинний (допоміжний) продукт, що можна використати для господарських потреб. При цьому регенерація тепла розглядається як першочерговий напрямок утилізації.

Використання вторинних енергоресурсів передбачає не тільки економію палива, і інтенсифікацію технологічних процесів, захист оточуючого середовища від забруднення технологічними викидами і шкідливими газами, а також підвищення економічності промислового виробництва в цілому. На сьогодні відмовлення від планування заходів щодо використання вторинних енергоресурсів як для діючих, так і для проєктованих підприємств, у кожному окремому випадку, може мати місце тільки за умови доведеної технічної неможливості утилізації або неекономічності їхнього використання.

Первинні джерела енергії поділяють на відновлювані та не відновлювані (рис. 1.7). Їх співвідношення у загальній структурі виробництва та споживання енергоресурсів змінюється від країни до країни. Це зумовлюється багатьма факторами, такими як рівень економічного та науково-технічного розвитку, наявність та доступність сировинної бази, кліматичні та географічні умови, та ін.

Невідновлювані (традиційні) джерела енергії – це природньо утворені й накопичені в надрах Планети запаси речовин, здатних за певних умов звільняти енергію, що міститься в них. Ці запаси відомі як корисні копалини. Вони утворюються переважно з рослинної маси, але містять також певну кількість білкових і жирових речовин тваринного походження. Прикладом невідновлюваних енергоресурсів є викопне органічне паливо (вугілля, нафта, природний газ, торф, горючі сланці).

Нафта – природне рідке паливо, що є сумішшю рідких вуглеводнів з молекулярними масами з різних груп. Крім того, у ній міститься деяка кількість рідких кисневих, сірчистих і азотистих сполук. Нафта – це продукт розкладання одноклітинних рослин і організмів, що існували сотні мільйонів років тому. Гинучи, вони формували відкладення на глибинах від 30 метрів до 8 кілометрів. Приблизно 90 % усієї нафти, що видобувається, використовують для виробництва моторних палив, решту застосовують для одержання нафтохімічних продуктів.

Природний газ – є третім за величиною джерелом енергії. Відомо, що 25 % енергії у світі виробляється з природного газу. Вміст енергії в природному газі високий, майже такий самий, як у

нафті. Природний газ використовується як паливо для електростанцій, побутове паливо, як сировина для промисловості тощо. Природний газ є найчистішою формою невідновної енергії: у ньому дуже низький вміст отруйних речовин, він згоряє дуже швидко, простий у використанні. Проте проблеми викидів вуглекислого газу при використанні природного газу залишаються.

Торф є найменш сформованою формою вугілля, що досить сильно зберегла риси рослинного походження і складається з води (90 %), вуглецю (5 %) та летючих матеріалів (5 %). Можливе його використання на ТЕС, безпосереднього як палива, фрезерного торфу як сировини для газифікації та брикетування торфу для забезпечення населення місцевим паливом. Але останній вважається низькоефективним завдяки великому вмісту води. Торф є цінною сировиною для хімічної і біохімічної промисловості, медицини, машинобудування, будівництва і ряду інших галузей.

Вугілля, як непоновлюване енергоджерело було використане першим. Вугілля зручне для виробництва електрики й інших промислових процесів. Слід відмітити, що в більшості розвинених країн видобуток вугілля протягом останніх десятиліть значно скоротився, а деякі країни взагалі відмовилися від його видобутку. Видобуток вугілля ведеться двома способами. Економічно вигідний – відкритий. Після видобутку вугілля необхідно проводити рекультивацию території, що суттєво збільшує вартість вугілля. Якщо вугілля знаходиться досить глибоко, його видобувають підземним способом у шахтах.

Бітумінозні піски мають промислово значимі вмісти нафти. Технологія видобутку і вилучення нафти з пісків полягає у екскаваторному видобутку пісків, подрібненні, транспортуванні на заводи та подальшій переробці. Сировину, отриману з бітумінозних пісків широко використовують для одержання нафтових фракцій лігроїну, керосину, газойлю, та нафтового коксу. Відходи у вигляді води з піском направляють у штучні водоймища – відстійники, де піскова фракція осідає, а воду використовують повторно.

Нафтові сланці являють собою тверді осадові породи, складені з карбонатних та силікатних мінералів, що містять твердий органічний матеріал кєроген. Основна частина сланців викори-

стовується для спалення на ТЕЦ. Смола може використовуватися як рідке паливо, хімічна сировина. Використовують як місцеве паливо, сировина для отримання рідких палив, терпких будівельних матеріалів, сировина для отримання бітумів, олив, фенолів, бензолу, толуолу, ксилолів, нафтолів, іхтіолу та ін..

Відновлювані джерела енергії – джерела, відновлення яких постійно здійснюється в природі, і які існують на основі постійних чи періодично виникаючих в природі потоків енергії, наприклад: сонячне випромінювання (біомаса, енергія сонця, вітру, хвиль); гравітаційна взаємодія Сонця, Місяця і Землі (наслідком якої є, наприклад, морські припливи та відпливи); теплова енергія ядра Землі, а також хімічних реакцій і радіоактивного розпаду в її надрах (геотермальна енергія джерел гарячої води – гейзерів). Крім природних джерел поновлюваних енергоресурсів, сьогодні дедалі більшого значення набувають антропогенні, до яких належать теплові, органічні та інші відходи діяльності людства.

Усі відновлювані джерела енергії поділяються на дві групи: ті, що використовують пряму енергію сонячного випромінювання і її вторинні прояви (побічна сонячна енергія), а також енергію взаємодії Сонця, Місяця і Землі (рис. 1.8). Результатом побічної діяльності Сонця є відповідні ефекти в атмосфері, гідросфері та геосфері у вигляді вітру, гідроенергії, енергії течій, хвиль, припливної енергії, теплової енергії навколишнього середовища тощо.

Відповідно до класифікації Міжнародного енергетичного агентства (International Energy Agency – IEA) до поновлюваних джерел енергії належать такі категорії:

- *відновлювані джерела енергії, що спалюються, і відходи біомаси;*

- *тверда біомаса і 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 і відходи тваринного походження; деревне вугілля, яке одержують з твердої біомаси);

- *газ/рідина з біомаси*: біогаз, отриманий у процесі анаеробної ферментації біомаси і твердих відходів, що спалюється для виробництва електрики і тепла;

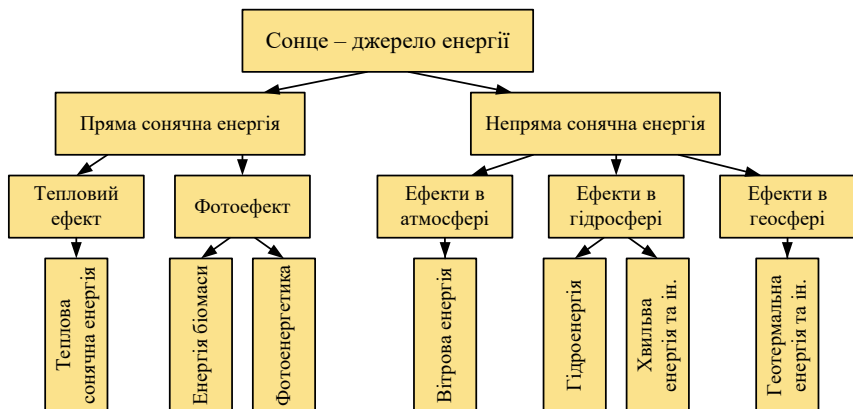


Рис. 1.8. Класифікація відновлюваних джерел енергії

- *муніципальні відходи*: матеріали, що спалюються для продукування теплової та електричної енергії (відходи житлового, комерційного і громадського секторів). Утилізуються муніципальною владою з метою централізованого знищення;

- *промислові відходи*: тверді й рідкі матеріали (наприклад, автомобільні покришки), що спалюються безпосередньо, зазвичай на спеціалізованих підприємствах, для виробництва теплової й електричної енергії;

- *гідроенергія*: потенційна, або кінетична, енергія води, перетворена на електричну енергію за допомогою гідроелектростанцій, як великих, так і малих;

- *геотермальна енергія*: тепла енергія, що надходить із земних надр, зазвичай у вигляді гарячої води або пари. Використовується для виробництва або безпосередньо як джерело тепла для систем тепlopостачання, потреб сільського господарства тощо;

- *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;
- *енергія припливів, морських хвиль і океану*: механічна енергія припливних потоків, або хвиль, що використовується для виробництва електричної енергії.

1.7. Поняття енергоощадності, енергоефективності та енергозбереження

В останні десятиліття постійно повідомляється про успіхи та грандіозні плани з освоєння вуглеводневих ресурсів континентального шельфу, про американську сланцеву революцію, що призвела до падіння світових цін на природний газ і про запаси нафти в бітумінозних пісках Атабаски (Канада) і Оріноко (Венесуела). Очевидно, таким чином людство намагаються впевнити в завтрашньому дні, і спростувати думку про швидке вичерпання запасів викопних палив. Багато розмов ведеться про рентабельність даних проєктів і про окупність інвестицій. Однак, експерти уникають розмов про інший, більш важливий показник для економіки енергоресурсів, а саме про *окупність енергетичних витрат*, що представляє собою відношення отриманої енергії до витраченої. У закордонній літературі це поняття відоме як EROEI (enrgy return on energy invested).

EROEI – рентабельність виробництва або видобутку енергоресурсів, що розрахована в енергетичних одиницях. Відомо, що будь-яке виробництво має приносити прибуток: виручка від діяльності повинна бути більше, ніж повна собівартість. Відсоткове співвідношення цієї різниці називається «рентабельність». Стосовно до видобутку енергоресурсів і подальшого виробництва палива, крім грошового доходу, процес повинен бути енергетично вигідний, це очевидно: витрати енергії на видобуток, транспорт і переробку сировини повинні бути менше енергії, одержуваної від видобутих ресурсів. Це можна назвати «енергетичною рентабельністю», або EROEI (енергія отримана від енергії вкладеної). Вперше цю ідею запропонував в 70-х роках минулого століття американський вчений-біолог Чарльз Холл коли проводив дослідження міграції риб. Тоді він сформулював твердження, що «хижак не може витра-

чати більше енергії, ніж він отримує в результаті полювання». Далі він переніс цю ідею на видобуток нафти.

EROEI = Енергія отримана / енергія витрачена на видобуток (виробництво).

Коли EROEI = 1 – це означає, що на одну одиницю отриманої енергії з видобутої сировини довелося затратити на видобуток кількість енергії, що дорівнює отриманій, тобто виробництво енергії відбулося з нульовим результатом і є по суті безглуздим. Коли значення менше одиниці – це означає, що видобуток енергоресурсів є енергетично збитковим і тому є неприйнятним. Коли значення більше одиниці – це значить, що виробництво приносить додаткову, «прибуткову» енергію (табл. 1.3, 1.4).

З практичної точки зору EROEI означає наступне: коли вперше була відкрита нафта, то в середньому одного бареля нафти було досить, щоб знайти, видобути і переробити 80–100 барелів нафти. За останнє сторіччя це співвідношення поступово знизилося до трьох отриманих барелів на один витрачений в США і приблизно до 10 на 1 в Саудівській Аравії.

Або інший приклад: якщо в 1990 р. на одному витраченому барелі можна було імпортувати в США 35 барелів нафти, то в 2007 р. спалюючи один барель в країну можна було ввести лише 12 барелів нафти.

Таким чином, EROEI є важливою характеристикою видобутку енергоресурсів і виробництва палива (або в загальному випадку просто енергії). Очевидно, що чим вище EROEI – тим ефективніше видобуток і виробництво. Це відноситься як до видобутку традиційних енергоресурсів, так і до виробництва поновлюваних. Стає зрозуміло, що для найбільшої суспільної вигоди, при інших рівних умовах вибір слід робити на користь тих напрямків енергетики, де EROEI вище.

У той же час з таблиці 1.4 видно, що, наприклад, виробництво рідкого палива з біомаси характеризується вкрай низьким EROEI і за цим критерієм є неефективним. Так, за розрахунками американських фахівців, EROEI виробництва етанолу в Америці близько до 1, що робить виробництво етанолу з точки зору енергії неефективним, і навіть в деякому роді безглуздим. За цим критері-

ем нетрадиційні та відновлювані енергоресурси менш ефективні, ніж традиційна нафта.

Таблиця 1.3

Значення EROEI для основних видів енергетичних ресурсів

EROEI	Паливо
<i>1</i>	<i>2</i>
100.0:1	Гідроенергетика (<i>Hydro</i>)
80.0:1	Вугілля
50.0:1	Ядерна енергія (зі збагаченням у центрифугах, в реакторах на швидких нейронах або у торцевих реакторах)
35.0:1	Імпорт нафти. 1990 р.
35.0:1	Світове виробництво нафти
30.0:1	Нафта і газ. 1970 р.
20.0:1	Виробництво нафти
18.0:1	Вітер
14.5:1	Нафта і газ, 2005 р.
12,0:1	Імпорт нафти. 2007 р.
10.0:1	Природний газ, 2005 р.
10.0:1	Ядерна енергія (з дифузним збагаченням)
8.0:1	Пошук нафтових родовищ
6.8:1	Фотоелектрика
5,0:1	Етанол з цукрової тростини
5,0:1	Горючі сланці
3.0:1	Бітумінозні піски
1,9:1	Пласкі сонячні колектори
1.6:1	Сонячні колектори

На підставі емпіричних значень EROEI для різних видів палива була побудована т.зв. «Крива енергоефективності» (рис. 1.9). У міру наближення до значення EROEI 1:1 співвідношення енергії, що поставляється суспільству (темно-сірий сегмент) з різних джерел, до енергії, яка використовується з цією метою (світло-сірий сегмент) експоненціально зменшується.

Таблиця 1.4

Значення EROEI для основних видів енергетичних ресурсів

Енергоресурс	Розрахункові дані Чарльза Холла		Дані EROEI Річарда Хейн- берга, 2009 рік
	Розрахунковий рік	EROEI	
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Нафта і газ	1930	> 100	
Нафта і газ	1970	30	
Нафта і газ	2005	11–18	
Загальносвітовий видобуток нафти	1999	35	19
Природний газ	2005	10	10
Вугілля	1930	> 100	50
Вугілля	1970	30	
Бітумінозні піски		2–4	5,2–5,8
Сланцева нафта		5	1,5–4
Ядерна енергія		15	1,1–15
Гідроенергія		>100	11–26
Вітрова енергія	2007	18	18
Фотовольтаїка	2004	6–8	3,75–10
Етанол з цукрової тростини	1986	0,8–1,7	8–10 в Бразилії
Кукурудзяний ета- нол	2006	0,8–1,6	1,1–1,8
Біодизель	2008	1–3	1,9–9

Високе значення EROEI палива дозволяє постачати суспільству більшу частину енергії (наприклад, паливо з EROEI 100:1 (горизонтальна вісь) буде забезпечує 99 % корисної для суспільства енергії (вертикальна вісь) з цього виду палива).

І навпаки, зниження EROEI палива забезпечує значно меншу кількість корисної енергії для суспільства (наприклад, паливо з

EROEI 2:1 забезпечить для суспільства лише 50 % енергії цього виду палива).

Таким чином, великі коливання в зоні високих значень EROEI (наприклад, від 100 до 50:1), можуть практично не мати ніякого впливу на суспільство в той час як невеликі варіації в зоні низьких значень EROEI (наприклад, від 5 до 2,5:1) може мати багато більший і потенційно більш негативний вплив на суспільство.

Таким чином виявилось, що падіння EROEI, пов'язане з виснаженням невідновлюваних енергоресурсів, є дуже небезпечним і складним викликом для промислових економік світу і цивілізації в цілому.

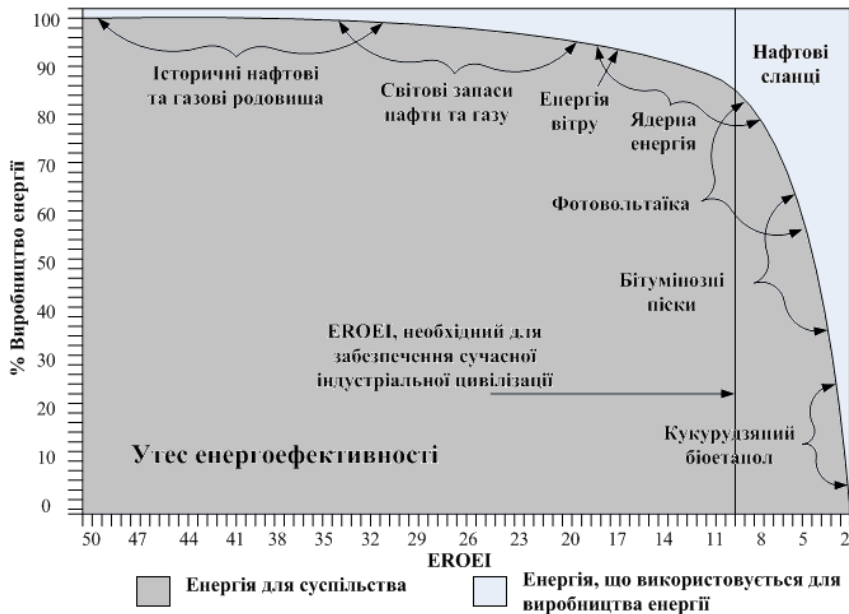


Рис. 1.9. Крива енергоефективності

Це пов'язано з тим, що при зниженні сукупної енергоефективності енергоресурсів цивілізації нижче загальносвітового порогу $EROEI = 9:1$, підтримання сучасного рівня розвитку нашого ін-

дустріального світу стає більш неможливим і пов'язано це з т. зв. «Ієрархією енергетичних потреб людства». Дану ієрархію називають ще й «пірамідою енергетичних потреб» (рис. 1.10).



Рис. 1.10. Ієрархія енергетичних потреб суспільства

«Піраміда енергетичних потреб», являє собою мінімальні значення EROEI для традиційної нафти на виході із свердловини, необхідні для виконання різних енергетичних завдань, пов'язаних з підтриманням сучасного рівня розвитку цивілізації.

Як зазначають у своєму звіті дослідники з університету Нью-Йорка для того, щоб підтримувати і розвивати сучасний рівень нашої індустріально-урбаністичної цивілізації, необхідний не просто надлишок енергії, а надлишок у великому обсязі, що передбачає або наявність паливних ресурсів з дуже високим EROEI або дуже велика кількість джерел палива з помірним EROEI ні в якому разі не менше 15 до 1.

Як відомо, до моменту, коли споживач отримує енергію у зручному для нього вигляді, вона зазнає кількох перетворень. Кожен раз, коли енергія змінює свою форму, певна її частина втрачається. Звісно, вона не зникає нікуди. У природі енергія завжди зберігається. Тобто, у результаті будь-якого процесу кількість енергії після його завершення залишається такою як і до його початку. Проте, при кожній зміні, деяка кількість вихідної енергії перетворюється у такі форми, які ми не хочемо або не можемо використовувати (наприклад пара, що утворюється у результаті згорання палива).

Зменшення кількості втрат енергії, також відоме як збільшення ефективності використання енергії або підвищення ККД – є одним з важливих завдань для забезпечення людства енергією в майбутньому. Адже відомо, що величезна кількість енергії втрачається у результаті багатьох перетворень. Постачання електроенергії є гарним прикладом. До того часу, коли енергія у формі електрики досягає кінцевого споживача, вона проходить безліч перетворень. Традиційно, процес починається, коли вугілля спалюється на теплоелектростанції. Хімічна енергія, що міститься у вугіллі, вивільняється у процесі його горіння, виробляючи тепло, яке надалі використовується для отримання пари. Пар обертає турбіну, механічна енергія, що при цьому утворюється, використовується для обертання генератора, що у свою чергу виробляє електричну енергію.

У розглянутому процесі, вихідна енергія приймала чотири різні форми, а на кожному етапі її перетворення зазнавала певних втрат. Ефективність типової вугільної теплоелектростанції становить у середньому 38 %. Тобто, лише трохи більше третини хімічної енергії вугілля може бути перетворено на електрику. Іншими словами 62 % початкової енергії не потрапляє до електричної мережі. На шляху електроенергії від теплоелектростанції до споживача відбуваються подальші її втрати. І, нарешті, досягаючи лампи розжарювання, де вона нагріває тонкий дротик, доки метал нагріється і почне світити, витрачається ще більше енергії у вигляді тепла. У результаті отримане світло містить лише приблизно 2 % енергії, що містилася у вугіллі, використаному для виробництва електрики. Заміняючи лампу розжарювання на компактну люмінесцен-

тну, ми збільшуємо ефективність приблизно до 5 % – це звісно краще, але все ще надзвичайно мала частина від вихідної енергії. Іншою відомою формою втрат енергії є робота двигунів внутрішнього згорання. Хімічна енергія палива перетворюється на теплову енергію, що приводить у рух поршні двигуна. Надалі ця механічна енергія передається колесам, підвищуючи кінетичну енергію автомобіля. Навіть з використанням низки сучасних удосконалень автомобілі використовують лише близько 20 % енергії палива, а решта виділяється у вигляді тепла. Електричні двигуни зазвичай мають більший рівень ефективності. Але цей рівень відображає лише кількість електроенергії, яка перетворюється на роботу автомобіля. Він не відображає скільки було втрачено первинної енергії на етапі її руху від початкового джерела до мотору автомобіля. Ефективність теплових двигунів може бути підвищеною, але лише до певної міри. Основи фізики визначають верхні межі їх ефективності. У зв'язку з цим, сьогодні робляться значні зусилля, щодо підвищення ефективності виробництва використання енергії.

1.8. Сучасний стан та перспективи розвитку відновлюваної енергетики в світі

На сьогодні ВДЕ забезпечують близько 19 % кінцевого енергоспоживання в світі, зокрема традиційна біомаса – 9 %, сучасні ВДЕ – більше 10 % (виробництво теплової та електричної енергії, транспортний сектор). Загалом за рахунок біомаси (традиційної та сучасної) покривається близько 14 % кінцевого споживання енергії. Термін «традиційна біомаса» означає безпосереднє використання біомаси для приготування їжі та для обігріву приміщень у країнах, що розвиваються. Поняття «сучасні АДЕ/біомаса» стосується використання АДЕ/біомаси в сучасних технологіях виробництва енергії.

Дорожня карта розвитку відновлюваних джерел

Міжнародне Агентство з відновлюваної енергетики розробило Дорожню Карту для досягнення подвоєння частки відновлюваних джерел енергії у світовому споживанні енергії у період 2010-2030 рр. (REmap 2030): з 18 % ВДЕ у загальному кінцевому енерго-

споживанні (2010 р.) до 36 % (2030 р.). При цьому сучасні відновлювані джерела енергії мають поступово витіснити використання традиційної біомаси. Оскільки у 2010 р. з 18 % ВДЕ половина припадала на традиційну біомасу, то у 2030 р. частка сучасних ВДЕ має більш ніж потроїтись (до 30 %), залишаючи традиційному використанню біомаси лише 6 %.

Можна порівняти Дорожню Карту REmap 2030 з прогнозом Світової Енергетичної Ради, що розробила два сценарії розвитку світової енергетики до 2050 р. Сценарій 1 передбачає доволі повільний розвиток відновлюваної енергетики – 20 % загального постачання первинної енергії у 2050 р., та досить суттєве зростання загального постачання первинної енергії порівняно з 2010 р. – на 38 % (з 546 ЕДж/рік у 2010 р. до 879 ЕДж/рік у 2050 р.). Цей сценарій видається малореалістичним, оскільки його ціль з ВДЕ досягнуто вже зараз. Сценарій 2 є більш реалістичним. Він передбачає переважний розвиток відновлюваної енергетики та зростання енергоефективності. Завдяки цьому у 2050 р. частка ВДЕ має досягти близько 30 % у загальному постачанні первинної енергії та 50 % у виробництві електроенергії. При цьому загальне постачання енергії у період 2010–2050 рр. зросте лише на 22 %.

Проекти по досягненню 100 % споживання відновлюваної енергії

На сьогоднішній день в світі нараховується близько 150 запланованих та вже реалізованих проектів із повного переходу на відновлювану енергетику. Вони поділяються на декілька категорій: міські, регіональні, державні, проекти у житловому фонді та у бізнесі. Серед таких проектів по окремих країнах, містах і компаніях можна виділити наступні.

- Данія поставила за мету до 2035 р. досягти 100 % виробництва теплової та електричної енергії з відновлюваних джерел та 100 % енергії з ВДЕ в усіх секторах до 2050 р.

- В Ісландії вже досягнуто 100 % виробництва електроенергії та 85 % теплової енергії через ВДЕ.

- Шотландія: мета – 100 % виробництва електроенергії та забезпечення 30 % загальної потреби в енергії через ВДЕ до 2020 р.

- Мальдіви: мета – 100 % енергії з ВДЕ до 2020 р..
- Коста-Ріка з початку 2015 р. забезпечує потребу в електроенергії на 100 % через ВДЕ. До 2020 р. поставлено за мету досягти повної декарбонізації.

- Саудівська Аравія прийняла рішення до 2040 р. повністю відмовитися від використання викопних палив й замінити їх відновлюваними джерелами енергії.

- Уряд Уругваю зробив офіційну заяву, що станом на грудень 2015 р. 94,5 % потреби країни в електроенергії забезпечується через ВДЕ. Зараз планується знизити викиди вуглецю в атмосферу на 88 % у порівнянні з середніми показниками 2009–2013 рр. й досягти повної декарбонізації до 2030 р.

- Три міста США (Аспен, Бурлінгтон, Вермонт) вже повністю перейшли на відновлювану енергетику. Міста Сан-Франциско, Пало-Альто, Сан-Дієго, Ітака, Грінсбург, Джорджтаун, Сан-Хосе також взяли за мету перехід на ВДЕ і вже мають прийняті відповідні програми.

- Ванкувер (Канада): у 2015 р. були прийняті зобов'язання щодо переходу міста на 100 % з ВДЕ.

- Франкфурт (Німеччина): запланована повна декарбонізація міста за рахунок ВДЕ та альтернативного автомобільного палива до 2050 року.

- Копенгаген (Данія): мета – до 2035 р. досягти 100 % виробництва теплової та електричної енергії з відновлюваних джерел та 100 % енергії з ВДЕ в усіх секторах до 2050 р. Повна декарбонізація міста запланована до 2025 р.. Наразі вже 98 % населення отримують теплову енергію з твердих побутових відходів та біомаси.

- Мюнхен (Німеччина): мета – 100 % електроенергії з ВДЕ у житловому фонді до 2015 р. та для всіх споживачів до 2025 р..

- Мальмо (Швеція): мета – 100 % відновлюваної електроенергії до 2020 р..

- Сідней (Австралія): мета – 100 % виробництва електроенергії, теплоти та холоду з ВДЕ до 2030 р..

До акції переходу на відновлювану енергетику підключились такі всесвітньо відомі бренди, як IKEA, Johnson & Johnson, Nike, Procter & Gamble, Starbucks, Voya Financial and Walmart,

Google, Apple, Microsoft, Facebook, Virgin Group, RWE, E.ON та інші. За свою мету вони ставлять використання електроенергії виключно з відновлюваних джерел в усіх секторах своєї діяльності.

Енергетичні стратегії Європейського Союзу

В Європейському Союзі стан розвитку відновлюваної енергетики в цілому близький до загальносвітових показників. Внесок ВДЕ до кінцевого енергоспоживання складає 15 % (табл. 1.5), в тому числі біомаси – близько 9 %. Частка ВДЕ у виробництві електроенергії становить 25,4 %, зокрема з біомаси отримується близько 5 %. Більше 19 % загального обсягу теплової енергії в ЄС виробляється з відновлюваних джерел, головним чином, з біомаси. Сприяння використанню відновлюваних джерел енергії має важливе значення як для зниження залежності ЄС від імпорту енергоносіїв, так і в досягненні цілей по боротьбі з глобальним потеплінням. Частки ВДЕ, досягнуті та заплановані, представлено у таблиці.

5 червня 2009, Директива про заохочення використання енергії з відновлюваних джерел (2009/28/ЕС, Директива RES) була опублікована в Офіційному журналі ЄС і набула чинності 25 червня 2009 р.. Ця директива була опублікована як частина законодавчого пакету «Клімат – Енергія», прийнятого Радою 6 квітня 2009 р.

Пакет «Клімат – Енергія» включає в себе наступні документи:

- Постанова (ЄС) № 443/2009 – скорочення викидів CO₂ від малогабаритних транспортних засобів;
- Директива 2009/28/ЕС – директива про використання відновлюваних джерел енергії;
- Директива 2009/29/ЕС – директива щодо схем торгівлі викидами;
- Директива 2009/30/ЕС – директива про якість палива
- Директива 2009/31/ЕС – директива про уловлювання та зберігання вуглецю
- Рішення № 406/2009/ЕС – «спільні зусилля»

Пакет «Клімат – Енергія» був задуманий як демонстрація прихильності ЄС до вирішення все більш складних завдань зміни

клімату та сталого розвитку, що були поставлені на стіл світових переговорів у самітах ООН в Ріо-де-Жанейро в 1992 р. і в Йоганнесбурзі в 2002 р..

Таблиця 1.5

Досягнуті та заплановані показники щодо частки ВДЕ у валовому кінцевому споживанні енергії в Євросоюзі (%)

Країни ЄС	2013	2020	Країни ЄС	2013	2020
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
ЄС	15,0	20			
Бельгія	7,9	13	Люксембург	3,6	11
Болгарія	19,0	16	Угорщина	9,8	13
Чехія	12,4	13	Мальта	3,8	10
Данія	27,2	30	Нідерланди	4,5	14
Німеччина	12,4	18	Австрія	32,6	34
Естонія	25,6	25	Польща	11,3	15
Ірландія	7,8	16	Португалія	25,7	31
Греція	15,0	18	Румунія	23,9	24
Іспанія	15,4	20	Словенія	21,5	25
Франція	14,2	23	Словаччина	9,8	14
Хорватія	18,0	20	Фінляндія	36,8	38
Італія	16,7	17	Швеція	52,1	49
Кіпр	8,1	13	Велика Британія	5,1	15
Латвія	37,1	40	Литва	23,0	23

Ідею щодо обов'язкового виробництва 20 % альтернативної енергії від загального енергетичного балансу до 2020 р. для ЄС було вперше висунуто в 2004 р. Ідея була потім передана до Європейської комісії в січні 2007 р. Потреба Європи в енергії зростає з огляду на високі та нестабільні ціни на енергоносії. Викиди парникових газів невпинно зростають. Зміна клімату поряд із зростаючою залежністю від імпорту енергоносіїв є лише одним з ризиків європейської економіки сьогодні.

Маастрихтський договір поставив завдання сприяння стабільному зростанню при збереженні навколишнього середовища. Амстердамський договір додав принцип збалансованого розвитку до основних цілей ЄС. З 1997 р. ЄС працює у напрямку розвитку відновлюваних джерел енергопостачання.

У Європейській конференції з поновлюваних джерел енергії в Берліні в 2004 р., ЄС було визначено нові амбітні цілі. Було зроблено висновок, що до 2020 р. ЄС має прагнути досягти 20% частки відновлюваних джерел енергії у загальному обсязі енергоспоживання. До цього моменту, ЄС було встановлено лише цілі до 2010 року.

У 2009 директива про використання відновлюваних джерел енергії мала встановити обов'язкові цілі для всіх держав-членів ЄС, такими, щоб ЄС досягнув 20 % частки відновлюваних джерел енергії в 2020 р. і 10 % частку відновлюваної енергії в транспортному секторі зокрема.

Сьогодні в основі багатьох пропозицій енергетичної політики ЄС полягає завдання обмежити глобальні зміни температури не більше ніж на 2 °C вище доіндустріального рівня, з яких 0,8 °C вже відбулася. 2 °C, як правило, розглядається в якості верхньої межі температури, для уникнення «небезпечного глобального потепління». Однак деякі вчені стверджують, що відповідно до науково обгрунтованих розрахунків 1 °C є більш точним порогом для «небезпечних» змін клімату.

Держави-члени, що приєдналися до ЄС у 2004 р. повинні упровадити положення Директиви 2001/77/ЄС з виробництва електроенергії з відновлюваних джерел енергії. Їх приєднання до договорів встановлює національні індикативні цільові показники за часткою електроенергії, виробленої з відновлювальних джерел енергії на рівні 21 %, для інших членів ЄС – 25 %.

Крім того, Європейське агентство (агентство з поновлюваних джерел) зміцнює й раціоналізує європейські дослідницькі, демонстраційних і розробок у всіх технологіях використання поновлюваних джерел енергії.

Завдання пріоритетного розвитку енергетики завжди було в числі головних економічних завдань ЄС. Раніше це завдання вирі-

шувалося проведенням відповідної політики в рамках окремих держав. Загострення проблеми енергоресурсів і конкурентної боротьби та посилення зв'язку політики з економікою поставили питання енергетичної безпеки країн ЄС на рівень загальноєвропейського.

Розв'язання енергетичної проблеми західні політики та бізнес вбачають у посиленні інтеграційних процесів у сфері енергетичного забезпечення потреб економіки і соціально-культурної сфери на єдиній організаційно-правовій базі.

Створення загальноєвропейського енергетичного ринку започатковано у 90-х рр. прийняттям відповідних директив. Основними документами, що регулюють нову енергетичну політику ЄС стали Енергетична Хартія і Договір до Енергетичної Хартії. Ці документи переслідували такі стратегічно важливі цілі як посилення енергетичної безпеки ЄС, підвищення конкурентоспроможності економіки країн альянсу, недопущення монопольного тиску експортерів енергоносіїв на імпортерів, покращення екології, зниження цін на енергоносії. Документи визначили загальні правила функціонування внутрішнього ринку електроенергії і газу, що опиралися на єдність правових інструментів, прозорість діяльності компаній на енергоринку, вільний доступ до нього нових учасників, недопущення монополізації.

Розроблення енергетичної політики ЄС здійснюють усі керівні органи ЄС, проте провідну роль відіграє Єврокомісія. Питання оперативного характеру вирішує Генеральний Директорат з енергетики і транспорту. У 2003 р. за ініціативи Єврокомісії були прийняті нові важливі рішення, закріплені директивами 2003/55/ЄС і 2003/54/ЄС. Тут визначено лібералізацію як основний засіб оптимізації ринку, а широкий доступ на ринок капіталу з пропозицією послуг у сфері енергетики та зниження цін на такі послуги – як перспективну мету лібералізації. Документи визначали принципи функціонування ринку, що забезпечували б вільну конкуренцію, розвиток компаній і інтереси споживачів. Складності мали місце щодо вимоги розділення вертикально інтегрованих компаній.

У 2006 р. опублікована так звана «Зелена книга», в якій викладені основні підходи щодо сутності нової енергетичної політики, її основних завдань і засобів вирішення цих завдань. У книзі

підкреслена необхідність стабільного постачання енергії до країн ЄС з країн-експортерів енергоносіїв, важливість лібералізації ринку, необхідність економії енергоресурсів і розвитку новітніх технологій у сфері енергетики, посилення екологічних вимог щодо енергоспоживання.

Конкретними орієнтирами ЄС у сфері енергетики стали завдання зниження енергопостачання на 13 % до 2020 р., доведення частки відновлюючих джерел енергії до 20 %, зменшення викидів вуглецю на 20 %. У січні 2007 р. прийнято інтегрований пакет дій, покликаних реформувати енергетичний сектор і формувати єдину енергетичну політику. Головними завданнями визначеними новим документом стали розвиток інфраструктури, зменшення зовнішньої уразливості країн Європейського Союзу, запобігання негативним змінам клімату.

Слід також додати, що енергетичну політику ЄС можна розглядати як таку, що має два вектори – внутрішній і зовнішній. Якщо у питаннях взаємодії країн ЄС усередині союзу існує певна єдність розуміння енергетичних проблем і варіантів її розв'язання, то у розумінні зовнішньоекономічної стратегії з енергетичних питань такої єдності немає. Очевидно, що існуючий стан речей склався згідно з дією цілої низки причин.

Насамперед необхідно відмітити, що країни ЄС мають різний рівень енергозабезпечення власними енергетичними ресурсами. Якщо Норвегія і Данія відносно забезпечені первинними джерелами енергії, Польща і Великобританія володіють значними запасами кам'яного вугілля, яке зменшує гостроту енергетичних проблем, то для таких держав як Австрія або Чехія питання імпорту енергоресурсів є питанням виживання; по-друге, європейські країни різняться за географічним положенням. Держави, розташовані на півночі Європи, потребують більше енергоресурсів. Водночас вони мають обмежені можливості використання сонячної енергії. Південні країни споживають менше енергії в житловому секторі і мають більш широкі перспективи у розвитку геліоенергетики. Окрім цього, географічне положення морських держав дозволяє їм вирішувати питання постачання енергоносіїв, використовуючи для цього танкерний флот, чого позбавлені континентальні країни. Різ-

ною є також віддаленість країн від держав-експортерів енергоносіїв; по-третє, країни ЄС різняться між собою структурою і масштабами виробництва, що також є чинником енергоспоживання. Різним є і рівень виробництва, а це означає, що різними є можливості енергоефективності; по-четверте, кожна з країн формувала свій енергетичний баланс, опираючись на встановлені економічні відносини у даній сфері з іншими країнами. Якщо, наприклад, Німеччина має п'ять незалежних і досить надійних джерел енергопостачання, то Чехія обмежена одним; по-п'яте, механізмом задоволення енергетичних потреб в ЄС виступають ринкові відносини, і конкуренція, за яких регуляторна політика обмежена.

До цих об'єктивних причин додається суб'єктивна – бажання низки трансєвропейських корпорацій з метою отримання максимально можливих прибутків підписати окремі угоди з російським експортером і вирішувати енергетичні питання в рамках двостороннього співробітництва. Такі дії вступають в протиріччя з такою загальною метою ЄС в енергетичній сфері як надійне забезпечення енергоресурсами за справедливою ціною.

Виходячи з нової енергетичної політики, ЄС надає важливого значення енергозбереженню. Важливість енергозбереження пояснюється тим, що завдяки йому зберігаються значні ресурси вуглеводнів, заощаджуються фінансові кошти споживачів, зменшуються викиди вуглекислого газу. Виходячи з важливості енергозбереження, ЄС у грудні 2005 р. видав директиву, що зобов'язувала усі країни альянсу розробити національні плани дій з підвищення енергоефективності (EEAPs–Energie–Effizienz–Actions–Plane). Відповідно до директиви на найближчі 9 років кожна з 27 країн ЄС повинна щорічно досягати щонайменше 1 % економії електроенергії в усіх сферах її споживання. Схема реалізації EEAPs за дорученням Єврокомісії розроблена Вупертальським інститутом. Починаючи з 2011 р., усі країни ЄС повинні беззастережно виконувати ці зобов'язання.

У жовтні 2006 р. Єврокомісія представила план дій з енергозбереження, у якому подавалися жорсткі стандарти з енергоефективності для 14 груп товарів. У 2007 р. список було розширено до 20 позицій. Особливий контроль з енергозбереження покладалася на

освітлювальні прилади для вуличного і побутового використання. Розроблення і контроль за виконанням планів із підвищення енергоефективності систем штучного освітлення доручено спеціально створеній на початку 2007 р. робочій групі – ROMS (Roll out Member States). Робоча група створена Європейським союзом виробників освітлювальних приладів і їх компонентів (CELMA) і Європейським союзом виробників джерел світла (ELC).

За розрахунками експертів цих компаній усі країни ЄС через упровадження енергозберігаючих освітлювальних приладів і систем мають можливість скоротити викиди вуглецю на 40 млн т/рік. Європейські виробники освітлювальних приладів та обладнання опублікували матеріали щодо поступового згортання виробництва освітлювальних ламп побутового призначення низької ефективності і повного їх виводу з європейського ринку. Така ініціатива дасть можливість зменшити викиди вуглецю на 23 млн т/рік та заощадити близько 7 млрд євро.

Заощадженню електроенергії сприятиме також упровадження у практику проектування освітлювальних установок нових європейських світлотехнічних нормативів: EN 12464–1 (Освітлення робочих місць у приміщеннях); EN 15193–1 (Енергетична оцінка будівель. Енергетичні вимоги до освітлення – оцінка потреб електроенергії для освітлення).

Відповідно до ст. 12 директиви ESD (Energy Services Directive) Єврокомісія делегувала Європейському комітету з нормування в електротехніці (CENELEC) мандат на розроблення спеціальних норм з енергозбереження. Такі норми повинні передбачати узгоджені методи розрахунку характеристик енергоефективності будівель в цілому і окремих виробів, установок і систем у комплексі інженерного обладнання.

У грудні 2008 р. Єврокомісія прийняла рішення про відмову від ламп розжарювання. Відповідно до прийнятого документа джерела світла, що споживають багато електроенергії будуть поступово замінені. На думку спеціалістів, такі заходи зменшать споживання електроенергії на 3–4 %. Заощадженої унаслідок впровадження нових освітлювальних приладів в офісах і жилих примі-

щеннях енергії буде достатньо, щоб забезпечити освітленням таку країну як Румунія.

9 грудня 2008 р. уряди держав членів Євросоюзу і Європарламент ухвалили законопроект щодо збільшення використання поновлюючих джерел енергії до 2020 р. на 20 %, зниження на таку ж величину використання електроенергії та викидів парникових газів. Документ передбачає збільшення частки біопалива в енергетиці ЄС до 10 %, а також підвищення витрат на наукові дослідження у сфері енергетики на 50 %.

ВДЕ – енергія вітру, сонця (теплова та фотоелектрична), гідроелектрична, енергія припливів, геотермальна енергія та енергія біомаси – основні альтернативи викопному паливу. Використання цих джерел не тільки сприятиме зменшенню викидів вуглецю від генерації енергії, а ще й знизить залежність ЄС-25 та України від імпорту викопного палива (особливо нафти та газу).

У 2004 році розподіл енергії у ЄС-25, що вироблялась з відновлювальних джерел, становив 6,52 % (енергетичного балансу) і за джерелами виглядав так: 1,47 % – гідроенергетика, 4,4 % – спалення та переробки відходів, 0,64 % – сонячна та геотермальна енергія.

Для того, щоб досягти мети у 20 % енергії з ВДЕ в цілому об'ємі енергії, ЄС-25 планує зосередитись на секторах електропостачання, обігріву та охолодження за рахунок використання біопалива. У транспортному секторі, що також залежить від нафти, ЄС-25 має надію збільшити поточну мету з 5,75 % частки біопалива у сумарному споживанні на 2010 р. до 10 % у 2020 р..

Для досягнення мети 2020 року країни ЄС мають не тільки нарощувати потужності відновлюваної енергетики, але й скорочувати споживання первинної енергії – загалом приблизно на 5 % до 2020 р. порівняно з 2013 р. (рис. 1.11).

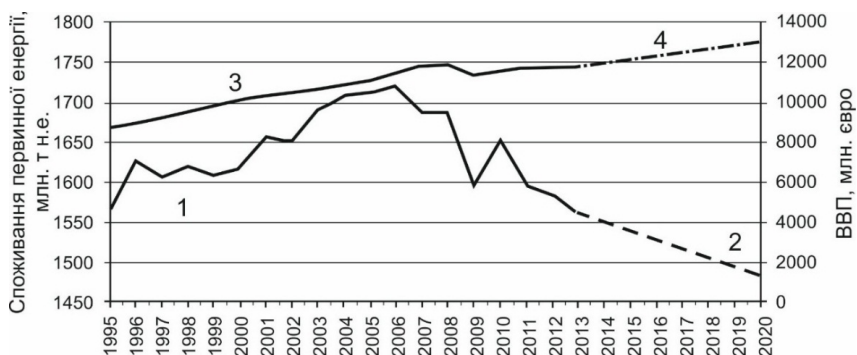


Рис. 1.11. Динаміка споживання первинної енергії та ВВП в ЄС-28:
 1, 2 – фактичне та прогнозоване споживання первинної енергії в ЄС, відповідно, 3 – фактичний ВВП (при ринкових цінах 2005 р.),
 4 – прогнозований ВВП (приріст 1,5 %).

Щоб дотриматись сценарію зміни клімату 2DS, у 2011 р. Євросоюз ще раз підтвердив свою офіційну мету по зниженню емісії парникових газів (декарбонізації) у 2050 році на 80 – 95 % у порівнянні з показниками 1990 р. Оскільки сектор енергетики є одним з основних джерел викидів парникових газів, що пов'язані з діяльністю людини, то й головні резерви по зменшенню цих викидів мають бути знайдені та реалізовані саме в ньому. З огляду на це, Європейська Комісія розробила Дорожню Карту з енергетики до 2050 р., в якій проаналізувала, як саме можна досягти поставлених цілей по зниженню емісії парникових газів, забезпечуючи при цьому надійність та конкурентоспроможність систем енергопостачання.

Сценарії декарбонізації

У Дорожній Карті ЄС розглянуто п'ять можливих сценаріїв розвитку енергетики (так звані сценарії декарбонізації). В основу кожного з них покладено одне з наступних припущень щодо того, яка саме тенденція буде превалювати в майбутньому в енергетичному секторі Європейського Союзу.

1. Суттєве підвищення енергоефективності та енергозбереження («сценарій енергоефективності»). Завдяки цьому потреба ЄС

в енергії у 2050 р. має знизитись приблизно на 40 % порівняно з піком 2005–2006 років.

2. Суттєве підвищення частки відновлюваних джерел енергії в енергобалансі («сценарій ВДЕ»). У результаті цього частка ВДЕ в кінцевому енергоспоживанні має досягти 75 %, а у споживанні електроенергії – 97 % в 2050 р.

3. Диверсифікація джерел енергопостачання. У даному сценарії перевага не надається жодному джерелу енергії, всі вони конкурують між собою на ринкових засадах. Декарбонізація в даному випадку буде досягнута через упровадження відповідної податкової політики щодо обсягів викидів вуглецю.

Розглянуто також дві варіації цього сценарію:

1. Диверсифікація джерел енергопостачання з відстроченим впровадженням технологій уловлювання і зберігання вуглецю.

2. Диверсифікація джерел енергопостачання за умови, що нові атомні блоки не будуть споруджуватись, окрім тих, що будуються вже зараз.

Варто зазначити, що «сценарій ВДЕ» непогано узгоджується з прогнозом перспектив розвитку енергетики ЄС, виконаного Європейською радою з ВДЕ. Цей прогноз показує реальну можливість покриття потреби ЄС в енергії у 2050 р. майже на 100 % через ВДЕ, у тому числі біомаса – 34 %, сонячна енергія – 26 %, геотермальна енергія 17 %, енергія вітру – 13 %, решта (6 %) – інші ВДЕ. При цьому кінцеве енергоспоживання у 2050 р. (1050 млн т н.е.) має скоротитися на 12 % у порівнянні з 2020 р. (1200 млн т н.е.).

Енергетичні стратегії деяких країн Європейського Союзу та світу

Данія

У 2011 р. в Данії було прийнято Енергетичну стратегію до 2050 р., що окреслила заходи для досягнення довгострокової мети – повної незалежності країни від викопних палив. Стратегія також визначає нові коротко- та середньострокові заходи для виконання національних цілей 2020 р. – 33 % ВДЕ у валовому кінцевому енергоспоживанні (що навіть перевищує офіційну ціль Данії як члена ЄС – 30 %), 10 % ВДЕ на транспорті та скорочення загального ене-

ргоспоживання на 6 % у порівнянні з 2009 р. Данія поставила собі за мету увійти до першої трійки країн світу з точки зору успішності впровадження відновлюваних джерел енергії до 2020 р. та стати однією з найбільш енергоефективних країн-членів Організації економічного співробітництва та розвитку також до 2020 р.

Австрія

Відновлювані джерела енергії наразі займають друге місце в структурі енергоспоживання Австрії (30 %) після нафтопродуктів (36 %). З усіх ВДЕ 58% припадає на біомасу та органічні відходи. Енергетична стратегія Австрії до 2020 р. ставить за мету збільшення частки ВДЕ у валовому кінцевому енергоспоживанні до 34 %. При цьому важливу роль відіграє впровадження заходів з енергоефективності та енергозбереження, оскільки завдяки цьому планується втримати ВДЕ у період до 2020 р. на рівні 2005 р. (близько 1150 ПДж/рік). Без застосування заходів з енергоефективності валове кінцеве енергоспоживання країни у 2020 р. могло б збільшитися на 200 ПДж/рік.

Наразі в Австрії на громадському та урядовому рівнях йдуть дебати щодо необхідності прийняття нової стратегії з більшими часовими рамками та амбіційнішими планами. Асоціація відновлюваної енергетики Австрії пропонує прийняти нову енергетичну стратегію принаймні до 2030 р. з такими ключовими цілями: скорочення кінцевого енергоспоживання на 940 ПДж порівняно з 1990 р., нарощування частки ВДЕ до 60 % та скорочення викидів парникових газів на 60 % до 2030 р.

Треба зазначити, що вже зараз 100 % електроенергії в Нижній Австрії, найбільшій федеральній землі країни, генерується з ВДЕ, а саме, 63 % – на ГЕС, 26 % – на ВЕС, 9 % – з біомаси і 2 % – через сонячну енергію. Що стосується Австрії в цілому, відновлювані джерела забезпечують 75 % всього обсягу виробництва електроенергії.

Швеція

Розвиток енергетики в Швеції керується Законом про інтегровану кліматичну та енергетичну стратегію (2008 р.), яким вста-

новлено низку доволі амбітних цілей. Зокрема, планується досягти 50 % ВДЕ у валовому кінцевому споживанні енергії до 2020 р., відмовитися від викопних палив в транспортному секторі до 2030 р. Та досягти повної декарбонізації до 2050 р.

Також у 2015 р. урядом Швеції було прийнято за мету стати першою країною, яка повністю відмовиться від викопного палива (без зазначення конкретного терміну досягнення мети), але при цьому залишається використання атомної енергії в певному обсязі. Для реалізації плану по відмові від викопного палива виділено значні кошти на впровадження цілої низки заходів, зокрема, на розвиток сонячної електрогенерації, дослідження технологій зберігання електроенергії, створення «розумних» мереж, модернізацію житлових будівель та підвищення їх енергоефективності, впровадження ВДЕ на транспорті.

Німеччина

У кінці 2012 р. частка вироблення електроенергії з відновлюваних джерел енергії становила 22,9 % з найбільшим внеском енергії вітру. Енергетична Стратегія Німеччини до 2050 р. (прийнята у 2010 р.) передбачає повну відмову від використання атомної енергії до 2022 р.. Цей строк (коротший за попередньо прийнятий) було встановлено після аварії на японській АЕС Fukushima Daiichi у березні 2011 р.. Реалізація даного плану почалася із зупинки 8 найстаріших АЕС Німеччини. Відновлювані джерела енергії було визначено енергетичною стратегією як основною складовою структури енергопостачання країни у перспективі до 2050 р.. Також було розроблено законодавчі механізми стимулювання розвитку ВДЕ та підвищення енергоефективності. Ці механізми (загалом 7) прописані у програмі «Енергетичний перехід» (*Energiewende*).

Основні цілі Енергетичної Стратегії Німеччини до 2050 р. представлено в таблиці 1.6. Закон про відновлювані джерела енергії 2012 р. (*EEG 2012*) визнав ці цілі обов'язковими. У 2050 р. внесок ВДЕ до загального кінцевого енергоспоживання має становити 60 %, до споживання електроенергії – 80 %. При цьому загальне споживання первинної енергії зменшиться на 20 % до 2020 р. та на 50 % до 2050 р. від рівня 2008 р.

Таблиця 1.6

**Основні показники Енергетичної
Стратегії Німеччини до 2050 р.**

Показники	2012	2020	2030	2040	2050
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
Частка ВДЕ у загальному кінцевому споживанні енергії	10%	18%	30%	45%	60%
Частка ВДЕ у споживанні електроенергії	20%	35%	50%	65%	80%
Скорочення споживання первинної енергії (порівняно з 2008 р.)	-5%	-20%	-30%	-40%	-50%
Скорочення споживання електроенергії (порівняно з 2008 р.)	-1%	-10%	н.д.	н.д.	-25%
Скорочення кінцевого енергоспоживання на транспорті (порівняно з 2008 р.)	н.д.	-10%	н.д.	н.д.	-40%
Скорочення викидів парникових газів (порівняно з 1990 р.)	-27%	-40%	-55%	-70%	-80%

н.д. – немає даних.

США

У 2014 р. Президент США Барак Обама запропонував так звану «Всеосяжну Енергетичну Стратегію». Одним з її ключових елементів є розвиток відновлюваних джерел енергії, переважно «зеленої» електрогенерації. Зокрема, планується майже потроїти обсяг виробництва електроенергії з ВДЕ – до 20 % у 2030 р. (без врахування гідроенергії). При цьому викиди парникових газів на електростанціях США мають зменшитись на 32 % до 2030 р. Треба зазначити, що окремі штати, наприклад, Каліфорнія, впевнено рухаються у напрямі досягнення 100 % ВДЕ.

Каліфорнія

Фахівцями Стенфордського Університету було проведено дослідження та аналіз майбутнього розвитку енергетики штату Каліфорнія. Основна ідея полягала у відмові від викопного палива та ядерної енергетики на користь відновлюваних джерел енергії. Через нарощування нових потужностей на ВДЕ, впровадження заходів з підвищення енергоефективності та переходу з технологій генерації енергії, що використовують процеси горіння палива, на енергетику без використання будь-яких видів палива штат може досягти 100 % відновлюваної енергетики та повністю відмовитися від викопного палива до 2050 р.. При цьому прогнозується наступний внесок різних ВДЕ: сонячна енергія – 55 %, енергія вітру – 35 %, геотермальна енергія – 5 %, гідроенергія – 4 %, енергія хвиль – 1 %. Цікавим результатом даного дослідження є також те, що площа земель, необхідних для встановлення всього запланованого обладнання на ВДЕ, займатиме лише 4,77 % від загальної площі Каліфорнії. Очікуваний розподіл площі такий: ВЕС (наземні) – 2,77 %, ВЕС (офшорні) – 0,86 %, СЕС – 1,14 %, геотермальні установки – 0,006 %.

Гаваї

Влітку 2015 р. Гаваї стали першим штатом США, що прийняв законодавчо закріплену мету – досягти 100 % виробництва електроенергії з ВДЕ до 2045 р. Для контролю динаміки досягнення цієї мети законом також встановлено дві проміжні цілі: 30 % «зеленої» електроенергії у 2020 р. та 70% – у 2040 р. Треба зазначити, що за останні п'ять років частка ВДЕ у виробництві електроенергії на Гаваях подвоїлася і складає наразі 22 % загального обсягу. У разі невиконання офіційних цілей з розвитку «зеленої» електрогенерації енергокомпанії будуть вимушені сплачувати штраф у розмірі 2 цента за кожну «надлишкову» кіловат-годину, вироблену з викопних палив.

Китай

Наразі Китай є одним з найкрупніших інвесторів в секторі ВДЕ в світі. Кошти, виділені державою на розвиток «зеленої» енер-

гетики у період 2011 – 2015 рр., складала 473 млрд. доларів США. У результаті цього протягом останніх п'яти років в країні спостерігався стрімкий ріст електричних потужностей на ВДЕ, зокрема вітрових та сонячних електростанцій. У 2013 р. завдяки впровадженню 13 ГВт сонячних фотоелектричних елементів обсяг введення нових потужностей на ВДЕ вперше перевищив обсяг нових потужностей на вичиспних паливах.

Міжнародне енергетичне агентство зробило прогноз розвитку світової енергетики, згідно якому Китай може досягти більше 960 ГВт на ВДЕ до 2040 р. й задовольнити за рахунок них майже 30 % своєї потреби в електроенергії. Згідно іншого дослідження, виконаного Національним центром з відновлюваної енергетики Китаю у 2015 р., країна може покрити 85 % загального виробництва електроенергії та 60 % споживання первинної енергії за рахунок ВДЕ до 2050 р.

Індія

Уряд Індії планує прийняти нову програму розвитку ВДЕ. Основною метою цієї програми буде досягнення 40 % встановленої електричної потужності на ВДЕ у 2030 р.. Це відповідатиме загальному близько 350 ГВт, в тому числі 250 ГВт сонячних електростанцій та 100 ГВт вітрових електростанцій. Наразі в Індії працюють 36 ГВт електричної потужності на ВДЕ, що складає приблизно 13 % від загальної встановленої потужності.

Зведена інформація щодо ключових показників довгострокових енергетичних стратегій деяких країн ЄС та світу представлена в таблиці 1.7.

Енергетичною стратегією передбачено зростання частки відновлювальних джерел енергії у 7,26 разів (9,5 млн т н.е.) у період з 2004 по 2020 р., на 173 % за період з 2020 по 2030 р. – до 26,1 млн т н.е. До 2030 р. частка відновлювальних джерел енергії у первинних енергетичних потребах складатиме 12 процентів. Це буде дорівнювати таким же показникам, що і в ЄС-25. Це дуже оптимістичний прогноз для України, беручи до уваги, що державна політика та регулювання тільки зараз починають окреслюватися, а потре-

би в інвестуванні для досягнення цієї мети оцінюються приблизно у 60 млрд гривень (~ 8,2 млрд євро).

Збільшення частки відновлюваних джерел енергії у загальному виробництві всіма джерелами значно зменшить викиди парникових газів в ЄС-25 та Україні. Це основна причина, щоб просувати їх на ринку. Більше всього від цього правила відходить біопаливо, незважаючи на те, що об'єм вуглецю, що поступає в атмосферу через спалення біомаси, відповідає об'ємам поглинання вуглецю у період росту культури – тобто, збір врожаю та наступне його перетворення й використання спричиняє значні сезонні відкиди парникових газів та має інші негативні впливи. Ці аспекти повинні стати інтегрованим компонентом у політиці подальшого розвитку та вживання біомаси/біопалива.

Примітка: в дужках вказано рік порівняння або досягнення показника

- 1) У виробництві електроенергії.*
- 2) Частка електрогенеруючих потужностей на ВДЕ.*
- 3) У транспортному секторі.*
- 4) Скорочення викидів парникових газів.*
- 5) Підвищення рівня енергоефективності*

Україна покращить позиції у сфері безпеки, якщо досягне запропонованої частки відновлюваної енергії. Згідно із прогнозами Енергетичної стратегії, частка джерел відновлюваної енергії у 2030 р. повинна становити 19 % в енергетичному балансі.

Управління із забезпечення необхідних потреб (регулювання попиту) може стати рішенням проблеми балансу розподіленої генерації з високим проникненням відновлюваних джерел енергії.

По мірі того, як країни проводять енергетичну політику, що сприяє енергоефективності, розподілу генерування та використання джерел відновлювальної енергії, частка розподіленої енергії зростає. Це особливо стосується видів переривчастого генерування, такого як малі гідроелектростанції та комбіновані (малі та мікро).

Таблиця 1.7
Частка ВДЕ у валовому кінцевому енергоспоживанні деяких країн світу згідно даних їх офіційних енергетичних стратегій

№ п/п	Країна	2014	2020	2030	2040	2050
1	2	3	4	5	6	7
1	Австрія	30 % 75 % ¹ (у 2015)	34 % 16 % ⁴ (1990) 17 % ⁵ (2005)	н.д.	н.д.	н.д.
2	Данія	25 % 20 % ⁵ (2005)	33 %	55 %	68 %	100 %
3	Німеччина	12.4 % (2013) 27 % ⁴ (1990) 9 % ⁵ (2008)	18 % 40 % ⁴ (1990) 20 % ⁶ (2008)	30 % 55 % ⁴ (1990) 30 % ⁵ (2008)	45 % 70 % ⁴ (1990) 40 % ⁵ (2008)	60 % 80 % ⁴ (1990) 50 % ⁵ (2008)
4	Швеція	52.1 % (2013)	50 % 40 % ⁴ (1990) 20 % ⁵ (2008)	100 %	н.д.	100 % ⁴
5	Швейцарія	17.5 % (2010)	45 % 16 % ⁵	н.д.	56 % (2035) 45 % ⁵ (2035)	60 %
6	Індія	13 % ¹ (2015)	н.д.	40 % ² 33 – 35 % ⁴	н.д.	н.д.
7	США (Гавай)	20 %	30 %	40 %	70 %	100 % (2045)
8	Коста-Рика	95 – 99 % 100 % ¹ (2015)	100 % ⁴ (2021)	н.д.	н.д.	н.д.
9	Саудівська Аравія	1 % (у 2015 р.)	н.д.	н.д.	100 %	н.д.
10	Уругвай	55 % (2015) 94.5 % ¹ (2015)	88 % ⁴ (2017, 2009 – 2013)	100 % ⁴	н.д.	н.д.

У зв'язку з тим, що переривчасті енергогенератори неможливо спланувати, електричні мережі звертаються до інтегрованих джерел енергії. Комбінуючи малу енергетику з накопиченням енергії, країни можуть зменшити проблеми, пов'язані із застосуванням малої енергетики, та підвищити цінність джерел непостійної генерації енергії на ринку.

1.9. Перспективи розвитку та екологізації паливно-енергетичного комплексу в Україні

Україна належить до країн, лише частково забезпечених традиційними видами первинної енергії, і тому вона змушена імпортувати їх з-за кордону. Енергетична залежність України від постачання органічного палива, з урахуванням умовно-первинної ядерної енергії, у 2000–2005 р. становила 60,7 %, а країн ЄС – 51 %. Подібною до української є енергозалежність таких країн, як Німеччина (61,4 %) та Австрія (64,7%). Рівень енергозалежності України є середньоєвропейським і має тенденцію до зменшення, однак він характеризується відсутністю диверсифікації джерел постачання енергоносіїв, насамперед нафти, природного газу, ядерного палива.

Дослідження в області розвитку паливно-енергетичного комплексу дозволяють виробити рекомендації і запропонувати практичні заходи щодо підвищення рівня енергетичної та екологічної безпеки в Україні.

В умовах становлення ринкових відносин і з урахуванням нинішнього стану енергетики України щодо підвищення рівня енергетичної безпеки і поліпшення загальної ситуації в енергетичному комплексі доцільно:

- удосконалення структури управління енергетичним комплексом загалом без послаблення регулюючої ролі держави;
- підвищення рівня ефективності використання енергетичних джерел;
- реконструкція електростанцій з модернізацією основного енергетичного устаткування енергосистеми, розвиток нових джерел електроенергії на базі сучасних технологій;
- вдосконалення тарифної політики і встановлення порядку змінення тарифів на енергію і паливо;

- створення системи енергетичного моніторингу;
- вдосконалення структури паливного балансу;
- здійснення активної політики в області енергозбереження та широке залучення в енергобаланс відновлювальних джерел енергії;
- подальший розвиток досліджень в області енергетичної безпеки у комплексі з дослідженнями економічної безпеки.

1.9.1. Законодавство України у сфері використання альтернативних джерел енергії

Україна активно долучилася до процесу використання альтернативних видів енергії і щороку нарощує темпи розвитку відновлюваної енергетики. Законотворчі акти утворили легітимне поле для ефективного використання альтернативного енергозабезпечення.

Вперше на законодавчому рівні в Україні визначено термін нетрадиційні і поновлювальні джерела енергії Законом України *«Про енергозбереження»* від 1 липня 1994 р. Закон визначив не тільки поняття альтернативної енергії, а й встановив правове регулювання, яке застосовується до юридичних і фізичних осіб котрі проводять роботу з будівництва і реконструкції об'єктів відновлювальної енергетики. Також даним законом передбачено надання податкових пільг підприємствам – виробникам енергозберігаючого обладнання, техніки і матеріалів, засобів вимірювання, систем контролю і управління енергоспоживанням і підприємствам, що використовують обладнання, що працює на нетрадиційних і відновлювальних джерелах енергії.

У 2003 р. Верховною Радою України було прийнято Закон *«Про альтернативні джерела енергії»*, що визначено правові, економічні, екологічні та організаційні засади використання альтернативних джерел енергії, забезпечено сприяння розширення їх використання у паливно-енергетичному комплексі. Даним законом альтернативна енергетика визначається як сфера енергетики, що забезпечує вироблення електричної, теплової та механічної енергії з альтернативних джерел енергії. Закон описує альтернативні джерела енергії як відновлювані джерела, до яких належать енергія

сонячна, вітрова, геотермальна, енергія хвиль та припливів, гідроенергія, енергія біомаси, газу з органічних відходів, газу каналізаційно-очисних станцій, біогазів, та вторинні енергетичні ресурси, до яких належать доменний та коксівний гази, газ метан дегазації вугільних родовищ, перетворення скидного енергопотенціалу технологічних процесів.

У 2009 р. Верховною Радою України було прийнято Закон *«Про альтернативні види палива»*. Цей Закон визначає правові, соціальні, економічні, екологічні та організаційні засади виробництва (видобутку) і використання альтернативних видів палива, а також стимулювання збільшення частки їх використання до 20 % від загального обсягу споживання палива в Україні до 2020 р. Основними принципами державної політики у сфері альтернативних видів палива є:

- сприяння розробці та раціональному використанню нетрадиційних джерел енергетичної сировини для виробництва (видобутку) альтернативних видів палива з метою економії паливно-енергетичних ресурсів та зменшення залежності України від їх імпорту;
- поетапне збільшення нормативно визначеної частки виробництва та застосування біопалива та сумішевого палива моторного;
- зменшення негативного впливу на довкілля через використання альтернативних видів палива з відходів різного роду діяльності, додержання екологічної безпеки виробництва (видобутку), транспортування, зберігання та споживання альтернативних видів палива;
- підтримка розвитку науково-технічної бази виробництва (видобутку) альтернативних видів палива;
- підтримка підприємництва у сфері альтернативних видів палива на основі державного захисту інтересів підприємця.

У Законі України *«Про електроенергетику»*, що було прийнято Верховною Радою України у 1998 р. визначено принципи Державної політики в електроенергетиці, що сприяють розвитку ВДЕ, а саме сприяння розвитку альтернативної енергетики як екологічно чистої і безпаливної підгалузі енергетики шляхом встанов-

лення «зеленого тарифу» та оплати електростанціям, які виробляють електричну енергію з використанням альтернативних джерел енергії (крім доменного та коксівного газів, а з використанням гідроенергії – вироблену лише малими гідроелектростанціями), всієї виробленої ними електричної енергії в повному обсязі у грошовій формі, без застосування будь-яких видів заліків погашення заборгованості із розрахунків за електроенергію.

Закон України *«Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання скидного енергопотенціалу»*, прийнятий Верховною Радою України у 2005, визначив засади діяльності у сфері використання когенераційних установок, а також відносини, пов'язані з особливостями виробництва, передачі і постачання електричної та теплової енергії від когенераційних установок. Метою цього Закону є створення правових засад для підвищення ефективності використання палива в процесах виробництва енергії або інших технологічних процесах, розвитку та застосування технологій комбінованого виробництва електричної і теплової енергії, підвищення надійності та безпеки енергопостачання на регіональному рівні, залучення інвестицій на створення когенераційних установок.

У 2015 р. Верховною Радою України було прийнято Закон *«Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення конкурентних умов виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії»*. Законом запроваджено механізми стимулювання виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії.

Окрім перелічених вище законів, питання енергозбереження та використання альтернативних джерел енергії розглянуті в низці інших нормативно-правових актів, а саме:

Закон України *«Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо стимулювання заходів з енергозбереження»*;

Закон України *«Про регулювання містобудівної діяльності»*;

Закон України *«Про засади державної мовної політики»*;

Закон України *«Про запровадження нових інвестиційних можливостей, гарантування прав та законних інтересів суб'єктів підприємницької діяльності для проведення масштабної енергомодернізації»*;

Закон України «Про внесення змін до Бюджетного кодексу України щодо запровадження нових інвестиційних можливостей, гарантування прав та законних інтересів суб'єктів підприємницької діяльності для проведення масштабної енергомодернізації»;

Постанова Кабінету Міністрів України «Про продовження строку виконання Державної цільової економічної програми енергоефективності і розвитку сфери виробництва енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива на 2010—2015 роки»;

Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Примірнього енергосервісного договору»;

Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Технічного регламенту енергетичного маркування електричних ламп та світильників»

Постанова Кабінету Міністрів України «Деякі питання використання у 2015 році коштів для здійснення заходів у сфері енергоефективності та енергозбереження»;

Постанова Кабінету Міністрів України «Деякі питання діяльності центральних органів виконавчої влади»;

Постанова Кабінету Міністрів України «Про визнання таких, що втратили чинність, деяких постанов Кабінету Міністрів України щодо ввезення на митну територію України енергозберігаючих матеріалів, обладнання, устаткування та комплектуючих»;

Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Положення про Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України»;

Постанова Кабінету Міністрів України «Деякі питання використання коштів у сфері енергоефективності та енергозбереження»;

Постанова Кабінету Міністрів України «Про стимулювання заміщення природного газу під час виробництва теплової енергії для установ та організацій, що фінансуються з державного і місцевих бюджетів»;

Постанова Кабінету Міністрів України «Про внесення змін до Порядку використання коштів, передбачених у державному бюд-

жесті для державної підтримки заходів з енергозбереження через механізм здешевлення кредитів»;

Постанова Кабінету Міністрів України «Про стимулювання заміщення природного газу у сфері теплопостачання»;

Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження технічних регламентів щодо енергетичного маркування»;

Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Технічного регламенту щодо максимально дозволеного споживання електроенергії холодильними приладами»;

Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження переліку товарів власного виробництва, 80 відсотків прибутку підприємств від продажу яких на митній території України звільняється від оподаткування»;

Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку використання коштів, передбачених у державному бюджеті для виконання Державної цільової економічної програми енергоефективності і розвитку сфери виробництва енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива на 2010-2015 роки»;

Постанова Кабінету Міністрів України «Питання реалізації Державної цільової економічної програми енергоефективності на 2010-2015 роки»;

Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Державної цільової економічної програми енергоефективності і розвитку сфери виробництва енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива на 2010-2015 роки»

Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку проведення кваліфікації когенераційної установки»;

Постанова Кабінету Міністрів України «Про порядок видачі свідоцтва про належність палива до альтернативного»;

Постанова Кабінет Міністрів України «Про державну експертизу з енергозбереження»;

Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження переліків корисних копалин загальнодержавного та місцевого значення»

Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про Національний план дій з енергоефективності на період до 2020 року»;

Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення розробленого Державним агентством з енергоефективності та енергозбереження плану імплементації деяких актів законодавства ЄС»;

Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення розроблених Міністерством економічного розвитку і торгівлі планів імплементації деяких актів законодавства ЄС»:

- *Директива 2006/32/ЄС про ефективність кінцевого використання енергії та енергетичних послуг, а також про скасування Директиви Ради 93/76/ЄЕС;*

- *Директива 2010/30/ЄС про вказування за допомогою маркування та стандартної інформації про товар обсягів споживання енергії та інших ресурсів енергоспоживчими продуктами;*

- *Директива 2010/31/ЄС щодо енергетичної ефективності будівель;*

Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про затвердження плану заходів з імплементації Директиви Європейського Парламенту та Ради 2009/28/ЄС»;

Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року»;

Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про утворення територіальних органів Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження»;

Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про програми підвищення енергоефективності та зменшення споживання енергоресурсів»;

Наказ Держенергоефективності України «Про затвердження Галузевого класифікатора енергозберігаючих товарів»;

Наказ Держенергоефективності «Про затвердження Угоди про взаємодію між спеціалізованою організацією, атестованою Держенергоефективності на право проведення енергетичного аудиту та Центральною групою енергетичного аудиту Держенергоефективності»;

Наказ Держенергоефективності України *«Про затвердження Методики розрахунку показника енергоємності валового регіонального продукту»;*

Наказ НАЕР *«Про затвердження Типової методики «Загальні вимоги до організації та проведення енергетичного аудиту»;*

Наказ НАЕР *«Про затвердження Методики галузевих, регіональних програм енергоефективності та програм зменшення споживання енергоресурсів бюджетними установами шляхом їх раціонального використання»;*

Наказ НАЕР *«Про затвердження Порядку включення до Державного реєстру підприємств, установ, організацій, які займаються розробкою, впровадженням та використанням енергозберігаючих заходів та енергоефективних проектів»*

1.9.2. Основні положення Енергетичної стратегії України

У січні 2006 р. Верховна Рада України за поданням Міністерства палива та енергетики прийняла *Основні положення Енергетичної стратегії України на період до 2030 р.* Відповідно до Стратегії освоєння нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії розглядається як важливий фактор підвищення рівня енергетичної безпеки та зниження антропогенного впливу енергетики на довкілля. Масштабне використання потенціалу нетрадиційної енергетики в Україні має не тільки внутрішньодержавне, а й значне міжнародне значення. Адже альтернативна енергетика постає як вагомий чинник протидії глобальним змінам клімату планети в цілому, покращання загального стану енергетичної безпеки світу, зокрема. Тому напрями стратегічного розвитку даної галузі в нашій країні повинні сприяти солідарним зусиллям світової спільноти у сфері енергетики та відповідати основним принципам Зеленої книги «Європейська стратегія сталої, конкурентоздатної та безпечної енергетики».

Через низку причин у 2013 р. Стратегію було уточнено та оновлено. Стратегія передбачає, що розвиток відновлювальних джерел енергії забезпечить значний ефект скорочення використання традиційних джерел енергії, викидів шкідливих та парникових

газів, покращить загальний екологічний стан навколишнього середовища.

Цілями Енергетичної стратегії України є:

- створення умов для надійного та якісного задоволення попиту на енергетичні продукти за найменших сукупних витрат, при цьому економічно обґрунтовано;

- підвищення енергетичної безпеки держави;

- підвищення ефективності споживання та використання енергопродуктів;

- зменшення техногенного навантаження на навколишнє середовище і забезпечення цивільного захисту у сфері техногенної безпеки ПЕК.

Виходячи із зазначених цілей, основними завданнями й напрямками реалізації Енергетичної стратегії України є:

- формування цілісної та дієвої системи управління та регулювання в паливно-енергетичному секторі, розвиток конкурентних відносин на ринках енергоносіїв;

- поступова лібералізація та розвиток конкурентних відносин на ринках енергоресурсів і ринках пов'язаних послуг;

- створення передумов для істотного зменшення енергоємності економіки через впровадження нових технологій, прогресивних стандартів, сучасних систем контролю, управління й обліку, транспортування та споживання енергетичних продуктів і розвитку ринкових механізмів стимулювання енергозбереження;

- збільшення видобутку та виробництва власних енергоресурсів з урахуванням економіки видобування, а також збільшення обсягів енергії та енергопродуктів, видобутих із нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії;

- диверсифікація зовнішніх джерел поставок енергетичних продуктів;

- досягнення збалансованості економічно обґрунтованої цінової політики щодо енергетичних продуктів, яка повинна забезпечити покриття видатків на їх виробництво й доставку до кінцевого споживача, а також створення відповідних умов для надійного функціонування та сталого розвитку підприємств ПЕК;

- створення умов для залучення до ПЕК приватних інвестицій, нових технологій і сучасного досвіду ефективної роботи;

- нормативно-правове забезпечення реалізації цілей розвитку ПЕК України з урахуванням наявного внутрішнього законодавчого поля, численних зобов'язань, передбачених міжнародними договорами, а також вимогами європейського енергетичного законодавства.

Стратегією розвитку енергетики країни передбачено:

Зростання обсягів споживання первинних енергоносіїв з 205,2 млн т у.п. в 2005 р. до 302,7 млн т у.п. в 2030 р. (на 47,5 %). Випередження темпів економічного зростання порівняно з темпами споживання енергоресурсів буде забезпечено чере масштабне впровадження технічного та структурного енергозбереження, що дозволить знизити рівень споживання ПЕР більш ніж в 2 рази.

Споживання основних видів ПЕР до 2030 р.: електричної енергії – зросте в 2,2 рази і складе в 2030 р. 395,1 млрд квт-год; крім того, передбачена можливість її експорту в обсязі 25 млрд кВт-год у 2030 р.; вугільної продукції – збільшиться майже в 2 рази (до 130,3 млн т); природного газу – зменшиться майже на 36 % (до 49,5 млрд м³).

Через пріоритетний розвиток вугільної та ядерної промисловості, нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії з одночасним зниженням енергоємності продукції буде досягнуто майже п'ятикратне зниження рівня енергетичної залежності країни – з 54,8 % у 2005 р. до 11,7 % в 2030 р.

Щодо перспектив розвитку електроенергетики передбачено наступне:

Попит на електроенергію в Україні в 2030 р. складе від 244 до 315 ТВт-год, що на 50% вище рівня 2010 р. (191 ТВт-год). Переважно це буде зумовлено зростанням споживання в промисловості (на 40 %) та в сфері послуг (на 100 %).

Обсяг виробництва електричної енергії зросте з 185,2 млрд квт-год в 2005 р. до 420,1 млрд квт-год в 2030 р. (в 2,3 рази). При цьому буде збережена домінуюча частина виробництва електроенергії на теплових (40,8 % в 2005 р, 39,8 % у 2030 р.) і атомних

(47,9 % і 52,1 % відповідно) електростанціях. Разом з тим збільшиться виробництво електроенергії на гідроелектростанціях з 12,1 млрд кВт-год (6,5 %) у 2005 році до 14,1 млрд кВт-год (3,4 %) у 2030 р. і через нетрадиційні та відновлювані джерела енергії з 0,01 у 2005 р. до 2,0 млрд кВт-год у 2030 р..

Втрати електроенергії в електромережах на її транспорт будуть знижені з 14,7 % в 2005 р. до 8,2 % в 2030 р., а питомі витрати палива на виробництво електроенергії – з 378,9 до 345,7 г/кВт-год. Частка електроенергії, виробленої на імпортному паливі, знизиться з 61,9 % в 2005 р. до 8,3 % в 2030 р. (в 7,5 рази). Для забезпечення зазначених обсягів виробництва електроенергії встановлена потужність електростанцій зросте з 52 до 88,5 млн кВт в 2030 р., в тому числі на теплових електростанціях – з 30,2 до 42,2 млн кВт і на атомних електростанціях – з 13,8 до 29,5 млн кВт. Потужності ГЕС – ГАЕС будуть збільшені з 4,7 до 10,5 млн кВт, що забезпечить енергосистему країни необхідними маневреними потужностями. Передбачені необхідні обсяги спорудження ліній електропередачі і комплексних систем управління і протиаварійного захисту для видачі потужностей електростанцій, забезпечення надійної роботи Об'єднаної енергосистеми і можливостей її інтеграції з європейською енергосистемою та збільшення експорту електроенергії.

В атомній енергетиці передбачено:

Здійснити комплекс заходів щодо підвищення безпеки та продовження терміну експлуатації 12 діючих енергоблоків АЕС, виведення з експлуатації 6 енергоблоків після завершення терміну їх експлуатації, а також введення в експлуатацію до 2030 р. 18,5 млн кВт нових потужностей, переважно на існуючих майданчиках. Для забезпечення власних потреб атомних електростанцій України передбачено розвиток уранового виробництва (концентрату природного урану), виробництво цирконію і цирконієвих сплавів, будівництво заводу для виготовлення власних тепловиділяючих збірок, а також вирішення питань безпечного розміщення відпрацьованого ядерного палива та радіоактивних відходів.

У теплопостачанні передбачено:

Радикальні зміни в структурі джерел теплопостачання, які обумовлені значним зростанням світових цін на природний газ, на-

фту і нафтопродукти при відносно стабільних цінах на електроенергію. Прогнозується поступове заміщення ТЕЦ і котелень на газовому паливі іншими прогресивними технологіями генерування тепла (індивідуальні теплогенератори, теплові насоси, системи акумуляційного обігріву, біомаса, шахтний метан і т.п.).

Енергозбереження – один з визначальних факторів ресурсного забезпечення ефективного функціонування економіки країни. Стратегією передбачено довести рівень збереження енергії до величини, що рівноцінна заміщенню 318 млн т у.п., що майже в 2 рази перевищує рівень сучасного споживання, в тому числі через технологічне енергозбереження 197,4 млн т у.п. і структурного – 120,3 млн т у.п.

Основний потенціал технологічного енергозбереження зосереджений в найбільш енергоємних секторах економіки – чорна металургія, хімічна і нафтохімічна промисловість, промисловість будівельних матеріалів, агропромисловий комплекс. В електроенергетиці через модернізацію, реконструкцію та впровадження сучасного обладнання передбачено знизити питомі витрати палива з 378,9 до 345,7 г/кВт-год, що рівноцінно вивільненню 18,5 млн т у.п. (або 15,9 млрд м³ природного газу) і через зниження витрат електроенергії в електромережах на її транспорт – з 14,7 % до 8,2 % – 2,24 млн т у.п. Широке впровадження нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії дозволить замістити 57,7 млн т у.п. за провідної ролі використання біоенергетики, енергії доквілля, позабалансових джерел енергії, шахтного метану та гідроенергії малих річок. Реалізація прогнозованих заходів енергозбереження до 2030 р. дозволить вийти на світовий рівень енергоємності ВВП та її зниження з 0,89 кг у.п. на долар США до 0,41 кг у.п. на долар США.

Основні джерела забезпечення фінансових потреб розвитку енергетики:

- оптимізація цінової і тарифної політики з включенням необхідних витрат на розвиток енергетичних підприємств до відповідних тарифи;

- активізація інвестиційної політики в паливно-енергетичного комплексу;

- законодавче запровадження прискореної амортизації основних фондів;
- залучення коштів від реструктуризації та погашення заборгованості минулих років учасників енергоринок;
- використання коштів, отриманих від реалізації положень Кіотського протоколу по проектам спільного впровадження;
- розширення залучення кредитних ресурсів, внутрішніх і зовнішніх інвестицій.

Очікувані результати від реалізації Стратегії:

1. Забезпечення в необхідних обсягах надійного та якісного постачання економіки та населення країни енергетичними продуктами, підвищення економічної ефективності та екологічної безпеки завдяки впровадженню новітніх технологій під час модернізації, реконструкції та введення в експлуатацію нового обладнання.

2. Зниження енергоємності ВВП з 0,89 кг у.п. на 1 долар США в 2005 р. до 0,41 кг у.п. на 1 долар США в 2030 р. (тобто в 2,2 рази) через структурне та технологічне енергозбереження.

3. Оптимізація структури виробництва електроенергії за видами палива із забезпеченням такого співвідношення: АЕС – 52,1 %, ТЕС, ТЕЦ, блок-станції – 42,9 %, інші типи генерації – 5,0 %. Таке співвідношення виробництва забезпечить економічну роботу електростанцій та умови регулювання Об'єднаної енергосистеми України.

4. Досягнення соціальної спрямованості розвитку ПЕК, зокрема шляхом створення нових робочих місць, поліпшення умов роботи і техніки безпеки.

5. Забезпечення енергетичної безпеки шляхом:

- зменшення рівня енергетичної залежності країни від зовнішніх поставок палива (природний газ, нафта, уран) з 54,8 % в 2005 р. до 11,7 % – у 2030 р., в тому числі збільшенням використання власного вугілля, урану і газу;

- зростання виробництва електроенергії на власному паливі з 38,15 % у 2005 р. до 91,7 % – у 2030 р.;

- диверсифікації джерел і маршрутів постачання природного газу та нафти завдяки участі України в міжнародних енергетичних проектах, зокрема розширення участі країни в розробці нафто-

газових родовищ і розвитку нафтогазової інфраструктури за кордоном;

- створення в країні стратегічного резерву нафти та природного газу для використання в надзвичайних ситуаціях і ринкового регулювання цін.

Державне регулювання розвитку енергетики буде здійснюватися через відповідну цінову, податкову, митну, антимонопольну політику та інші засоби регулювання природних монополій, удосконалення законодавства і нормативно-правової бази функціонування енергетичного сектора економіки. Важливим засобом досягнення цілей і завдань Енергетичної стратегії України до 2030 р. є формування необхідної економічної і соціального середовища, сприятливого громадської думки.

У той же час аналіз основних положень Енергетичної стратегії до 2030 р. свідчить, що вона концептуально все ще не відповідає сучасним європейським вимогам щодо енергетичної та екологічної безпеки, а також існуючим економічним реаліям України. У першу чергу це стосується окреслених перспектив розвитку атомної енергетики, енергозбереження, використання поновлюваних джерел енергії, використання водних ресурсів. Викликає сумнів необхідність і можливість будівництва 22 нових атомних енергоблоків: проблематичність забезпечення всіх працюючих АЕС необхідною кількістю води для охолодження, відсутність технічної можливості будівництва і введення в експлуатацію двох нових атомних енергоблоків кожні два роки, відсутність надзвичайно великих субсидій для будівництва нових атомних енергоблоків. Відзначається, що Україна ніколи не матиме замкнутого циклу виробництва ядерного палива через політичні (розповсюдження ядерної зброї) і економічних (значні капіталовкладення, що ніколи не повернуться) факторів. Викликає занепокоєння значна залежність атомної енергетики України від інших країн, особливо від Росії, яка поставляє ядерне паливо і більшу частину технологічного обладнання для АЕС, перш за все атомні реактори.

На підставі ретельного аналізу Енергетичної стратегії України до 2030 р. науковці роблять висновки про необхідність розробки більш реальної програми розвитку паливно-енергетичного ком-

плексу з урахуванням, у першу чергу, економічних і технічних можливостей країни, більш ефективного використання енергії та розвитку наявних енергетичних ресурсів, особливо поновлюваних джерел енергії.

Рекомендуються такі заходи:

- проведення спеціального дослідження для визначення фактичних втрат енергоресурсів в різних областях народного господарства для оцінки повного потенціалу енергозбереження, зокрема в секторі житлово-комунального господарства;

- перегляд прогнозу споживання первинних енергоресурсів в Україні відповідно до планів зростання ВВП і зниження його енергоемності;

- проведення ретельного аналізу стану і перспектив будівництва нових атомних енергоблоків з урахуванням прозорих економічних розрахунків витрат на переробку та зберігання ядерних відходів, відпрацьованого ядерного палива та інших непередбачених стратегією витрат ядерного комплексу;

- проведення широкого громадського обговорення стратегії і альтернативних сценаріїв із залученням всіх зацікавлених сторін в прийнятні терміни, які дозволяють їх всебічний розгляд.

Рекомендації щодо екологізації паливно-енергетичного комплексу України

Невідкладним кроком у напрямі покращення енергетичної ситуації України, зменшення її енергозалежності, а також подальшої інтеграції в Європейську співдружність, повинна стати усебічна підтримка держави розвитку та впровадження альтернативних енергетичних установок у регіонах з найвищими показниками економічної доцільності. Цього можливо досягнути шляхом виконання наступних дій:

- удосконалення низки існуючих законодавчих актів щодо відновлювальних джерел енергії, що б сприяли підвищенню економічної ефективності виробництва альтернативної енергії;

- розроблення інвестиційних проектів з метою залучення додаткових вкладень в дану галузь;

- надання гарантій державою виробникам «чистої» енергії щодо її купівлі за фіксованими тарифами;

- забезпечення рівня енергетичної безпеки України завдяки модернізації мережі існуючих енергетичних установок, підвищення рівня їх надійності та безперебійності роботи;

- інформування населення України щодо перспективності використання нетрадиційних джерел енергії, необхідності збереження довкілля та зменшення викидів парникових газів в атмосферу від спалювання традиційних видів палива.

За період 1997–2005 р. в Україні заміщено понад 84 млн т у.п. традиційних паливно-енергетичних ресурсів, за рахунок використання енергії виробленої на об'єктах альтернативної енергетики. Тобто доцільно продовжити термін дії Програми розвитку нетрадиційних відновлюваних джерел енергії до 2030 р..

У цілому виконання програм з енергозбереження, в тому числі програм зі створення об'єктів альтернативної енергетики (Програма НВДЕ), в перспективі може забезпечити для України наступне:

- зміцнення державності України підвищенням енергетичної та економічної незалежності;

- зниження енергоємності внутрішнього валового продукту;

- досягнення світового рівня ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів;

- зменшення обсягів імпорту паливно-енергетичних ресурсів;

- створення ринку енергозберігаючого та науково обладнання, відповідної техніки та технологій;

- технічне та технологічне переоснащення енергоємного виробництва;

- конкурентноздатність вітчизняних товарів;

- підвищення добробуту громадян;

- підвищення рівня зайнятості населення;

- підвищення рівня зайнятості населення;

- підвищення рівня безпеки праці та культури виробництва;

- покращення стану здоров'я людей;

- зменшення обсягів шкідливих викидів у довкілля;
- відтворення природних ресурсів;
- виконання міждержавних угод щодо підвищення рівня екологічної безпеки.

Обнайдійливим є також і зростаюче усвідомлення підприємствами нагальної потреби підвищення енергоефективності виробництва у комплексі з екологічною безпекою, отримання енергоносіїв та використання з цієї метою альтернативних джерел, горючих відходів згубних для довкілля, що підлягають знешкодженню, викидів як додаткового джерела енергоресурсів.

Питання для самоперевірки

1. Охарактеризуйте поняття технологічного укладу суспільства.
2. Що є причиною зміни технологічних укладів суспільства?
3. Які ви знаєте провідні країни-виробники вугілля?
4. Висвітліть перспективи розвитку світової нафтогазопереробної галузі?
5. Які перспективи видобування та використання уранової руди у світі?
6. Сформулюйте основні принципи ведення державної політики щодо забезпечення енергетичної безпеки держави
7. Як виглядає структура видобутку енергетичних корисних копалин в Україні?
8. Наведіть причини переходу сучасного суспільства на альтернативні джерела енергії.
9. Що таке енергетичний потенціал відновлюваних джерел енергії?
10. Розкрийте сутність поняття «збалансована енергетика».
11. У чому полягає особливість поняття «низько вуглецева енергетика»?
12. Наведіть класифікацію енергетичних ресурсів відпо-

- відно до ступеню переробки.
13. Що таке первинні та вторинні енергоресурси?
 14. Які енергоресурси відносять до не відновлюваних джерел енергії? Охарактеризуйте їх.
 15. Які енергоресурси відносять до відновлюваних джерел енергії? У чому їх відмінність порівняно з невідновлюваними?
 16. У чому полягає відмінність між альтернативними та відновлюваними джерелами енергії?
 17. Охарактеризуйте частку відновлюваних джерел енергії у загальній структурі споживання енергії в світі.
 18. Які види відновлюваної енергії є результатом випромінювання енергії Сонця?
 19. Які види відновлюваної енергії є результатом гравітаційної взаємодії Сонця, Місяця і Землі?
 20. Сформулюйте основні переваги використання відновлюваних джерел енергії.
 21. Дайте визначення поняттю «енергетичної рентабельності». Як змінилася енергетична рентабельність нафти та інших традиційних джерел енергії протягом останніх 100 років?
 22. Що називають пірамідою енергетичних потреб людини?
 23. Які ви зане́те основні напрями використання паливно-енергетичних ресурсів?
 24. Наведіть приклади успішних проєктів з упровадження ВДЕ у провідних країнах світу.
 25. Наведіть основні принципи розвитку енергетичної галузі України відповідно до Енергетичної стратегії України до 2035 року.
 26. Наведіть та охарактеризуйте поняття «енергозбереження».

РОЗДІЛ 2

АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ В СТРУКТУРІ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ГАЛУЗІ СВІТУ ТА УКРАЇНИ

На сьогодні сучасна енергетика в основному базується на невідновлюваних первинних джерелах енергії. Крім того виробництво і споживання таких джерел енергії є одним з основних антропогенних факторів, що негативно впливають на навколишнє середовище та не може гарантувати сталого розвитку світової енергетики у тривалій перспективі. Тому сьогодні у процесах диверсифікації світового ринку енергоресурсів важливу роль відіграє формування в його структурі такого специфічного компонента, як відновлювальна енергетика. Про усвідомлення на глобальному рівні необхідності нарощування її потенціалу свідчить той факт, що однією з основних цілей діяльності ООН на період до 2030 р. проголошено «забезпечення загального доступу країн до сучасних енергетичних послуг, подвоєння частки відновлюваних джерел енергії у світовому енергетичному балансі та подвоєння глобальних темпів підвищення енергоефективності».

2.1. Склад енергетичної системи Землі

Поняття *енергетична система Землі* трактують як загальноенергетичну систему, сукупність енергетичних ресурсів Планети всіх видів, методів їх здобуття (видобутку), перетворення, розподілу і використання, а також технічних засобів і організаційних комплексів, що забезпечують постачання споживачів всіма видами енергії.

Усі енергетичні ресурси на Землі фактично є продуктами діяльності Сонця. Як традиційна, так і відновлювана енергетика оснований на перетворенні сонячної енергії, що здійснюється прямими і непрямими методами. Прямі методи використання сонячної енергії засновані на перетворенні сонячного випромінювання в електричну або теплову енергію. Непрямі методи використовують кінетичну або потенційну енергію вітру, річок, морських припливів і хвиль, біомаси або традиційного викопного палива (вугілля, нафти і природного газу).

Виникнення енергії відновлюваних джерел пов'язане з: термоядерними процесами на Сонці (теплова та промениста енергія

Сонця, енергія вітру, енергія біомаси, гідроенергія рік і хвиль, тепла енергія оточуючого середовища, в тому числі Землі, повітря, морів та океанів); гравітаційною взаємодією Сонця, Землі та Місяця (гідроенергія припливів). Геотермальну енергію також відносять до відновлюваних видів енергії, хоча в даному випадку тепла енергія виділяється внаслідок протікання хімічних реакцій і розпаду радіоактивних елементів, запаси яких мають межу, тобто по своїй суті є невідновлюваним джерелом енергії.

Сонце – специфічний гідродинамічний об'єкт, температура надр якого настільки висока, що забезпечує синтез водню та гелію. Цей синтез вивільняє енергію у вигляді височастотного електромагнітного випромінювання, що, перевипромінюючись, поступово доходить від надр Сонця до його поверхні. Випромінювання, що досягає Землі, виходить із тонкого поверхневого шару Сонця, що називається фотосферою. Потужність випромінювання Сонця надзвичайно велика – $3,8 \cdot 10^{20}$ МВт. Електромагнітне випромінювання фотосфери Сонця поширюється у космічному просторі зі швидкістю світла.

Енергія, що щоденно випромінює Сонце, є джерелом життя на Землі. Вона підтримує у газоподібному стані земну атмосферу, постійно нагріває сушу і водойми, дає енергію вітрам і водотокам, морським течіям і хвилям, забезпечує життєдіяльність тваринного та рослинного світу. Частина сонячної енергії витрачається на створення енергоресурсів у надрах Землі у вигляді кам'яного вугілля, торфу, нафти, природного газу та інших викопних енергоресурсів. Матеріалом для утворення горючих копалин були залишки рослинності і живих організмів, що в результаті довгострокових процесів без доступу повітря та під дією високої температури і тиску перетворювалися на торф, вугілля та нафту. Таким чином, на протязі мільйонів років проходив процес біохімічного перетворення сонячної енергії.

Усе це підкреслює роль Сонця як основного первинного джерела енергії на Планеті. Загальна енергетична система Землі показана на рис. 2.1.

Уся енергетична система Землі складається з двох частин.

- 1) Динамічного потоку енергії, що проходить над поверхнею Землі.

2) Статичного запасу енергії, тобто органічного палива, ядерної та геотермальної енергії, що знаходиться під поверхнею Землі.

На поверхню Землі та на її атмосферу спрямовані такі три енергетичні потоки (додаток 1):

- сонячне випромінювання потужністю 174400 ТВт;
- гравітаційна енергія Планет потужністю 3 ТВт;
- тепловий потік із середини Землі потужністю 30 ТВт.

Біля 30 % (52000 ТВт) сонячного випромінювання відбивається в космічний простір і практично не впливає на загальний енергетичний баланс Планети. Решта, близько 70 % сонячного випромінювання, потужністю 122410 ТВт, що в 3710 разів перевищує потужність двох інших потоків енергії, є основною складовою енергетичного балансу Землі

Загальна енергія, що поглинається атмосферою та поверхнею Землі протягом року, майже в 11000 разів перевищує річне споживання енергії на Планеті.

Одна частка цієї енергії поглинається атмосферою, сушею та океаном і перетворюється в теплову енергію, що за допомогою технічних засобів можна використовувати у вигляді теплової та електричної енергії.

Під дією другої частки енергії (40000 ТВт) проходить випаровування, циркуляція та випадання води, тим самим обумовлюється виникнення течій річок, морів і океанів.

Третя частка енергії (370 ТВт) спричиняє температурні перепади, завдяки яким виникають атмосферні потоки повітря (вітер).

Четверта, найменша частина енергії (40 ТВт, що становить трохи більше 0,03 % від загального потоку енергії) поглинається рослинами і, завдяки проходженню в них процесу фотосинтезу, накопичується у вигляді органічних сполук. Цей потік енергії є одним із найважливіших – завдяки йому здійснюються фізіологічні процеси всіх живих організмів. У процесі фотосинтезу в хімічну енергію перетворюється тільки 1–2 % сонячної енергії, але навіть такої малої частки достатньо для існування всього живого світу.

За рік земна куля отримує від Сонця $1330 \cdot 10^{27}$ Ккал теплової енергії. Більша частина цієї теплової енергії затримується в атмосфері і лише 2,5 % перетворюється в енергію вітру. 25,5 %

сонячних променів після проходження через атмосферу попадає на водні ресурси, але тільки 0,04 % утворює гідроенергію. 14,5 % сонячних променів падає на тверду поверхню, але тільки 0,12 % перетворюється в хімічну енергію. Загальна кількість сонячної енергії, що досягає поверхні Землі за рік, у 50 разів перевищує всю енергію, що можна отримати із доказаних світових запасів викопного палива, і в 35000 разів перевищує нинішнє щорічне споживання енергії в світі.

Останнім часом інтерес до проблеми ВДЕ, і їх використання дуже велике в усьому світі. Одним з таких джерел є сонячна енергія. Потенційні можливості сонячної енергетики, заснованої на використанні безпосередньо сонячного випромінювання, надзвичайно великі.

Основу сучасної світової енергетики складають тепло- та гідроелектростанції. Проте їх розвиток стримується низкою факторів. Вартість вугілля, нафти і газу, на яких працюють теплові станції, зростає, а природні ресурси цих видів палива скорочуються. До того ж багато країн не мають власних паливних ресурсів або мають в недолік. Гідроенергетичні ресурси в розвинених країнах використовуються практично повністю: більшість річкових ділянок, придатних для гідротехнічного будівництва, вже освоєні. Вихід з положення, планувався у розвитку атомної енергетики. На кінець 1989 р. в світі побудовано і працювало більше 400 атомних електростанцій (АЕС). Проте сьогодні АЕС вже не вважаються джерелом дешевої і екологічно чистої енергії. Паливом для АЕС служить уранова руда – дороге і важковидобувна сировина, запаси якого обмежені. До того ж будівництво та експлуатація АЕС сполучена з великими труднощами та витратами. Лише деякі країни зараз продовжують будівництво нових АЕС. Серйозними перепонами для подальшого розвитку атомної енергетики є проблеми забруднення навколишнього середовища.

З середини 20 ст. почалося вивчення енергетичних ресурсів океану, енергії вітру, сонячної енергії, що відносяться до ВДЕ.

Океан – гігантський акумулятор і трансформатор сонячної енергії, перетворюється в енергію течій, тепла і вітрів. Енергія припливів – результат дії припливотворюючих сил Місяця і Сонця.

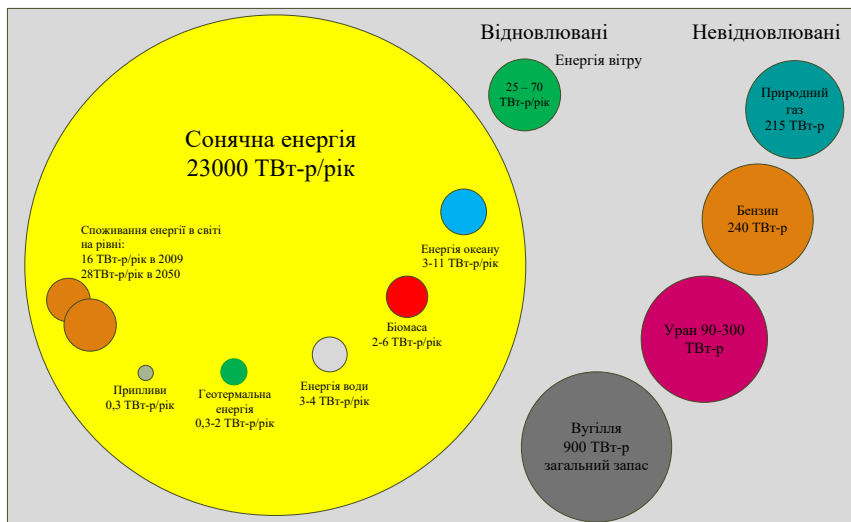


Рис. 2.1. Порівняння відновлюваних та не відновлюваних енергетичних запасів у світі (у терават-роках). Показано *загальний* обсяг запасів невідновлюваних ресурсів і *річний* потенціал показано для відновлюваних джерел.

Енергетичні ресурси океану представляють велику цінність як поновлювані і практично невичерпні. Досвід експлуатації вже діючих систем океанської енергетики, а також сонячних та вітрових систем показує, що вони не приносять якогось відчутного збитку навколишньому середовищу. При проектуванні майбутніх систем енергетики ретельно досліджується їх вплив на екологію.

Використовувати енергію річок людина почала дуже давно. У цій сфері нагромаджено великий досвід. Однак сьогодні більшість можливостей для виробництва електроенергії на ГЕС уже вичерпано. А технології використання енергії вод океану (припливи і відпливи) у промислових масштабах поки що практично не реалізовані, оскільки тут існують чималі технічні труднощі.

Вітрова енергія – один з найбільш освоєних видів відновлюваної енергетики. Упровадженню вітрових енергоустановок протягом останнього десятиліття приділялася

велика увага у США, Німеччині, Нідерландах. Проте вітрова енергетика має певні особливості, що обмежують її широке освоєння. По-перше, такі енергоустановки розташовані здебільшого у приморській зоні: саме тут дмуть постійні, досить інтенсивні вітри. По-друге, це джерело енергії порівняно малопотужне. Тому окремі вітрові установки об'єднують у батареї або використовують у побутових цілях. По-третє, такі джерела енергії не є постійно діючими, вони ефективні за умови роботи спільно з акумуляторами енергії. Однак у процесі використання великих батарей вітрових установок у США було виявлено їх шкідливий вплив на природне середовище. Щоправда, згодом цю проблему вдалося розв'язати.

Сьогодні світові лідери науково-технічного прогресу (НТП) сформулювали основні висновки щодо розвитку вітрової енергетики. А саме: вона ефективна для задоволення потреб розподілених споживачів малих енергетичних потужностей. Зокрема, у невеликих населених пунктах, особливо у сільській місцевості. Розвиток тут вітрової енергетики сприятиме забезпеченню сільських жителів не лише енергією, а й робочими місцями. Для постачання енергії «точковим» споживачам великих потужностей вітрові енергоустановки малоефективні.

У галузі використання сонячної енергії також уже нагромаджено чималий досвід. Енергія Сонця має ті самі особливості, що й вітрова. Джерелом енергії сонячного випромінювання служить термоядерна реакція на Сонці. Сонячна енергія випускається у вигляді електромагнітного випромінювання. Щоб використовувати його енергію, необхідно вирішити такі питання, як: вловити його найбільший потік, зберегти і передати похідні від нього тепло і електрику без втрат. Сонце – джерело енергії дуже великої потужності. 22 дня сонячного світла, що приходить на Землю, за сумарною потужністю дорівнюють всім запасам органічного палива на Землі. Проблема в тому, як використовувати сонячну енергію у виробничих і побутових цілях. У середніх і високих широтах «запаси» сонячної енергії порівняно невеликі. Окреме її джерело, як правило, малопотужне і не може бути стабільним стосовно часового параметра.

Для нарощування потужностей потрібні величезні площі, внаслідок чого відразу виникає проблема очищення поверхні

сонячних батарей. Загальні висновки щодо сонячної енергетики збігаються з висновками стосовно розбудови вітрових енергоустановок: сонячна енергетика ефективна для задоволення потреб розподілених споживачів лише малих енергетичних потужностей.

Останнім часом у розвинених країнах активно працюють над технологіями виробництва теплової енергії з біомаси та інших видів палива (деревні відходи, солома, торф тощо), біогазу – із гною великої рогатої худоби, біодизелю – з ріпаку. Допмагаючи переробляти в енергію відходи, стічні води, метан, такий напрям відновлюваної енергетики досить перспективний з екологічного погляду, однак розробка і впровадження цих технологій потребують чималих інвестицій. Якщо установки для використання вітрової, сонячної енергії є пасивно чистими, то біогазові установки є активно чистими. Такі установки усувають екологічну небезпеку тих продуктів, які й використовують як джерело енергії. Наприклад, технологія метанового зброджування перегною дозволяє отримувати біогаз і усуває бактеріальне, хімічне забруднення ґрунту, води, повітря, що відбувається у накопичувачах гною. При цьому виробляються високоякісні добрива, білково-вітамінні кормові добавки, тому вона є безвідходною. Окрім того, енергоустановки, що працюють на таких джерелах, розраховані на забезпечення енергією невеликих населених пунктів.

2.2. Енергетичні системи. Форми зберігання та перетворення енергії

Енергія є корисною, тільки тоді, коли є доступною, у той час і у тому місці, де нам потрібно. Проведення енергії туди, де вона є необхідною, називається постачання або передача; зберігання її доступною до того часу, коли вона знадобиться називається збереження. Відповідно до загальної екології, біомаса – це запас енергії для тварин та паразитів, при цьому насіння є формою її постачання та розподілу. У вченні про суспільство і технології, збереження енергії, її місцевий розподіл та постачання на далекі відстані не є новими поняттями. Традиційно викопне та ядерне палива є ефективними джерелами енергії з великою її густиною, а високовольтні лінії електропередач дозволяють

передавати енергію на значні відстані. Проте, з активним розвитком відновлюваної енергетики постала потреба розроблення нових способів та методів збереження енергії, включаючи вторинні палива, а також удосконалення способів постачання та подачі енергії, особливо електричної. Відновлювані енергетичні запаси мають вимоги до зберігання і постачання, відмінні від таких для викопного та ядерного палив. Зазвичай низька навантаженість і можливість широкого розповсюдження більшості відновлюваних джерел сприяють їх децентралізації, що безсумнівно має користь для кінцевих споживачів, а відмінна часова залежність сприяє інтеграції декількох виробників енергії та зберігання її в загальній системі. Тим не менш, деякі відновлювані джерела енергії мають відносно великі масштаби, наприклад, великі гідроелектростанції, геотермальні та прибережні вітроелектростанції, і тому є придатними для відносно інтенсивного їх використання (наприклад, виплавка алюмінію або передача електроенергії високої напруги).

Оскільки використання відновлюваних джерел енергії порушує природний потік енергії, є проблеми у відповідності попиту і пропозиції в часових проміжках, а саме у відповідності темпів використання енергії. Ці темпи можуть змінюватися у масштабах місяців (наприклад опалення будинку в помірному кліматі), днів (наприклад, штучне освітлення) і навіть секунд (наприклад, запуск двигунів). На відміну від викопного та ядерного палив, ми не зможемо контролювати первинне накопичення відновлюваних джерел енергії. Ми маємо вибір: або узгоджувати наші потреби в енергії з наявністю відновлюваних енергоресурсів або ж зберігати енергію для використання її в майбутньому. Енергія може бути збережена в багатьох формах, наприклад, хімічній, тепловій, електричній, потенціальній або кінетичній. Крім того, поєднуючи постачання та споживання в загальну мережу (наприклад, гаряча вода, транспортування газу, рух транспорту і лінії електропередач), керовані системи мають доступ до форм віртуального її зберігання.

Біологічне зберігання енергії

Ріст рослин в процесі фотосинтезу, і подальше зберігання сонячної енергії будуть розглянуті детальніше у наступних

розділах. Енергія біологічного походження вивільняється при згоранні біологічного матеріалу рослинного та тваринного походження (біопалива), а також при згоранні деяких корисних копалин. Деякі біопалива є рідинами та газами і можуть бути використані для живлення двигунів внутрішнього згорання, отже, є особливо важливими для повної або часткової заміни традиційних нафтових палив, особливо для транспортних засобів.

Хімічне зберігання енергії

Енергія може міститися у зв'язках різноманітних хімічних сполук і вивільнятися у результаті екзотермічних реакцій, а саме горіння. Іноді необхідним є підведення тепла або інших каталізаторів для ініціації необхідної реакції. Особливою формою зберігання енергії є біохімічні сполуки. На сьогодні одним з найперспективніших джерел енергії, що мають надзвичайне практичне значення є водень.

Основним способом отримання водню є електроліз води за допомогою будь-якого джерела струму. Цей газ може зберігатися, транспортуватися та спалюватися для отримання тепла. При цьому єдиним продуктом згорання є вода, а отже не відбувається забруднення навколишнього середовища. Зміна ентальпії при згоранні водню становить $H = -242$ кДж/моль. Тобто, 242 кДж енергії виділяється при утворенні кожного молу (18 г) води. Водень (з СО у вигляді «побутового газу», отриманого з вугілля) використовувався протягом багатьох років як джерело постачання енергії, тож немає об'єктивних технічних причин не використовувати системи на основі водню для широкого споживання знову. При цьому слід зауважити, що й сьогодні основний об'єм водню отримується з паливних корисних копалин.

Електричне зберігання енергії

Електрика є високоякісною формою зберігання енергії, у зв'язку з цим значні зусилля докладаються для пошуку найдешевших і ефективних засобів для її зберігання. Пристроями, що мають як вхід так і вихід електричної енергії, називаються електричні акумулятори або акумуляторні батареї. Батареї є важливим компонентом більшості автономних енергетичних систем (особливо в системах отримання фотоелектричної та

вітрової енергії), резервних і аварійних систем живлення, а також електричних транспортних засобів. Також ведуться дослідження щодо можливості зберігання сонячної енергії безпосередньо в фотоелементах для комерційних цілей.

Паливні елементи перетворюють хімічну енергію палива безпосередньо в електричну енергію, без проміжного циклу згорання. Оскільки не існує проміжного етапу перетворення «тепла в роботу», ефективність паливних елементів не обмежується другим законом термодинаміки, на відміну від звичайних систем «паливо → тепло → робота → електроенергія». Ефективність перетворення хімічної енергії в електричну за допомогою паливного елемента, може теоретично досягати 100 %.

2.3 Енергія Сонця

Сонячна енергетика або геліоенергетика (грец. Helios – сонце) – використання сонячного випромінювання для отримання енергії в будь-якому зручному для її використання вигляді. Сонячна енергетика використовує відновлюване джерело енергії і в перспективі може стати екологічно чистою, тобто такою, що не виробляє шкідливих відходів.

Сьогодні для перетворення сонячного випромінювання в електричну енергію існує дві можливості: використовувати сонячну енергію як джерело тепла для вироблення електроенергії традиційними способами (наприклад, за допомогою турбогенераторів) або ж безпосередньо перетворювати сонячну енергію в електричний струм в сонячних елементах. Сонячну енергію використовують також після її концентрації за допомогою дзеркал – для плавлення речовин, дистиляції води, нагріву, опалювання і т. д (таблиця 2.1).

Сонячні фотоелементи вже сьогодні знаходять своє специфічне застосування. Вони виявилися практично незамінними джерелами електричного струму в ракетах, супутниках і автоматичних міжпланетних станціях, а на Землі – у першу чергу для живлення телефонних мереж в не електрифікованих районах або ж для малих споживачів струму (радіоапаратура, електричні бритви і запальнички і т.п.).

Таблиця 2.1

Використання сонячної енергії

Тип	Надходження випромінювання
Пасивне використання сонячної енергії	
З прямим уловлюванням сонячного випромінювання	Через вікна або примикає до південної стіни зимовий сад (оранжерею, теплицю)
З непрямым уловлюванням сонячного випромінювання	На теплоакумуючу стіну, розташовану за склінням південного фасаду
Активне використання сонячної енергії	
З вертикальним уловлюванням сонячного випромінювання	Через вбудовані колектори або примикає до стіни теплицю (зимовий сад, оранжерею)
З кутовим уловлюванням сонячного випромінювання	Автономні колектори, розташовані поза будівлею
З контуром примусової циркуляції повітря і галькові акумулятором теплоти	Через колектори з повітряним теплоносієм
Фотоелектричні установки наземного використання	
З кутовим і вертикальним уловлюванням сонячної радіації	Дахове, настінне, даху-настінне розміщення фотогальванічних модулів
З автономним розміщенням установок	Використання сусідніх нежитлових будівель та споруд, встановлення спеціальних каркасів для розгортання модулів

Напрями розроблення геліоенергетики

На сьогодні розроблення геліоенергетичних систем ведеться за двома напрямками:

- створення енергетичних концентраторів;
- удосконалення сонячних батарей.

Робота над першим напрямом включає в себе створення систем, що працюють за принципом концентрації енергії. Сонячна енергія в такому випадку за допомогою лінзи фокусується на відносно невеликому за площею фотоелектричному елементі. Принцип роботи сонячної батареї (генератора енергії) – пряме перетворення електромагнітного випромінювання сонця в електрику або тепло. Цей процес називається фотоелектричним ефектом (ФЕ). При цьому генерується постійний струм.

На сьогодні існують такі види сонячних батарей.

1. Фотоелектричні перетворювачі (ФЕП). Це напівпровідникові пристрої, що напряму перетворюють сонячну енергію в електрику. Певне число об'єднаних між собою ФЕП називаються сонячною батареєю.

2. Геліоелектростанції (ГЕЕ). Це сонячні установки, що використовують висококонцентроване сонячне випромінювання як енергію для приведення в дію теплових та інших машин (парових, газотурбінних, термоелектричних та ін).

3. Сонячні колектори (СК). Це нагрівальні низькотемпературні установки, що використовуються для автономного гарячого водопостачання житлових і виробничих об'єктів.

Сонячні фотоелектричні установки можуть бути наступних основних типів:

- автономні, що працюють без підключення до мережі, тобто сонячні модулі генерують електрику для освітлення, телевізора, радіо, насоса, холодильника або ручного інструменту. Для зберігання енергії використовуються акумуляторні батареї;
- сполучені з мережею – в цьому випадку об'єкт підключений до мережі централізованого електропостачання. Надлишок електричної енергії продається компанії – власнику розподільних мереж за узгодженим тарифом;

- резервні системи, в яких фотоелектричні системи підключаються до мереж низької якості. І у випадку відключення мережі або недостатньої якості мережевої напруги навантаження частково або повністю покривається сонячною системою.

На основі вище перерахованих сонячних батарей і створюються *сонячні електростанції*, що бувають двох видів:

Фотоелектричні – безпосередньо перетворюють сонячну енергію в електроенергію за допомогою фотоелектричного генератора. У ньому відбувається **пряме перетворення сонячної енергії в електричну**, що здійснюється з використанням **фотоелектричного ефекту**. Головним елементом фотоелектричних станцій є сонячні батареї. Вони складаються з тонких плівок кремнію або інших напівпровідникових матеріалів і можуть перетворювати сонячну енергію в постійний електричний струм (рис. 2.2). Під час **прямого сонячного опромінення** вони виявляють різницю в вольтажі на поверхні, тобто з'являється електричний струм (рис. 2.3).

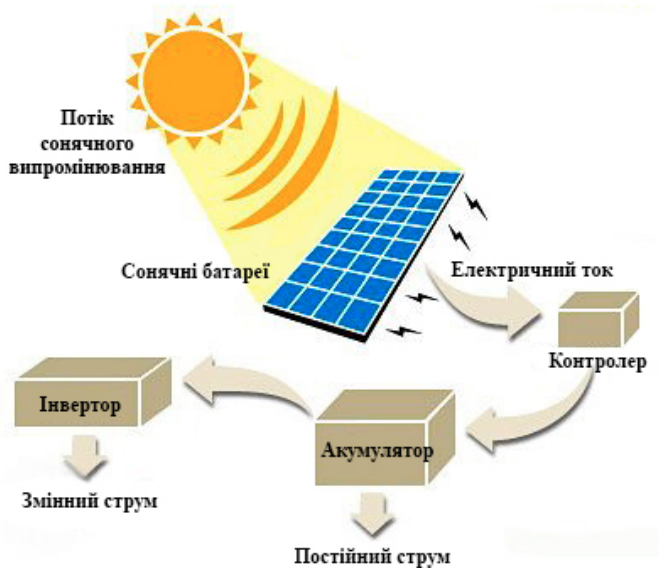


Рис. 2.2. Принцип роботи фотоелектричної сонячної електростанції

Перевага цієї системи – рівномірна ефективність незалежно від того, чи використовується вона в малих елементах – для електропостачання споживачів малого розміру або у великих комплексах – для великих будівель. Фотоелектричні перетворювачі відрізняються надійністю, стабільністю, а термін їх служби практично не обмежений. Вони можуть перетворювати як пряме, так і розсіяне сонячне світло. Невелика маса, простота обслуговування, модульний тип конструкції дозволяє створювати установки будь-якої потужності. До недоліків сонячних батарей можна віднести високу вартість і низький ККД. Сонячні батареї використовують для енергопостачання автономних споживачів малої потужності, живлення радіонавігаційної і малопотужної радіоелектронної апаратури, приводу експериментальних електромобілів і літаків. Сьогодні вже ведуться активні розробки з метою можливості їх застосування в опаленні та електропостачанні житлових будинків.

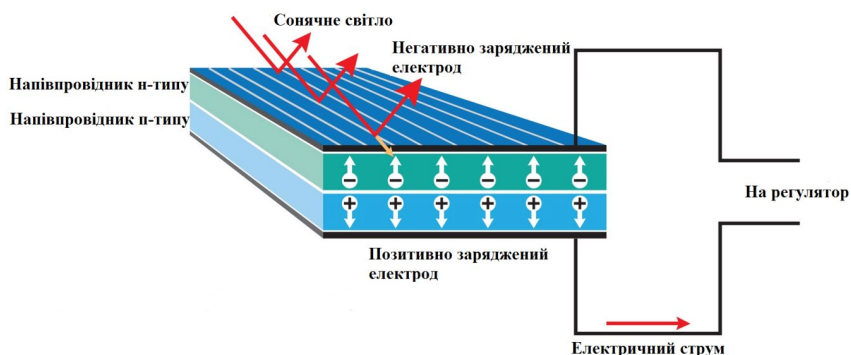


Рис. 2.3. Поперечний переріз сонячного фотоелемента

Термодинамічні сонячні електростанції працюють через *непряме перетворення* сонячної енергії в теплову, а потім в електричну. Воно здійснюється концентрацією сонячного випромінювання за допомогою слідкуючих дзеркал для перетворення води в пару і наступного використання пари для генерування електрики звичайними способами. Потужність термодинамічних сонячних електростанцій вище, ніж потужність

фотоелектричних станцій. У пристрої термодинамічних сонячних електростанцій використовують теплообмінні елементи із селективним світлопоглинаючим покриттям. Вони здатні поглинати до 97 % сонячного світла, що на них потрапляє. Ці елементи навіть через звичайне сонячне освітлення можуть нагріватися до 200 °С і більше. За допомогою них воду перетворюють на пару в звичайних парових котлах, що дозволяє отримати ефективний термодинамічний цикл у паровій турбіні (рис. 2.4.). ККД сонячної паротурбінної установки може досягати 20 %.

Такі системи можуть працювати тільки при прямому освітленні сонячними променями. З цього випливає, що виробництво енергії буде періодичним. У зв'язку з цим поверхня, призначена для отримання заданої кількості енергії, повинна змінюватися в залежності від інтенсивності та тривалості інсоляції розглянутої поверхні. Підраховано, що для жарких сухих районів, таких, як Західна Америка, Північна Америка чи Центральна Австралія, електростанція для виробництва 1 тис. МВт при очікуваній ефективності перетворення потребує сумарної площі колекторів, що рівна 13–25 км².

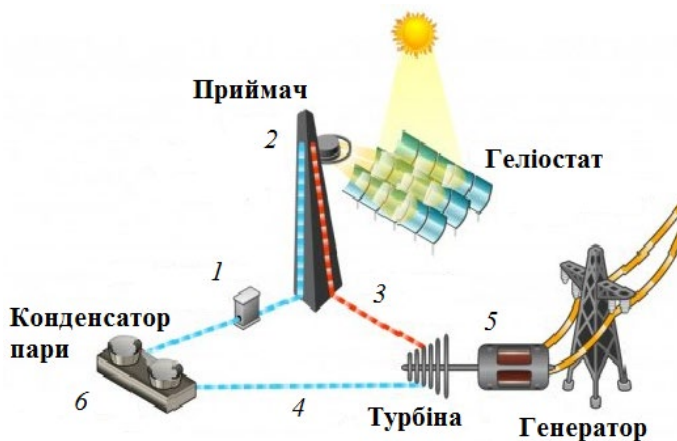


Рис. 2.4. Принцип роботи термодинамічної сонячної електростанції:

1 – насос створює тиск та нагнітає воду у приймач, 2 – вода нагрівається у приймачі щоб утворити дуже гарячу суперкритичну водяну пару під тиском, 3 – суперкритична пара рухається до турбіни, 4 – всередині турбіни пара розширюється та обертає турбіну, 5 – турбіна, що обертається, під'єднана до генератора, що створює електричний струм та живить мережу, 6 – конденсатор перетворює пару на воду і процес починається знову.

Концентрація сонячної енергії

Підвищення ефективності сонячного колектора передусім полягає в стійкому підвищенні температури води, що нагрівається вище температури кипіння. Для цього зазвичай застосовується концентрація сонячної енергії на колекторі за допомогою дзеркал. Саме такий принцип лежить в основі більшості сонячних електростанцій, відмінності полягають лише в кількості, конфігурації і розміщенні дзеркал і колектора, а також в методах управління дзеркалами. У результаті в точці фокусування цілком можливе досягнення температури навіть не в сотні, а в тисячі градусів – за такої температури вже відбувається пряме термічне розкладання води на водень і кисень (отриманий водень можна спалювати вночі та в похмурі дні).

Перетворення сонячної енергії в механічну.

Традиційні типи сонячних установок не мають на увазі безпосереднього отримання механічної роботи. До сонячної батареї на фотоперетворювачах для цього треба підключити електродвигун, а при використанні теплового сонячного колектора перегрітий пар (і тут навряд чи обійтися без дзеркал-концентраторів) треба подати на вхід парової турбіни або в циліндри парової машини. Колектори з відносно невеликим нагріванням можуть перетворювати тепло в механічний рух більш екзотичними способами, наприклад за допомогою актуаторов зі сплавів з ефектом пам'яті форми.

Досвід використання сонячної енергетики у світі

Лідерами практичного використання енергії Сонця є країни Європи та США. Великі фірми монтують на дахах виробничих корпусів геліостанції – одна така станція може покрити потреби

підприємства в енергії на 50–70 %. Геліоустановки, що розташовані на дахах і стінах будинків, на шумозахисних огорожах автодоріг, на транспортних і промислових спорудах не вимагають для розміщення дорогої сільськогосподарської або міської території.

У районах альпійського високогір'я (у Швейцарії), де нерентабельно прокладати лінії електропередач, діють автономні геліоустановки з акумуляторами. Досвід використання сонячної енергії в Швейцарії свідчить, що Сонце вже в змозі забезпечити енергетичні потреби, щонайменше, всіх житлових будинків в країні. Наприклад автономна сонячна установка селища Грімзель дає електроенергію для цілодобового освітлення автодорожнього тунелю. Поблизу міста Шур сонячні панелі, змонтовані на 700-метровій ділянці шумозахисної огорожі, щорічно дають 100 кВт електроенергії. Сонячні панелі потужністю 320 кВт, встановлені на замовлення фірми Biral на даху її виробничого корпусу в Мюнзінгене, майже повністю покривають технологічні потреби підприємства в теплі та електроенергії.

Один з перспективних напрямів використання сонячної енергії, це розвиток транспортних засобів, що використовують сонячну енергію. Сьогодні автомобілі, що працюють від сонячної енергії, розробляються і вже випускаються серійно багатьма виробниками. Більш того, вже випробувано перший безпілотний літак Helios з фотоелементами на крилах.

Фотоелектричні елементи можуть встановлюватися на різних транспортних засобах: човнах, електромобілях і гібридних автомобілях, літаках, дирижаблях і т. д. Фотоелектричні елементи виробляють електроенергію, що використовується для бортового живлення транспортного засобу, або для електродвигуна електричного транспорту.

В Італії та Японії фотоелектричні елементи встановлюють на даху потягів. Вони виробляють електрику для кондиціонерів, освітлення та аварійних систем. Існують різні міжнародні програми поширення сонячних кухонь. Сонячна енергія може застосовуватися в різних хімічних процесах. Наприклад, Ізраїльський Weizmann Institute of Science в 2005 р. випробував технологію отримання не окисненого цинку в сонячній башті. Оксид цинку в присутності деревного вугілля нагрівався дзеркалами до температури 1200 °С на вершині сонячної вежі. У

результаті процесу виходив чистий цинк. Далі цинк можна герметично упакувати і транспортувати до місць виробництва електроенергії. На місці цинк поміщається у воду, внаслідок хімічної реакції виходить водень і оксид цинку. Оксид цинку можна ще раз помістити в сонячну вежу і отримати чистий цинк. Технологія пройшла випробування в сонячній башті канадського Institute for the Energies and Applied Research. Швейцарська компанія Clean Hydrogen Producers (CHP) розробила технологію виробництва водню з води за допомогою параболічних сонячних концентраторів. Площа дзеркал установки становить 93 м². У фокусі концентратора температура досягає 2200 °С. Вода починає розділятися на водень і кисень при температурі понад 1700 °С. За світловий день 6,5 год (6,5 кВтг/ м²) Установка CHP може розділяти на водень і кисень 94,9 літрів води. Виробництво водню складе 3800 кг на рік (близько 10,4 кг на день).

Основні переваги та недоліки сонячної енергетики

Безперечно використання сонячної енергетики має низку переваг, серед яких: загальнодоступність і невичерпність джерела; теоретично, повна безпека для навколишнього середовища (проте сьогодні під час виробництва фотоелементів, а також у них самих використовуються шкідливі речовини).

У той же час на даному етапі розвитку людства невіршеними залишаються багато недоліків сонячної енергетики:

- через відносно невелику густину сонячної енергії потрібне використання великих площ землі під електростанції, але фотоелектричні елементи на великих сонячних електростанціях встановлюються на висоті 1,8–2,5 метра, що не дозволяє використовувати землі під електростанцією для сільськогосподарських потреб, наприклад, для випасу худоби;

- потік сонячної енергії на поверхні Землі сильно залежить від широти і клімату. У різних місцевостях середня кількість сонячних днів в році може дуже сильно відрізнятися;

- потужність сонячних електростанцій досить сильно залежить від часу доби і погодних умов;

- сьогодні ціна на сонячні фотоелементи все ще залишається досить високою (хоча слід відмітити, що в період 1990–2005 рр. ціни на фотоелементи знижувалися в середньому на 4 % в рік);

- не дивлячись на екологічну чистоту отримуваної енергії, самі фотоелементи містять отруйні речовини, наприклад, свинець, кадмій, гелій, миш'як і т. д., а їх виробництво споживає масу інших небезпечних речовин.

2.4. Енергія вітру

Вітроенергетика – галузь відновлюваної енергетики, що спеціалізується на використанні кінетичної енергії вітру. Використання енергії вітру є одним із найдавніших відомих способів використання енергії із навколишнього середовища, і було відоме ще в давні часи. Одним з найперших винаходів використання вітру було вітрило приблизно у п'ятому тисячолітті до н.е. Вітряні млини для переробки зерна були винайдені ще у середньовіччі. Вважається, що перші вітряки були збудовані в Сістані, деь між сучасним Іраном та Афганістаном, між дев'ятим та сьомим сторіччями до н. е. Вони мали вертикальну вісь, від шести до дванадцяти крил з полотна або очерету та використовувались як млини та помпи для води. У будівництві феномен вітру у давнину також застосовували для природної вентиляції та охолодження повітря у сухих та жарких країнах Середньої Азії.

В останні роки енергія вітру все ширше використовується для одержання електроенергії. Створюються вітряки великої потужності і встановлюються на місцевості, де дмуть часті й сильні вітри. Щоб використати вітрову енергію максимально ефективно, важливо досконало розуміти добові та сезонні зміни вітру, зміну швидкості вітру в залежності від висоти над поверхнею землі, кількість поривів вітру за короткі відрізки часу, а також статистичні дані хоча б за останні 20 років.

Енергія вітру належить до непрямих форм сонячної енергії. Джерело вітроенергетики – сонце, що спричиняє утворення повітряних потоків у атмосфері. Атмосфера землі вбирає сонячну радіацію нерівномірно через неоднорідності її поверхні та різний кут падіння світла в різних широтах в різну пору року. Повітря

розширюється та підіймається догори, утворюючи потоки. Там, де повітря нагрівається більше, ці потоки підіймаються вище та зосереджуються у зонах низького тиску, а холодніше повітря зосереджується у нижчих шарах атмосфери, створюючи зони високого тиску. Різниця атмосферного тиску змушує повітря пересуватися від зони високого тиску до зони низького тиску з пропорційною швидкістю. Саме цей рух повітря називається вітром. Від загальної кількості енергії сонця близько 1–2 % перетворюється на енергію вітру. Ця кількість вп'ятеро перевищує річну світову енергетичну потребу. Сучасні технології дозволяють використовувати тільки горизонтальні вітрові потоки, що розташовані близько до поверхні Землі та мають швидкість від 12 до 65 км/год.

Принцип роботи вітроенергетичних установок

Є дві принципово різні конструкції вітроустановок: з горизонтальною (рис. 2.5 а) і вертикальною (рис. 2.5 б) осями обертання. Найбільш поширеними є вітроустановки з горизонтальною віссю.

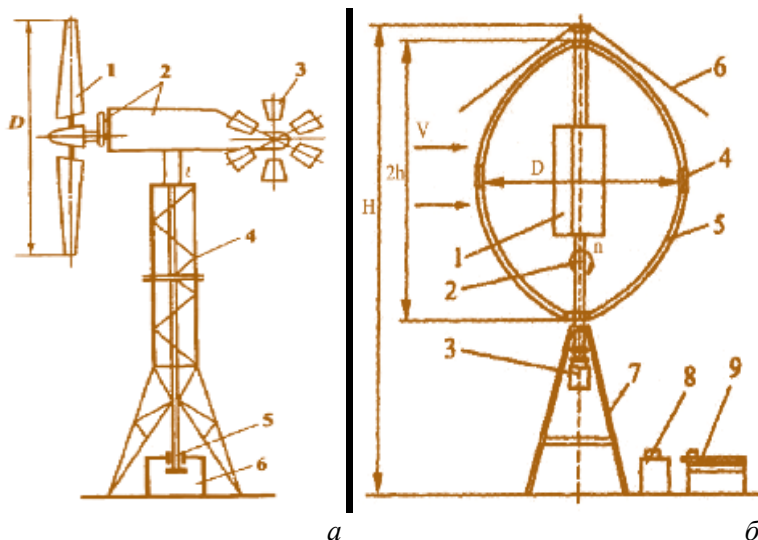


Рис. 2.5. Принципова схема вітроустановки з а – горизонтальною, б – вертикальною віссю обертання

Основними елементами вітроенергетичних установок є: вітроприймальний пристрій (лопаті), редуктор передачі крутного моменту до електрогенератора, електрогенератор і башта. Вітроприймальний пристрій разом з редуктором передачі обертаючого моменту утворює вітродвигун. Завдяки спеціальній конфігурації вітроприймаючого пристрою в повітряному потоці виникають несиметричні сили, що створюють обертаючий момент. Залежно від потужності генератора вітроустановки поділяються на класи, їхні параметри та призначення наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Класифікація вітроустановок за їх потужністю

Клас установки	Потужність, кВт	Діаметр колеса, м	Кількість лопатей	Призначення
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Малої потужності	15–50	3–10	3–2	Зарядження акумуляторів, насоси, побутові потреби
Середньої потужності	100–600	25–44	3–2	Енергетика
Великої потужності	1000–4000	> 45	2	Енергетика

Оскільки вітер може змінювати свою силу та напрямок, вітрові установки обладнуються спеціальними пристроями контролю та безпеки. Ці пристрої складаються з механізмів розвертання осі обертання за вітром, нахилу лопатей відносно землі за критичної швидкості вітру, системи автоматичного контролю потужності й аварійного відключення для установок великої потужності.

Вітроенергетичні установки з вертикальною віссю обертання мають перевагу перед установками з горизонтальною віссю, що полягає насамперед в тому, що зникає необхідність у пристроях для орієнтації на вітер, спрощується конструкція та

знижуються гіроскопічні навантаження, що зумовлюють додаткову напругу в лопатях, системі передач та інших елементах установки.

Різновидом вітроустановок з вертикальною віссю є так звана вітрова гребля, де сконцентований повітряний потік спрямовується на установку за допомогою напрямлювачів у вигляді лісосмуг, штучних перегородок у вигляді панелей, надувних конструкцій, солом'яних блоків тощо. Схему вітрової греблі наведено на рис. 2.6.

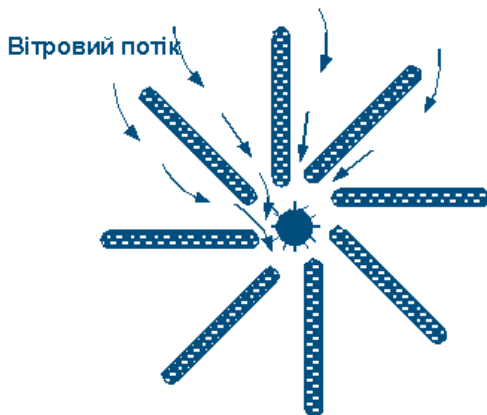


Рис. 2.6. Принцип дії вітрової греблі

Вітроенергетичний потенціал України

Україна має досить високий кліматичний потенціал вітрової енергії, що здатен забезпечувати продуктивну роботу не лише автономних вузлів живлення, але й потужних вітроелектростанцій. Згідно з даними Global Wind Energy Council близько 40 % території України придатні до генерування енергії з вітру. У середньотерміновій перспективі можна розвинути потужність енергії вітру приблизно в 5,000 МВт, тобто 20–30 % всього споживання електроенергії в країні.

Загалом, районування території за потенціалом вітрової енергії проводиться на основі кліматичного узагальнення низки показників. Вибір здійснюється за принципом їх показовості як характеристик багаторічного режиму вітрової енергії та її просторово-часової структури. Для районування території прийнято застосовувати комплекс показників:

- *середня річна швидкість* вітру створює загальне уявлення про кліматичний вітроенергетичний потенціал будь-якого району та її мінливість;

- *питома потужність, сумарні потенційні вітроенергоресурси і утилізована вітрова енергія;*

- *тривалість енергоактивної швидкості вітру та енергетичного штилю;*

- *безперервна тривалість робочої швидкості* (як критерій стабільності функціонування вітроагрегатів).

Отже, комплекс показників вітрової енергії дозволяє оцінити енергетичні можливості кожного району та розробити рекомендації щодо її раціонального використання (рис. 2.7.).

Високий потенціал вітрової енергії властивий району Донецької височини, Приазовської та Причорноморської низовин. Тут протягом року сприятливі умови для вітровикористання та ефективної роботи потужних вітроелектростанцій та автономних вітроенергоустановок. Умови вітровикористання досить сприятливі, особливо у холодний період року. Слід надавати перевагу будівництву вітроелектростанцій на прилеглих водних акваторіях, що мають особливо високий вітроенергетичний потенціал.

Поліська та Придніпровська низовини характеризуються невисоким вітровим потенціалом та нерівномірним його розподілом протягом року. Умови вітровикористання менш сприятливі, рекомендується розміщення тихохідних вітроенергоустанов, рентабельність яких підвищуватиметься у холодний період року.

Передкарпаття, Закарпаття та вузькі захищені долини Українських Карпат та Кримських гір відзначаються низьким вітровим потенціалом. Умови вітровикористання несприятливі, за винятком окремих місць, що значно домінують над навколишньою місцевістю.

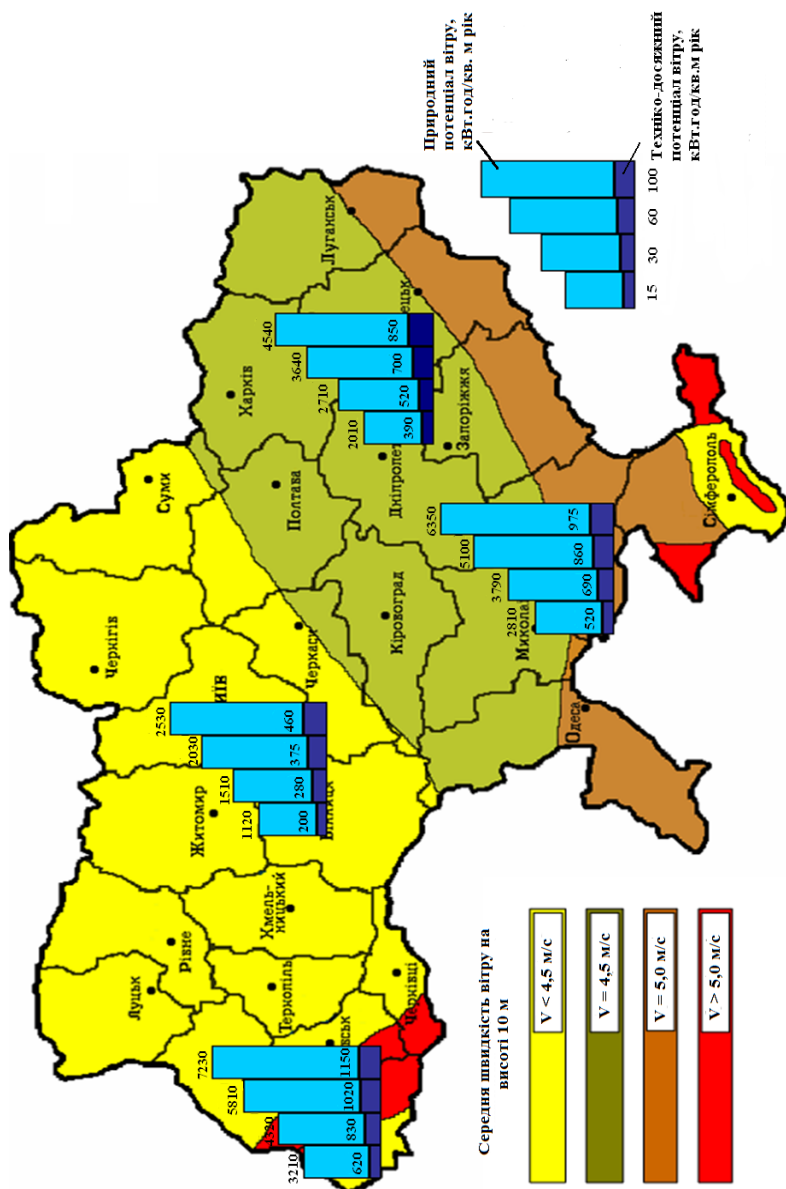


Рис. 2.7. Вітроенергетичний потенціал території України

Досвід провідних країн світу у використанні вітроенергетики

Німеччина є світовим лідером з використання енергії вітру. Загальна кількість «вітряків» у Німеччині становить понад 10 тисяч, а їх загальна сукупна потужність досягла 6900 МВт. У Нижній Саксонії працює близько 2000 таких установок, що виробляють близько 8 % електроенергії. Розроблено проект, згідно з яким почалося будівництво чотирьох промислових вітрових парків у Балтійському морі і десятих – у Північному. В Данії в 2015 р. 42,1 % електроенергії отримують на ВЕС.

Станом на кінець 2014 р. вітроелектрогенерація в ЄС становила 128,8 ГВт встановлених потужностей, і 134,0 ГВт в цілому у Європі. Така потужність забезпечила майже 10 % виробництва електроенергії Євросоюзу. У таких державах як Данія та Шотландія вітрогенерація забезпечує третину електроенергії в електробалансі держав. Так приблизно 19 % електричної енергії отримано від енергії вітру в Іспанії та 25,7 % в Португалії, 13,3 % у Німеччині та 23 % в Ірландії (станом на 2015 р.). Загалом, темпи щорічного зростання виробництва електричної енергії на основі енергії вітру в Європі становить 13,1 % (табл. 2.3).

2.5. Гідроенергетика

Гідроенергетика – галузь відновлюваної енергетики, що спеціалізується на використанні енергії від течії води. Енергія води, так само як і енергія вітру є перетвореною енергією Сонця.

Енергія води, як і енергія вітру, використовується людьми здавна як джерело механічної енергії, а починаючи з XX ст. і як джерело електроенергії. Спадання води використовувалось для обертання лопатних коліс і турбін. Понад 2000 років тому вже користувалися водяним колесом у вигляді валу з лопатками, що слугувало для розмелювання зерна, розпилювання деревини і виробництва тканин. Однак млини і лісопилні на річках стали зникати, коли у 30-х рр. XIX ст. почалося виробництво електроенергії з водоспадів.

Гідроенергетика забезпечує виробництво до 88 % відновлюваної і до 20 % всієї електроенергії в світі, встановлена гідроенергетична потужність досягає 777 ГВт.

Таблиця 2.3

Темпи зростання вітроенергетичних потужностей провідних країн світу за період 2007-2015 рр. (МВт)

Місце у рейтингу	Країна	2007	2012	2015
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
1	Китай	5,91	75,32	129,3
2	США	16,82	60,00	74,0
3	Німеччина	22,25	31,31	45,0
4	Іспанія	15,15	22,80	23,0
5	Індія	7,85	18,42	25,1
6	Італія	2,73	8,14	9,0
7	Франція	2,45	7,56	10,4
8	Великобританія	2,39	8,45	13,6
9	Канада	-	6,20	11,2
10	Бразилія	-	-	8,7
11	Португалія	2,15	4,53	4,92
12	Інші країни світу	13,06	39,85	78,78
13	Загалом	93,89	282,58	433

Рівень розвитку гідроенергетики в різних країнах і на різних континентах неоднаковий. Найбільше гідроелектроенергії виробляють Сполучені Штати, за ними йдуть Росія, Україна, Канада, Японія, Бразилія, КНР і Норвегія.

Неосвоєні гідроенергетичні ресурси Африки, Азії і Південної Америки відкривають широкі можливості будівництва нових ГЕС. На Північну Америку, в розпорядженні якої знаходиться близько 13 % загальних світових ресурсів гідроенергетики, припадає близько 35 % повної потужності діючих ГЕС. У той же час Африка (21 % світових гідроенергетичних

ресурсів) і Азія (39 %) вносять лише 5 % і 18 % відповідно до світового вироблення гідроелектроенергії. З інших континентів Європа (21 % ресурсів) дає 31 % вироблення, а Південна Америка і Австралія, разом взяті, розташовуючи приблизно 15 % ресурсів, дають тільки 11 % виробленої у світі гідроелектроенергії.

Економічне значення гідроенергоресурсів величезне: протягом багатьох років ГЕС були єдиним можливим джерелом електроенергії для багатьох районів країни. І в 70-х рр. з виявленням величезних запасів паливних ресурсів і створенням об'єднаних енергетичних систем значення гідроенергетики не втрачено. У багатьох енергосистемах ГЕС складають основу енергетики і несуть майже все основне навантаження. Електроенергія, що виробляється на ГЕС, в середньому майже в 4 рази дешевше електроенергії, одержуваної від теплових електростанцій. Тому використанню гідроенергетичних ресурсів надається особливе значення при розміщенні енергоємних виробництв.

ГЕС є мобільними енергетичними установками, вигідно відрізняються від паротурбінних теплових електростанцій в області регулювання частоти, покриття зростаючих пікових навантажень, маневрування потужністю в період нічного зниження навантажень і в ролі аварійного резерву системи.

2.5.1. Класифікація та принцип дії гідроелектростанцій

На сучасній ГЕС кінетична енергія падаючої води використовується для виробництва електроенергії. Турбіна та генератор перетворюють енергію води на механічну енергію, а потім – в електроенергію. Після цього вода стікає в річку через тунель, що поступово розширюється, втрачаючи при цьому свою швидкість. Турбіни та генератори встановлені або в самій дамбі, або поряд з нею. Іноді використовується трубопровід, щоб підвести воду, що знаходиться під тиском, нижче рівня дамби або до водозабірної гідровозлу ГЕС. Потужність ГЕС визначається, перш за все, за функціями двох змінних:

З точки зору перетворення енергії гідроенергетика – технологія з дуже високим ККД, що часто перевищує ККД звичайних теплоелектростанцій у два рази. Причина полягає в тому, що об'єм води, що падає вертикально, несе у собі величезний

заряд кінетичної енергії, що можна легко перетворити на механічну (обертальну) енергію, необхідну для виробництва електрики.

Обладнання для гідроенергетики достатньо добре розроблено, відносно просте та дуже надійне. Так як ніяке тепло у процесі не присутнє (на відміну від процесу горіння), обладнання має довгий строк служби, рідко трапляються збої. Строк служби ГЕС – більше 50 років. Крім того, експлуатація ГЕС не потребує великої кількості обслуговуючого персоналу.

Гідроенергетичні технології можна розділити на два типи:

- традиційні;
- гідроакумуючі, що використовують насосні системи.

Існує і інша класифікація ГЕС, у залежності від номінальної *потужності*:

- дрібні (із встановленою потужністю до 0,2 МВт);
- малі (до 2 МВт);
- середні (до 20 МВт);
- великі (понад 20 МВт).

У залежності від *рівня напору води*:

- низьконапірні (натиск до 10 м);
- середнього натиску (до 100 м);
- високонапірні (понад 100 м).

В окремих випадках дамби високонапірних ГЕС досягають висоти 240 м. Вони зосереджують перед турбінами водну енергію, накопичуючи воду і піднімаючи її рівень. На типових ГЕС ККД нерідко становить 60–70 %, тобто 60–70 % енергії спадної води перетворюється на електричну. Крім того ГЕС класифікують за типом турбіни, що використовується (Каплана, Френсіса, Пелтона та ін.), розміщенням та типу дамби, водосховища.

Традиційні ГЕС для виробництва електроенергії використовують енергію води річок, потоків, каналів, водойм. ГЕС можна розділити на електростанції з дамбою, та на ГЕС, що використовують системи відводу води. У першому випадку дамба використовується для зберігання води. Вода може бути спущена у випадку зміни потреб у виробництві електроенергії або для підтримання постійного рівня води. У другому випадку будуються спеціальні обвідні канали, що називають дериваційними.

Традиційні ГЕС у своїй конструкції мають такі компоненти (рис. 2.9).

- *Дамба*. За допомогою дамби здійснюється управління потоком води і збільшення висоти для створення напору води.

- *Турбіна*. Обертається під тиском води, що падає на лопаті.

- *Генератор*. З'єднаний з турбіною і, обертаючись, виробляє електроенергію.

- *Трансформатор*. Перетворює напругу генератора в напругу, необхідну для передачі електроенергії в енергомережу.

- *Лінії передачі*. Передають електричний струм від гідроелектростанції до електричної розподільчої системи.

У деяких ГЕС також присутній ще один компонент – *напірний водовід*, що підводить воду від джерела або басейну до турбіни ГЕС.

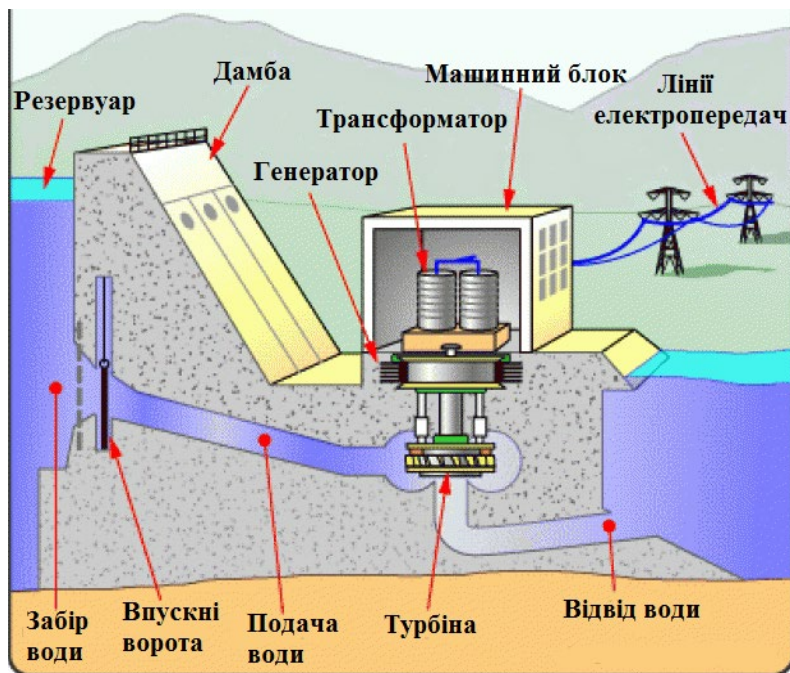
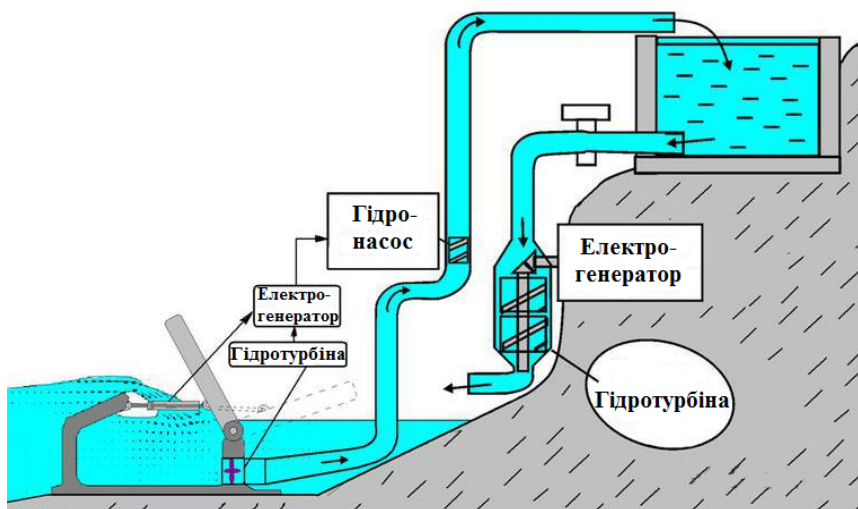


Рис. 2.9. Конструкційні компоненти традиційних ГЕС

Принцип роботи гідроакумулюючих електростанцій (ГАЕС) базується на зберіганні води у двох водосховищах, що знаходяться на різній висоті (рис. 2.10). У періоди, коли електричне навантаження в єдиній енергосистемі мінімальне (зазвичай вночі), ГАЕС працює в насосному режимі, перекачуючи воду з нижнього водоймища у верхнє, використовуючи при цьому електроенергію з системи. У режимі нетривалих «піків» – максимальних значень навантаження в енергосистемі – ГАЕС працює в генераторному режимі й використовує воду, накопичену у верхньому водосховищі. Після того, як процес пікової генерації завершений, вода перекачується назад у верхнє водосховище і ГАЕС готова до наступного циклу. ГАЕС мають особливе значення завдяки тому, що вони можуть бути швидко введені в роботу для генерування електроенергії під час «пікових» навантажень в енергосистемі. У більшості випадків, ГАЕС проходять повний цикл кожні 24 години.



2.10. Схема роботи ГАЕС

Потенціал гідроенергетики

Існує два основних фактори, що визначають енергетичний потенціал гідроенергетики:

- *витрата води* за одиницю часу ($\text{м}^3/\text{с}$);
- *гідростатичний напір* або *висота падіння води* по вертикалі.

Верхня точка з якої падає вода – вершина – може бути природною завдяки топографічному місцю розташування, або створеною штучним будівництвом дамб. Інший фактор – витрата води – прямий результат інтенсивності, поширення та тривалості дощових опадів. Він також залежить від прямого пароутворення, випаровування, інфільтрації в землю, пощі басейну річки та ґрунту.

Світовий потенціал гідроенергетики може бути оцінений сумуванням усіх річкових стоків, що існують на Землі. За підрахунками цей сумарний потенціал, що досягає 50 000 млрд кВт·год/рік, становить тільки четверту частину від кількості випадаючих у світі опадів, але більш ніж у 4 рази перевищує сумарне річне виробництво усіх існуючих у світі електростанцій. Для прикладу теоретичний щорічний потенціал виробництва в 10 000 млрд кВт·год електроенергії означає, що для виробництва такої ж кількості електроенергії на теплоелектростанціях, що працюють на нафті, знадобилося б приблизно 40 млн баррелів нафти на день.

Завдяки відносно низьким затратам та конкурентоспроможній ціні за електроенергію, що виробляється на ГЕС, гідроелектростанції є досить привабливим бізнесом для інвесторів. Окрім того, строк експлуатації ГЕС набагато більше перевищує строк служби енергогенеруючих станцій, що працюють на викопному паливі. Існують ГЕС, що експлуатуються вже протягом майже 100 років.

Насамкінець варто відзначити основні переваги та недоліки ГЕС. До переваг ГЕС відносять:

- використання відновлюваних ресурсів;
- щорічна економія десятків мільйонів тонн мінерального палива;
- велика потужність;

- легкість в експлуатації і більш тривалий термін служби ніж у ТЕС;
- відсутність забруднення повітряного басейну;
- джерело дешевої електроенергії;
- ККД до 70 %.

До недоліків ГЕС відносять:

- тривале і дороге будівництво (великі ГЕС будують (15–20 років);
- затоплення величезних площ родючих земель, лісів, якими супроводжується будівництво ГЕС;
- зміни гідрологічного режиму і клімату прилеглих територій;
- зміни ландшафтів річкових долин;
- вода стає «мертвою» після прогону через турбіни, тому що в ній гинуть всі мікроорганізми.

2.5.2. Енергетичний потенціал малих річок

Досвід деяких держав свідчить, що освоєння потенціалу малих річок з використанням малих ГЕС і міні-ГЕС допомагає вирішити проблему поліпшення енергопостачання. Найбільш ефективними є малі ГЕС, що будуються на наявних гідротехнічних спорудах.

У малих ГЕС поєднуються переваги великої ГЕС з одного боку і можливість децентралізованої подачі енергії з іншого боку. Вони не мають багатьох недоліків, характерних для великих ГЕС, а саме: дорогі трансмісії, проблеми, пов'язані з негативним впливом на навколишнє середовище. Крім того, використання малої гідроенергетики веде до децентралізованого використання електроенергії, сприяє розвитку даного регіону, головним чином заснованому на самодостатності і використанні місцевих ресурсів.

Устаткування для малих ГЕС сьогодні виробляють численні фірми США, Японії, Швеції, Швейцарії, Франції, Австрії, Великої Британії. Виробництво такого устаткування розпочато і в державах Східної Європи. Стандартизоване устаткування для малих ГЕС виробляється в широкому діапазоні параметрів: потужність – від 2 до 15000 кВт; діаметр робочого колеса турбіни – від 190 до 3000

мм, частота обертання від 50 до 2000 об./хв., напір – від 1 до 1000 м, витрати води – від 0,0 і до 0,75 м/с. Серйозну увагу приділяють підвищенню економічної ефективності малих ГЕС через спрощення їх проектування, будівництва та експлуатації, типізації проектних рішень, стандартизації устаткування та повної автоматизації роботи ГЕС. Енергетичні установки використовують, як правило, потенціальну або кінетичну енергію річок. Для прикладу, в табл. 2.4 наведено діапазон потужностей діючих і проєктованих міні-ГЕС деяких держав.

Таблиця 2.4

Діапазон потужностей міні-ГЕС держав ЄС

№ з/п	Держава	Діапазон встановлених потужностей міні-ГЕС, МВт
1	2	3
1	Велика Британія	0,076–4,5
2	Данія	0,1–1,1
3	Іспанія	1–150
4	Німеччина	0,5–40

У той же час будівництво міні-ГЕС виявилось дуже дорогим порівняно з іншими видами гідроелектростанцій. У табл.2.5 наводяться деякі технічні та фінансово-економічні показники діючих міні-ГЕС держав ЄС.

У той же час порівняння вартості електроенергії, що виробляється на міні-ГЕС є досить складним завданням, оскільки вартість виробленої електроенергії залежить від низки факторів:

- місце будівництва та витрати праці на будівництво;
- багатофункціональність інженерних споруд (дамба та інші гідротехнічні споруди можуть бути головними об'єктами для зрошування, водопостачання району і тільки в другу чергу для міні-ГЕС);
- умови фінансування;
- вплив на довкілля та соціальні умови;

- потужність турбіни.

Таблиця 2.5

Техніко-економічні показники міні-ГЕС держав ЄС

№ з/п	Держава	Потужність, МВт	Перепад висоти, м	Витрати води, м³/с	Вартість проекту, дол. США	Період окупності, роки
1	Франція	0,2	58	0,4	50 тис	10
2	Німеччина	3,1	2,6	140	16 млн	10,4
3	Греція	3,75	15	80	41 млн	9,5
4	Велика Британія	0,6	102	50	100 тис	10

Через зазначені причини вартість електроенергії є різною в кожній окремій місцевості. Однак слід зазначити, що вартість електроенергії, виробленої на міні-ГЕС, майже в 10 разів вища, ніж вироблена на гідротурбінах великої потужності, і становить від 4,6 цента за 1 кВт·год і більше.

Екологічно чиста технологія вироблення електроенергії на міні-ГЕС є одним з вагомих напрямів зниження викидів CO₂ та інших шкідливих речовин техногенного походження. Слід зазначити, що негативний вплив на довкілля, характерний для великих ГЕС (порушення теплового, гідравлічного та кліматичного режимів місцевості), навпаки є не характерним для міні-ГЕС, що використовують природні водяні напори без необхідності будівництва масштабних гідротехнічних споруд.

Експлуатація міні-ГЕС в Україні

В Україні на сьогоднішній день нараховується понад 63 тис. малих річок і водотоків загальною довжиною 135,8 тис. км, з них близько 60 тис. (95 %) – дуже малі (довжина менше ніж 10 км), їх сумарна довжина – 112 тис. км, тобто середня довжина такого водотоку – 1,9 км. Більшість малих річок довжиною менше ніж 10 км мають площу водозбору від 20,1 до 500 км (87 % всієї кількості і 72 % всієї довжини малих річок України). Малих річок з площею

водозбору від 50,1 до 100 км² нараховується 890 (28 % всієї кількості), а 797 річок (25 %) мають площу водозбору 20,1–50 км² (рис. 2.11).

Основною гідрологічною характеристикою є середній багаторічний стік, або норма річного стоку. Найбільшою водоносністю відрізняються річки Карпат, стік яких значною мірою залежить від висоти басейна. При використанні енергетичних ресурсів малих річок велике значення має стан льодоставу на річках взимку. Це особливо важливо для міні-ГЕС, що використовують кінетичну енергію потоку річок. Гідроенергетичний потенціал малих річок України наведено в табл. 2.6.

З початку 20-х років в Україні нараховувалося 84 гідроелектростанції загальною потужністю 4000 кВт, а наприкінці 1929 року – вже 150 станцій загальною потужністю 8400 кВт, серед них Вознесенська (840 кВт), Бузька (570 кВт), Сутиська (1000 кВт) та ін. 1934 року було введено в експлуатацію Корсунь-Шевченківську ГЕС (2650 кВт), що за своїми технічними показниками була однією з найкращих станцій того часу. У післявоєнний період електрифікація сільського господарства теж ґрунтувалася на збільшенні потужностей та поліпшенні техніко-економічних показників малих електростанцій. На початку 50-х років кількість збудованих малих гідроелектростанцій в Україні становила 956 із загальною потужністю 30 тис. кВт. Однак через розвиток централізованого електропостачання та стійку тенденцію до виробництва електроенергії на потужних тепло- та гідроелектростанціях будівництво малих ГЕС було зупинено. Почалась їх консервація, демонтаж, сотні малих ГЕС було зруйновано. Сьогодні в Україні збереглося всього 48 малих гідроелектростанцій, більшість яких потребують реконструкції.

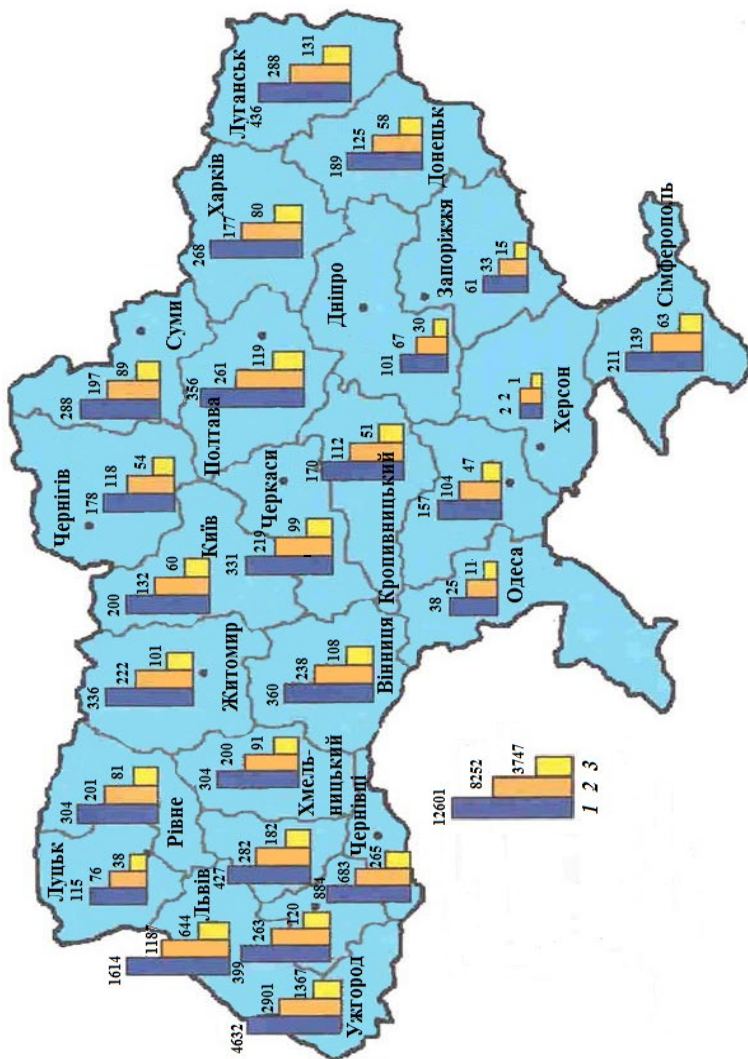


Рис. 2.11. Потенціал використання гідроенергії малих річок в Україні:

1 – загальний потенціал, млн. кВт год/рік, 2 – технічний потенціал, млн. кВт год/рік, 3 – доцільний економічний потенціал, млн. кВт год/рік

Таблиця 2.6

Гідроенергетичний потенціал малих річок України

№ з/п	Басейн	Гідроенергетичні ресурси, млн кВт·год/рік	Технічний гідропотенціал, млн кВт·год/рік
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
1	Південний Буг	53	10,6
2	Дністер	3751	1500
3	Тиса	8196	3278
4	Серет	38	15
5	Прут	2400	960
6	Річки Криму	211	84
7	Інші малі річки в басейнах Дніпра, Сіверського Дінця, Південного Бугу	2716	543
8	Усього:	17365	6390

Сьогодні напрями розвитку малої гідроенергетики України виглядають наступним чином:

- оновлення та реконструкція наявних і діючих міні-ГЕС;
- будівництво нових міні-ГЕС в районах децентралізованого енергопостачання;
- будівництво міні-ГЕС в регіонах централізованого енергопостачання на наявних перепадах водосховищ та водотоків;
- нове будівництво з концентрацією напору.

Мала гідроенергетика України через її незначну питому вагу (0,2 %) в загальному енергобалансі не може суттєво впливати на умови енергозабезпечення країни. Однак експлуатація малих ГЕС дає можливість виробляти близько 250 млн кВт·год/рік електроенергії, що еквівалентно щорічній економії до 75 тис. т дефіцитного органічного палива.

2.6. Енергія світового океану

Коли говорять про енергетичні ресурси океану, то мають на увазі ресурси, що здатні виробляти електроенергію обертанням турбін генераторів безпосередньо в морі, мова йде про використання енергії хвиль, різниці температури води на різних горизонтах, осмотичного тиску в районах змішування прісних і солоних вод, енергії вітру, течій та припливів. Енергетичні ресурси океану відновні і практично невичерпні. Сьогодні цей величезний і екологічно чистий потенціал використовується поки що недостатньо.

На практиці поки що використовується лише припливна енергія. Спеціалісти підраховали, що енергія припливів у 2000 раз перевищує енергетичний запас усіх річок світу протягом календарного року. Однак припливні електростанції (ПЕС) технічно можливо побудувати лише там, де різниця рівнів між припливом і відпливом перевищує 5 м. Перша така електростанція була збудована в Англії в 1913 р. біля Ліверпуля. Відтоді їх почали будувати в багатьох країнах. Тільки в Китаї нині діє понад 100 малопотужних ПЕС. Велика ПЕС збудована у Франції в гирлі р. Ранс. Потужність її 240 тис кВт. Найбільшу за потужністю електростанцію задумано збудувати в Західній Європі. Якщо проект буде здійснено, то на півострові Котантен діятиме ПЕС потужністю 50 млн кВт, що даватиме енергію для Франції, Норвегії та Швеції.

Можливість використання інших джерел енергії знаходиться в стадії наукових пошуків і дослідних інженерних розробок. Так у Японії, Австралії, США, Швеції та Росії наблизились до реалізації проектів використання енергії хвиль. Проекти різні, але всі вони базуються на розрахунках потужності фронту хвилі. Проте вартість електроенергії хвильових електростанцій (ХЕС) у 5–8 разів вища від теплових і атомних. І все-таки потреби змушують йти на такі затрати. Наприклад, у Японії понад 300 буїв і маяків живляться електроенергією ХЕС.

У США розроблено проект установки турбін у Флоридській течії. Передбачається закріпити на якорях 200 турбін діаметром до 80 м на відстані 20 км одна від одної. При швидкості течії 2 м/с з кожної турбіни можна одержувати 24 тис кВт енергії, а всього в разі здійснення проекту – 25 млн. кВт.

Термальну енергію моря вже почали добувати в тропічних широтах океанів і морів. Джерелом електроенергії є різниця температур води на поверхні та в її товщі. Причому ця різниця повинна бути не меншою, як 20 °C та ще й на інтервалі глибин до 100 м. Тому придатними в цьому відношенні є лише акваторії між 20 північної широти та 20 південної широти. Принцип дії таких електростанцій полягає в тому, що теплу воду закачують у плавучу електростанцію. Тут вона нагріває рідину, що випаровується при невисокій температурі (аміак, пропан, ізобутан) і, будучи герметично закритою, виривається на лопаті турбіни. Після того, як пара прокрутила турбіни, вона по трубах відводиться у холодний шар води, де знову конденсується в рідину. Такі електростанції малої потужності з'явилися на початку 80-х років спочатку біля Гавайських островів, потім на островах Амамі в Японському морі. Будуються їх у Бразилії та деяких країнах Африки. Запаси термальної електроенергії у Світовому океані становлять 30000 млрд кВт.

2.6.1. Використання енергії припливів

Під впливом Місяця та Сонця в океанах і морях збуджуються припливи, що спричиняють періодичні коливання рівня води при її горизонтальному переміщенні. Відповідно енергія припливів складається з потенційної енергії води та кінетичної енергії хвиль. За розрахунками, вся енергія припливів Світового океану оцінюється у 1 млрд кВт, тоді як сумарна енергія всіх річок земної кулі дорівнює 850 млн кВт. Отже, величезна енергетична потужність морів і океанів дуже цінна для людини.

Сьогодні достовірно відомо, що ритмічний рух морських вод викликають сили тяжіння Місяця і Сонця. Припливи – результат гравітаційного притягання великих мас води океанів Місяцем і, меншою мірою, Сонцем. Під час обертання Землі частина води океану піднімається і якийсь час утримується в цьому положенні гравітаційним притягінням. Під час припливу максимальний рівень підйому води досягає суші. Подальше обертання Землі послаблює вплив Місяця на цю частину океану, і приплив спадає. Припливи і відпливи повторюються двічі на добу, хоча точний час їх настання змінюється залежно від сезону і положення Місяця.

Якщо Місяць, Сонце і Земля знаходяться на одній прямій, то Сонце своїм тяжінням підсилює дію Місяця, – відбувається сильний приплив. Коли ж Сонце стоїть під прямим кутом до відрізка Земля–Місяць (квадратура), то настає слабкий приплив (мала вода). Період зміни сильного і слабого припливів – сім днів. Проте на рух припливів і відпливів впливають особливості руху небесних тіл, характер берегової лінії, глибина води, морські течії і вітер. Середня висота припливу становить лише 0,5 м, за винятком тих випадків, коли водяні маси переміщаються у відносно вузьких межах. Тоді висота хвилі може у 10–20 разів перевищувати нормальну висоту припливного підйому.

Найвищі і найсильніші припливні хвилі виникають у невеликих і вузьких затоках або гирлах річок, що впадають у моря і океани. Наприклад, припливна хвиля Індійського океану йде проти течії Гангу на відстань 250 км від його гирла. Припливна хвиля Атлантичного океану підіймається на 900 км вгору Амазонкою. У закритих морях, наприклад, Чорному або Середземному, виникають малі припливні хвилі. Найбільш придатними для використання енергетичного потенціалу є ті ділянки морського узбережжя, де припливи мають велику амплітуду, а контур і рельєф берега дають змогу влаштувати великі замкнуті «басейни».

Спорудження ПЕС пов'язано з великими труднощами. Перш за все енергія залежить від характеру припливів, на що неможливо впливати, оскільки вони визначаються астрономічними чинниками. Незважаючи на це, робота з розробки планів ПЕС продовжується – на сьогодні запропоновано близько 300 різних технічних проектів їх будівництва. Однак далеко не у кожному регіоні земної кулі є умови для такого будівництва. Дослідження показали, що передача припливної електроенергії з узбережної зони у центральні частини материків буде виправдана лише для деяких районів Західної Європи, США, Канади, Південної Америки. Отже, у припливах і відпливах, що змінюють один одного двічі на день, міститься величезна енергія, що теоретично можливо використовувати без жодних технічних проблем, однак такі масштабні проекти пов'язані з великими витратами капіталу, а також імпульсним характером одержання великої кількості електроенергії у віддалених від споживачів районах.

Найпростішою енергетичною установкою є гребля з турбінами поперек гирла морської затоки, але вона може спричинити деградацію навколишнього середовища. Як уже зазначалося, електростанції, що використовують енергію морських припливів, вигідно споруджувати на тих ділянках узбережжя Світового океану, де припливи найвищі. До таких ділянок належать, наприклад, канадська затока Фанді (висота припливу становить 17 м), протока Ла-Манш (15 м), Пенжинська затока Охотського моря (13 м) та ін. Уся потужність океанських припливів на Планеті оцінюється у 3000 ГВт. З них приблизно 1000 ГВт розсіюється у мілководних прибережних районах, де можливе зведення інженерних споруд. Загальна кількість припливної енергії у Світовому океані – $3,9 \cdot 10^{14}$ кДж.

У Японії, наприклад, ПЕС працює за такою схемою: вночі, коли споживання електроенергії низьке, приплив піднімає морську воду у спеціальне водоймище, а вдень ця вода зливається назад, генеруючи електрику. Для Японії з її протяжною береговою лінією знайти придатні місця для будівництва таких ПЕС легко. У процесі будівництва ПЕС велика увага приділяється саме екологічності спорудження. Для цього форма дна каналів, якими протікає морська вода, вибирається так, щоб тварини, що випадково потрапили до каналу, могли вибратися з нього.

Принцип роботи ПЕС виглядає наступним чином. На річці будується гребля для затримки вод високого припливу. Коли припливні води відступають, затримана греблею вода випускається в океан через грушоподібні турбіни під греблею, і виробляється електроенергія. Електроенергію можна виробляти як при відпливі, так і при припливі. Припливна хвиля затримується за греблею в результаті відкриття ряду донних затворів, що дозволяє їй рухатися нагору річкою у напрямку джерела. Затвори закривають тоді, коли приплив досягає найвищого рівня, а потім, по мірі відпливу, воді, замкненій за греблею, дозволяють стікати до моря через турбіни (рис. 2.12). При низькому рівні води, тобто при відпливі, велика частина цієї води спускається. Коли припливні води знов надходять, то зупиняються перед закритими затворами, рівень води з боку моря перевищує її рівень на боці греблі, зверненої до суші. Після того, як буде досягнутий достатній напір, воді дозволяють текти нагору річкою, проходячи через турбіни, і знову виробляти

електрику. Таким чином, енергія виробляється і за рахунок відпливу, і за рахунок припливу.

На деяких ПЕС застосовується нова технологія. В останній фазі припливу різниця у рівнях води в резервуарі за греблею і в океані може бути близько двох метрів. У цей час електроенергія з якого-небудь іншого джерела може бути використана для перекачування океанської води (за допомогою турбін) у припливний басейн. Вода накачується на висоту лише декількох десятків сантиметрів, тому багато енергії не потрібно. Коли припливна хвиля відступає, ця додаткова вода падає з висоти 6–10 м, виробляючи набагато більше електроенергії, ніж її було витрачено. Та сама ідея реалізується і при відпливі, але у цьому випадку вода відкачується з припливного басейну в океан.

Поки через велику вартість цих споруд уряди країн не налаштовані вкладати кошти в припливну енергію, адже такі станції коштують у 2–2,5 рази більше, ніж річкові ГЕС з таким самим середнім обсягом виробленої енергії (насамперед через додаткові затрати на захисні перемички перед і поза об'єктом). Але якщо початкові інвестиції зроблені, вироблення енергії вже не потребує жодного палива; необхідно лише технічне обслуговування системи, тому вартість енергії залишається низькою. Крім того, якщо ПЕС знаходиться далеко від найближчого великого споживача енергії, то будуть потрібні довгі й дорогі лінії електропередачі.

І нарешті, варто згадати ще одну негативну рису припливної енергії – її непостійність. За звичайної експлуатації припливної енергії електрика виробляється тільки на початку відпливу, тобто тоді, коли рівень води, запасеної у басейні, достатньою мірою перевищує її рівень у морі. У міру зниження рівня води в басейні вироблення електроенергії зменшується і біля нижньої точки відпливу падає до нуля, оскільки різниця рівнів зникає. Якщо ПЕС обладнана реверсивними турбінами, то енергія може вироблятися і за рахунок наступаючого припливу, але тільки після того, як рівень припливу достатньо перевищить рівень води за греблею. Коли приплив досягає максимальної висоти, вироблення енергії знову наближається до нуля.

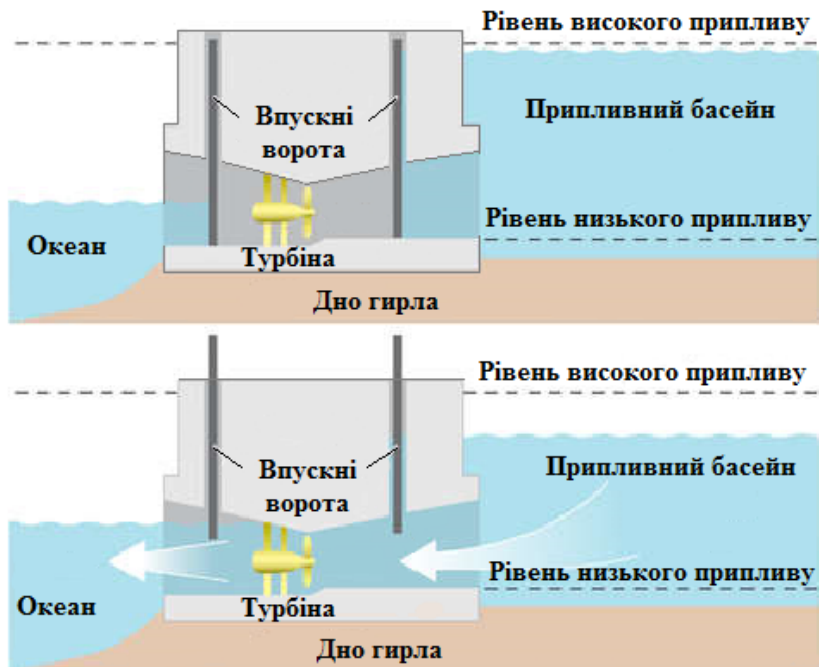


Рис. 2.12. Принцип дії ПЕС

Таке циклічне виробництво енергії навряд чи буде відповідати добовим потребам у ній. Пікова потреба і пікове вироблення можуть іноді збігатися, тому що час обох припливів зрушується в міру зміни пори року, але найчастіше такого збігу не буде. Тому надходження енергії у мережу має якимось чином регулюватися.

Варто згадати також деякі фізичні і біологічні наслідки будівництва ПЕС. Фізичні наслідки виявляються у результаті впливу на природне середовище припливних басейнів, коли з боку моря на ПЕС відбуваються певні фізичні зміни. Навіть якщо амплітуда припливу збільшується усього на 30 см, це може призвести до вторгнення морської води у прибережні колодязі і створити загрозу для будівель, розташованих поблизу верхньої позначки припливу. Можливе також прискорення берегової ерозії, а низинні ділянки, включаючи дороги, будуть затоплюватися, коли

шторми і припливи діятимуть одночасно. Берегова смуга стане майже непридатною для використання через більш високі припливи.

2.6.2. Використання енергії морських хвиль

Вітер спричиняє хвильовий рух поверхні океанів і морів. Енергія морських хвиль – це кінетична енергія, що несуть коливання поверхні моря під дією вітру. За допомогою хвильових перетворювачів енергія хвиль перетворюється у електричну або іншу, придатну до використання. За оцінками дослідників США, загальна енергетична потужність Світового океану дорівнює 90 млрд кВт. А середня хвиля висотою 3 м несе приблизно 100 кВт енергії на 1 м² узбережжя.

Ідея отримання електроенергії від морських хвиль була розроблена ще у 1935 р. радянським вченим К.Е. Цюлковським. Одну з перших електростанцій, що використовує енергію морських хвиль, було споруджено у 1970 р. поблизу норвезького міста Берген. Вона має потужність 350 кВт і забезпечує енергією селище із сотні будинків. Можливості створення більш потужних хвильових станцій досліджуються вченими Великої Британії, США та Японії.

Поки вдалося досягти певних успіхів у галузі використання енергії морських хвиль для виробництва електроенергії. Хвильові енергетичні установки застосовуються для живлення маяків, буїв, сигнальних морських вогнів та стаціонарних океанологічних приладів, що розташовані далеко від берега. Порівняно зі звичайними електроакумуляторами, батареями та іншими джерелами струму вони дешевші, надійніші і рідше потребують обслуговування. В експериментальних електростанціях навіть невеликі хвилі висотою 35 см примушують турбіну розвивати швидкість понад 2 тис. об/хв.

В Японії з 1978 р. працює плавуча електростанція, що використовує енергію морських хвиль. Сьогодні у світі вже близько 400 маяків і навігаційних буїв одержують живлення від хвильових енергетичних установок. Хвильовий електрогенератор успішно експлуатується на плавучому маяку порту Мадрас в Індії. У Норвегії з 1985 р. діє перша у світі промислова хвильова станція

потужністю 850 кВт. Енергоустановки такого типу економічно ефективні для малих населених пунктів на узбережжі океану.

Сьогодні Велика Британія буде найбільшу у світі хвильову електростанцію, де планується випробувати одразу декілька технологій перетворення енергії хвиль в електричний струм. Незважаючи на статус демонстраційної, станція матиме потужність 20 МВт. Багатомільйонний проект Wave Hub, що фінансується за кошти уряду Великої Британії, європейських фондів і промислових компаній, передбачає незвичну схему: ділянки моря розміром 1×2 км будуть передані в оренду промисловим компаніям. На цих ділянках встановлять комплекси хвильових генераторів різних схем, що будуть поєднані з берегом.

Широким є коло можливостей *хвильових енергетичних комплексів (ХЕК)*. ХЕК різних потужностей можуть бути використані для енергозабезпечення прибережних і острівних поселень, а також морських суден. На базі малопотужних ХЕК можливе створення метеосистем, глобальних і регіональних систем зв'язку та навігації, систем телекомунікації, а також встановлення апаратури аварійного індивідуального життєзабезпечення тощо. Потужні багатомодульні ХЕК можуть бути надійною енергетичною базою для створення екологічно чистих об'єктів переробної промисловості морського і прибережного базування. Такі об'єкти дають можливість здійснювати переробку морепродуктів, опріснювати воду, організувати хімічне виробництво на основі електролізу морської води, а також за допомогою електросинтезу отримувати мономери та полімери.

Енергія, що виробляє ХЕК, може застосовуватися не тільки безпосередньо об'єктами переробки і виробництва, а й може бути накопичена за допомогою різноманітних акумуляційних пристроїв. Дуже перспективним є використання потужних багатомодульних ХЕК для масштабного електролізного виробництва водню, кисню та озону. Використання електролізерів морської води для виробництва водню набагато перспективніше від поширеної нині технології, що ґрунтується на конверсії вуглеводнів чи нафтопродуктів, запаси яких стрімко скорочуються.

ХЕК потужністю кілька мегават експлуатуються у багатьох країнах, при цьому вони багатofункціональні, оскільки виробляють:

- електричну енергію;
- теплову енергію;
- чисту питну воду;
- стиснуте повітря;
- водень;
- кисень;
- різноманітні хімічні речовини.

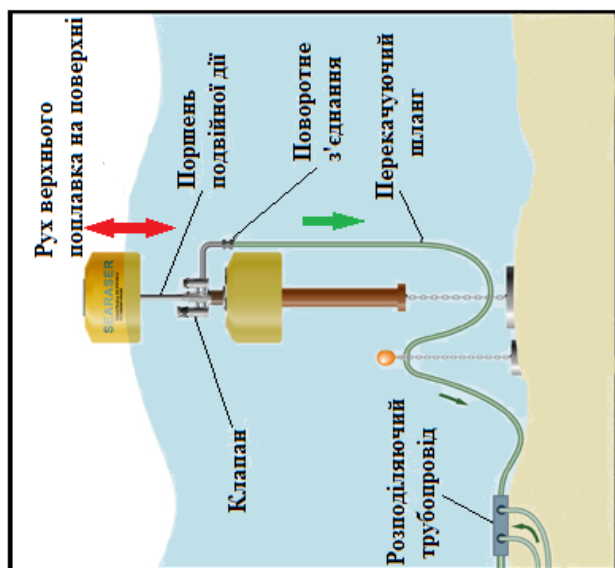
Для багатьох підприємств переробної промисловості (сільськогосподарської продукції, морепродуктів) ХЕК відіграють велике значення. Особливо зацікавлені сільськогосподарські підприємства і зони відпочинку, адже ХЕК мають значні переваги:

- можливість розміщення ХЕК близько до споживача;
- оперативна можливість споживання і реалізації виробленого енергетичного товару (електроенергія, тепло, кисень, водень тощо);
- висока якість електроенергії (стабільність частоти, напруги і форми синусоїди);
- стабільність технологічного процесу на виробництві, де використовується енергія;
- незалежність споживача від централізованого постачальника енергії.

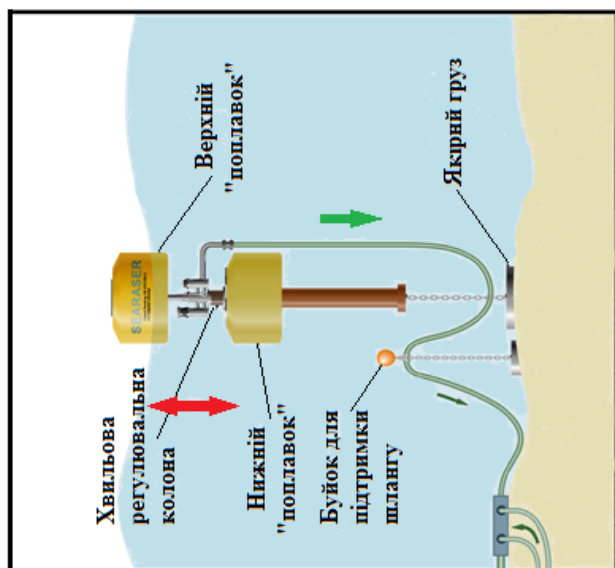
Хвильові електростанції (ХвЕС) – це морські інженерні споруди, в основі роботи яких лежить вплив хвиль на робочі органи – поплавці, маятники, лопаті і гідротурбіни. Механічна енергія їх переміщень за допомогою електрогенераторів перетворюється в електричну і передається споживачам (як правило, на берег) за допомогою кабелю (рис. 2.13).

Головними особливостями роботи ХвЕС, що потребують відповідних умов проектування, є:

- робота у змінних умовах у широких межах параметрів морського хвилювання;
- необхідність максимально ефективного перетворення енергії морських хвиль в електромеханічну енергію;
- необхідність вживання організаційно-конструктивних заходів проти руйнування ХвЕС при енергетичних характеристиках хвиль, що перевищують проектні значення.



Рух верхнього поплавка, що підіймається з хвилею



Рух верхнього поплавка під час зниження хвилі

Рис. 2.13. Принцип роботи ХВЕС

Переваги хвильової енергетики в тому, що вона достатньо сконцентрована, доступна для перетворення і на будь-який проміжок часу може прогнозуватись залежно від погодних умов. Утворюючись під дією вітру, хвилі добре зберігають свій енергетичний потенціал, розповсюджуючись на значні відстані. На сучасному рівні науково-технічного розвитку, а тим більше у перспективі, увага до перспективи використання енергії морських хвиль, без сумніву, дозволить зробити її важливим складником енергетичного потенціалу морських країн.

2.6.3. Використання теплової енергії океану

Світовий океан – величезний природний колектор сонячного випромінювання. Різниця температур між його теплими поверхневими водами, що поглинають сонячне випромінювання, та більш холодними придонними, становить до 20–25 °С. Це забезпечує запас теплової енергії, що безперервно поповнюється і теоретично може бути перетворена в інші види. Термін перетворення теплової енергії океану – (ОТЕС – ocean thermal energy conversion) – означає перетворення деякої частини цієї теплової енергії в роботу і далі – в електричну енергію. На рис. 2.14 зображена схема такого перетворювального пристрою. Це тепла машина, що приводиться в дію різницею температур між холодною водою, піднятою з глибини, і теплою водою 1, зібраною з поверхні. Робоча рідина (фреон), циркулюючи замкненою схемою, відбирає тепло від теплої води в теплообміннику 2, в паровій фазі приводить у дію турбіну 3, пов'язану з генератором 4, а потім конденсується в конденсаторі 5, що охолоджується холодною водою 6. На цьому цикл завершується.

У 1979 р. поблизу Гавайських островів почала працювати перша теплоенергетична установка міні-ОТЕС. Пробна експлуатація установки протягом 3,5 місяців показала її достатню надійність, її повна потужність становила у середньому 48,7 кВт, максимальна – 53 кВт. Установка віддавала 12–15 кВт енергії у зовнішню мережу для зарядки акумуляторів, а решта витрачалася на власні потреби. Тобто вперше в історії техніки установка міні-ОТЕС змогла віддати у зовнішнє середовище корисну потужність, одночасно покривши і власні потреби. Пара фреону рухає турбіну генератора. Подібна установка потужністю 100 кВт діє на

тихоокеанському острові Науру, забезпечуючи енергетичні потреби населення цього острова. Якщо ефективність використання енергії різниці температур дорівнюватиме хоча б 1 %, потенціал термальної енергії океану перевищить потенціал всіх паливних корисних копалин.

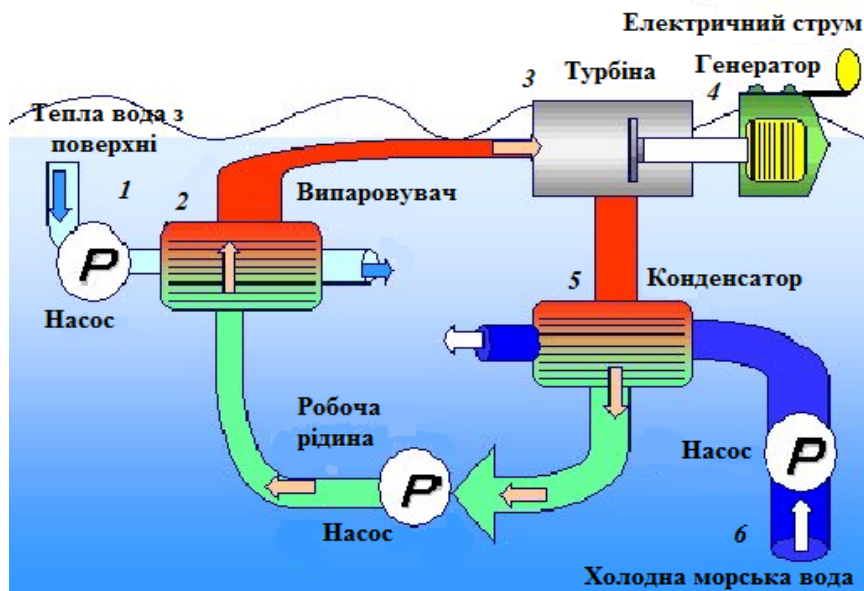


Рис. 2.14. Перетворення теплової енергії океану за циклом закритого типу:

1 – тепла вода; 2 – теплообмінник; 3 – турбіна; 4 – генератор;
5 – конденсатор; 6 – холодна вода

Крім цього, невичерпні також запаси кінетичної енергії морських течій, накопичені в океанах і морях, що можна перетворювати на механічну й електричну енергію за допомогою турбін, занурених у воду (подібно до вітряних млинів, «занурених» в атмосферу).

Таким чином, енергія морів і океанів охоплює енергію течій на всій акваторії Світового океану, енергію припливів, хвиль, змішування прісної і солоної морської води, енергію градієнтів

(різниць) температур між поверхневими і глибинними шарами води в тропічних районах океану тощо. Технічна реалізація використання цих джерел можлива за таких умов:

- освоєння тільки найбільш потужних течій;
- наявність припливів зі збільшеною амплітудою;
- наявність енергії хвиль, достатньої для використання;
- наявність ділянок океану зі значною різницею солоності

між річковим стоком і морською водою з температурним перепадом не менше 20 °С.

2.7. Геотермальна енергія

Геотермальна енергетика – напрям альтернативної енергетики, в основі якого полягає виробництво електричної енергії на геотермальних станціях за рахунок енергії, що міститься в надрах землі. Зазвичай відноситься до альтернативних джерел енергії, що використовують відновлювані енергетичні ресурси.

У вулканічних районах нашої Планети вода, що циркулює, перегрівається вище температури кипіння на відносно невеликих глибинах і по тріщинах піднімається до поверхні, іноді виявляючи себе у вигляді гейзерів. Середня швидкість підвищення температури води з глибиною – близько 2,5 °С на кожні 100 м. На глибині 5 км температура води складає приблизно 125 °С, а на глибині 10 км близько 250 °С. Доступ до підземних теплих вод можливий за допомогою глибинного буріння свердловин.

Окрім таких паротерм більш поширеними є сухі високотемпературні породи, де видобуток тепла відбувається за допомогою буріння двох свердловин, в одну з яких закачується вода, що, нагріваючись, потрапляє в суміжну свердловину і виходить у вигляді пари. Високі горизонти порід з температурою менше 100 °С поширені і на безлічі геологічно малоактивних територій, тому найбільш перспективним вважається використання геотерм як джерело тепла.

Господарське застосування геотермальних джерел набуло поширення в Ісландії та Новій Зеландії, Італії та Франції, Литві, Мексиці, Нікарагуа, Коста-Ріці, Філіппінах, Індонезії, Китаї, Японії та Кенії.

Існують наступні принципи можливості використання тепла земних глибин:

- воду або суміш води і пари залежно від їх температури можна направляти для гарячого водопостачання та тепlopостачання, для вироблення електроенергії або одночасно для всіх зазначених цілей;

- високотемпературне тепло навколівулканічного району та сухих гірських порід доцільно використовувати для вироблення електроенергії і тепlopостачання.

Від того, яке джерело геотермальної енергії використовується, залежить будова та принцип роботи станції. У випадках, коли вода виривається з-під землі у вигляді чистої «сухої пари», тобто пари без домішок водяних крапель, вона може бути безпосередньо використана для обертання турбіни і вироблення електроенергії (рис. 2.16). Конденсаційні води можна повертати в землю, а за їх хорошої якості – скидати в найближчі водойми.

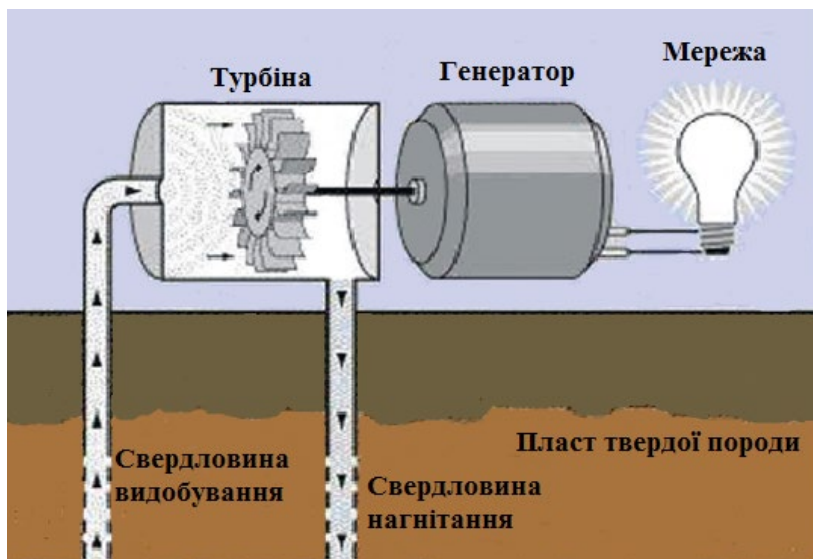


Рис. 2.16. Типова схема конструкції геотермальної електростанції, що використовує суху пару як робоче тіло

В інших місцях, де є суміш води з парою (вологий пар), цей пар відокремлюють і потім використовують для обертання турбін.

Нарешті, в більшості родовищ є тільки гаряча вода, і енергію тут можна виробляти, користуючись цією водою для переведення ізобутану в пароподібний стан, з тим щоб ця ізобутанова «пара» обертала турбіни. Такий процес називають системою з бінарним циклом (рис. 2.17). Гарячою водою можна безпосередньо обігрівати оселі, громадські будівлі і підприємства (централізоване теплопостачання).

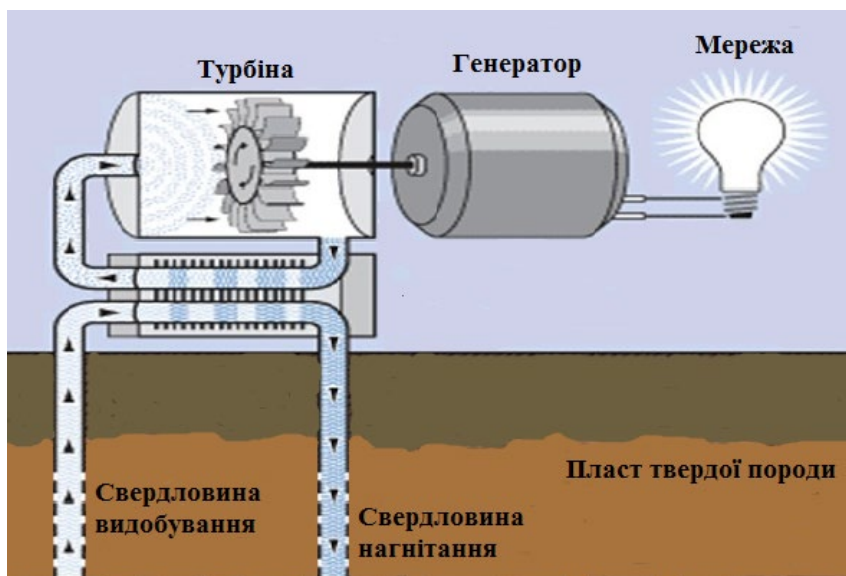


Рис. 2.17. Типова схема конструкції геотермальної електростанції з бінарним циклом

У районах, що відрізняються газотермальною активністю для опалення використовуються парогеотермальні джерела. Застосування цього способу опалення лімітується наявністю в світі відповідних районів. Проте є потенційна можливість його розширення шляхом прокачування геотермальних вод через гарячі підземні породи, де вони знаходяться на помірній глибині.

Застосування геотермальних вод не може розглядатися як екологічно чисте тому, що пара часто супроводжується газоподібними викидами, включаючи сірководень і радон – обидва

вважаються небезпечними. На геотермальних станціях пара, що обертає турбіну, повинна бути конденсована, що потребує джерела охолодження води, точно так само як цього вимагають електростанції на вугіллі або ядерному паливі. У результаті скидання як охолоджувальної, так і конденсаційної гарячої води можливе теплове забруднення середовища. Крім того, там, де суміш води і пари видобувається із землі для електростанцій, що працюють на вологому парі, і там, де гаряча вода видобувається для станцій з бінарним циклом, воду необхідно видаляти. Ця вода може бути незвично солоною (до 20 % солі); у такому випадку вона має перекачуватися в океан або нагнітатися назад під землю. Скидання такої води в річки або озера могло би знищити в них прісноводні форми життя. У геотермальних водах нерідко містяться також значні кількості сірководню, що є небезпечним у великих концентраціях.

Загалом геотермальні води можна класифікувати відповідно до їх властивостей (таблиця 2.5).

Потенціал використання геотермальної енергії в світі

Потенційна сумарна робоча потужність геотермальних електростанцій в світі поступається більшості станцій на інших відновлюваних джерелах енергії. Однак напрям отримав розвиток в силу високої енергетичної густини в окремих заселених географічних районах, в яких відсутні або є відносно дорогими горючі корисні копалини, а також завдяки урядовим програмам.

Встановлена потужність геотермальних електростанцій у світі на початку 1990-х становила близько 5 тисяч МВт, на початок 2000-х – близько 6 тисяч МВт. Наприкінці 2010-х рр.. сумарна потужність геотермальних електростанцій в усьому світі зросла до 10 500 МВт.

Сьогодні вже в 80 країнах світу в тій чи іншій мірі використовується геотермальне тепло. У більшій частини з них, а саме в 70 країнах, утилізація цього виду природного тепла досягла розвитку на рівні будівництва теплиць, басейнів, використання в лікувальних цілях і т. д. А геотермальні електростанції є приблизно в 25 країнах.

Таблиця 2.5

Класифікація геотермальних вод

№ з/п	Критерій класифікації	Ознаки класифікації
1	2	3
1	За температурою	Слаботермальні до 40 °С
		Термальні 40–60 °С
		Високотермальні 60–100 °С
		Перегріті більше 100 °С
2	За рівнем мінералізації (сухий залишок)	ультрапрісні до 0,1 г/л
		прісні 0,1–1,0 г/л
		слабосолонуваті 1,0–3,0 г/л
		сильносолонуваті 3,0–10,0 г/л
		солоні 10,0–35,0 г/л
		ропні більш 35,0 г/л
3	За загальною жорсткістю	дуже м'які до 1,2 мг-екв/л
		м'які 1,2–2,8 мг-екв/л
		середні 2,8–5,7 мг-екв/л
		жорсткі 5,7–11,7 мг-екв/л
		дуже жорсткі понад 11,7 мг-екв/л
4	За кислотністю, рН	сильнокислі до 3,5
		кислі 3,5–5,5
		слабокислі 5,5–6,8
		нейтральні 6,8–7,2
		слаболужні 7,2–8,5
		лужні більше 8,5
5	За газовим складом	сірководневі
		сірководнево-вуглекислі
		вуглекислі
		азотно-вуглекислі
		метанові
		азотно-метанові
		азотні

1	2	3
6	За газонасиченістю	слабка до 100 мг/л середня 100–1000 мг/л висока більше 1000 мг/л

Найбільшим виробником геотермальної електроенергії є США, де в 2005 р. виробили близько 16 млрд кВт·г відновлюваної електроенергії.

У 2009 р. сумарні потужності 77 геотермальних електростанцій в США становили 3086 МВт. До 2015 року планувалося будівництво понад 4400 МВт. Геотермальна електроенергетика, як одне з альтернативних джерел енергії в країні, має особливу урядову підтримку.

На 2003 р. на Філіппінських островах вже було встановлено 1930 МВт електричної потужності. На Філіппінах парогідротерми забезпечують виробництво близько 27 % всієї електроенергії в країні.

У 2003 р. Мексика перебувала на третьому місці з вироблення геотермальної енергії в світі, з встановленою потужністю електростанцій в 953 МВт. На найважливішій геотермальній зоні Серро Пріето розташовуються станції загальною потужністю в 750 МВт.

В Італії станом на 2003 р. діяли енергоустановки загальною потужністю в 790 МВт.

В Ісландії діють п'ять теплових геотермальних електростанцій загальною електричною потужністю 570 МВт (2008), що виробляють 25 % усієї електроенергії в країні. Одна з таких станцій постачає столицю Рейк'явік. Станція використовує підземну воду, а надлишки води зливають в гігантський басейн.

У Кенії станом на 2005 р. діяли три геотермальні електростанції загальною електричною потужністю в 160 МВт; існують плани щодо зростання потужностей до 576 МВт.

Вперше неводяна пара як тепловий носій була застосована на Паратунській ГеоТЕС в Росії в 1967 р. За даними вчених, геотермальні ресурси Камчатки оцінюються в 5000 МВт.

Російський потенціал реалізований тільки в розмірі трохи більше 80 МВт встановленої потужності (2009) і близько 450 млн. кВт·г річного видобутку (2009).

Геотермальні ресурси України представляють собою перш за все термальні води і теплоту нагрітих сухих гірських порід. Крім цього, до перспективних для використання в промислових масштабах можна зарахувати ресурси нагрітих підземних вод, що виводяться з нафтою та газом діючими свердловинами нафтогазових родовищ.

Україна має значний потенціал геотермальної енергії. Затверджені Міністерством екології та природних ресурсів України потенційні геотермальні ресурси становлять 27,3 млн м³/добу теплоенергетичних вод, а їх теплоенергетичний потенціал з урахуванням особливостей термальних вод, як теплоносія – 84 млн Гкал/рік. Річний технічно-досяжний енергетичний потенціал геотермальної енергії в Україні є еквівалентним 12 млн т. у. п., його використання дозволяє заощадити біля 10 млрд м³ природного газу.

Найперспективнішим для видобутку високопотенційних енергоресурсів є Карпатський геотермічний район, що характеризується високим геотермічним градієнтом і відповідно високими температурами гірських порід порівняно з іншими регіонами України. Температура порід в свердловинах, пробурених в Карпатах, на глибині 4 км сягає 210 °С. Необхідні температури теплоносія для геотермальних електростанцій знаходяться на значно менших глибинах (на 1–1,5 км.), ніж у інших сприятливих місцях (рис. 2.18).

Перспективним районом для розвитку геотермальної енергетики є Крим. Глибини пробурених свердловин тут невеликі: до 2000 м; температура термальних вод на гирлі 50–70 °С, їх мінералізація – 20–70 г/л. На тепер низькопотенційні геотермальні енергоресурси Криму використовуються для теплопостачання.

Третім перспективним районом для розвитку геотермальної енергетики є Дніпрово-Донецька западина, що включає в себе області: Чернігівську, Полтавську, Харківську, Луганську та інші. Цей регіон одночасно є вагомим споживачем теплової та електричної енергії.

Пріоритетними районами першочергового освоєння геотермальних ресурсів є Керченський півострів (АР Крим), Львівська та Закарпатська області, окремі родовища в Харківській, Полтавській та Донецькій областях.

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 р. цілком реальним є створення енергогенеруючих геотермальних установок сумарною тепловою потужністю 2160 МВт, електричною 400 МВт.

Теплові помпові установки можуть бути альтернативною теплопостачання житлово-комунального господарства і промислових об'єктів, що являють собою енергозберігаюче екологічно чисте технологічне обладнання, застосування якого дозволяє не тільки забезпечити економію органічного палива, але й суттєво знизити забруднення оточуючого середовища.

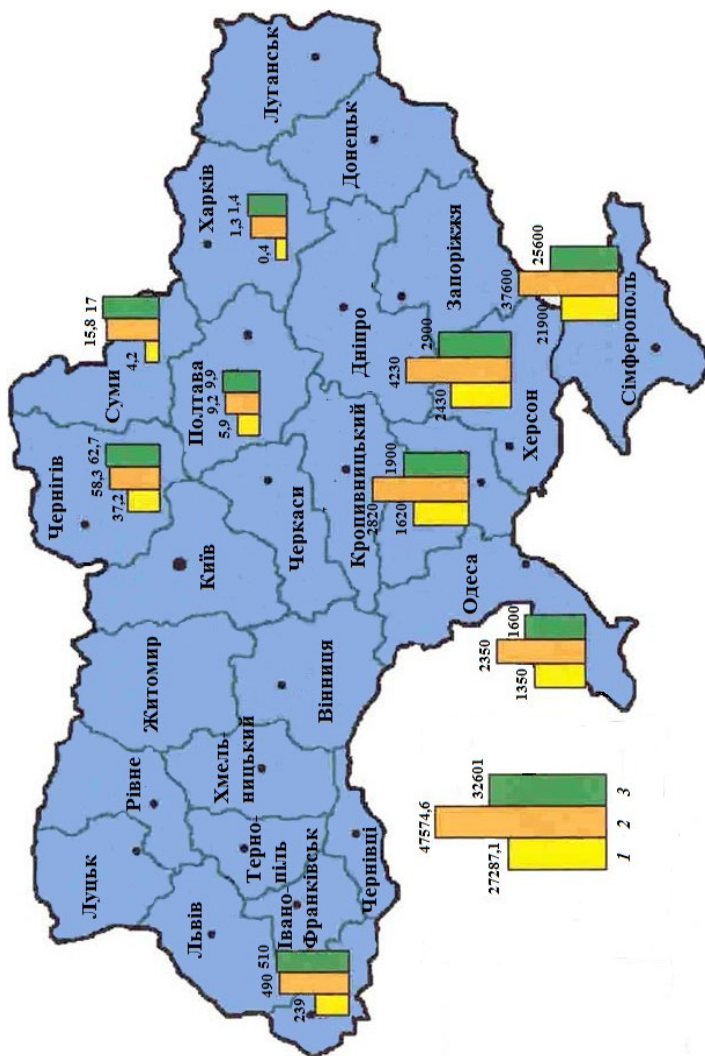


Рис. 2.18. Потенціал використання геотермальної енергетики в Україні: 1 – кількість теплоносіїв, що видобуваються при експлуатації з підтримкою пластового тиску, тис. м³/добу, 2 – тепловий потенціал підземних вод, МВт, 3 – річна економія, тис.т у.п./рік

Сфери використання геотермальної енергії

1. Аквакультури, садівництво та термокультури

Геотермальні відновлювані джерела енергії можуть бути використані для вирощування садових і морських культур, яким необхідні тепла вода і тропічний клімат. У парниках можна використовувати геотермальну енергію з метою підтримання температури і вологості за допомогою пари і теплопостачання. Сьогодні вже існує досвід застосування геотермальних відновлюваних джерел енергії для обігріву ферм з вирощування креветок.

2. Промисловість і сільське господарство

Геотермальна енергія може відігравати велику роль у розвитку промисловості та сільського господарства у всьому світі. Наприклад, цю енергію можна використовувати майже на кожному етапі обробки паперу. Паперові комбінати в Новій Зеландії спеціально розміщуються на родовищах геотермальної енергії. Є тисячі промислових і сільськогосподарських застосувань, де геотермальна енергія може бути ідеальним рішенням, так як вартість геотермальної енергії дуже низька.

3. Харчова промисловість

Харчова та переробна промисловість можуть отримати велику користь з геотермальних джерел енергії. Один зі способів використання даної енергії – стерилізація об'єктів харчової промисловості паром. Тепло і пару, що містяться у великій кількості в Землі, можна використовувати для стерилізації обладнання та приміщень без застосування хімічних речовин. Це дозволить запобігати мутації мікроорганізмів, коли вони стають нечутливими до хімічних речовин, а також попереджувати розвиток більш шкідливих штамів. Геотермальна енергія може також застосовуватися для висушування рослин, з яких виробляють порошки та концентрати, що використовуються в харчовій промисловості.

4. Забезпечення теплом житлових і комерційних приміщень

Геотермальні поновлювані джерела енергії можуть бути використані для обігріву всіх типів будівель від будинків до ферм, сараїв та інших типів приміщень. Використання цієї енергії не тільки забезпечує тепло, це також є повною системою контролю температури. З геотермальною системою опалення та охолодження

витрати на електроенергію набагато нижчі. Геотермальні блоки управління температурою можуть додати певну кількість тепла або зменшити його, зберігаючи комфортний мікроклімат протягом усього року.

5. Виробництво електроенергії

Геотермальні електростанції можуть забезпечити велику кількість електроенергії, з багатьма перевагами, адже немає необхідності використовувати викопне паливо. Геотермальна енергія є екологічно чистою, бо використовує тепло і пару, що знаходяться в надрах Землі. У цьому випадку відсутні викиди вуглекислого газу та інших шкідливих речовин, отже немає негативного впливу на атмосферне повітря. Це джерело енергії поновлюване і не залежить від об'ємів власних запасів викопних видів палива або постачань із інших країн, отже її активне використання дасть можливість підвищити стабільність вартості та доступності енергії для всього світу.

Переваги та недоліки геотермальної енергетики

Головною перевагою геотермальної енергії є її практична невичерпність і повна незалежність від умов навколишнього середовища, часу доби і пори року. Крім того, слід відзначити наступні переваги:

- геотермальна енергія не забруднює навколишнє середовище;
- геотермальна енергія не спричиняє парникового ефекту;
- електростанції не займають великі площі;
- відсутні витрати традиційних палив;
- після побудови геотермальних електростанцій, вироблена енергія є майже безкоштовна.

У той же час існують і певні недоліки, пов'язані з використанням енергії надр Землі:

- основна проблема полягає в тому, що існує не так багато місць, де можна будувати геотермальні електростанції;
- необхідні певні обов'язкові умови для будівництва електростанцій, а саме: гарячі породи повинні бути відповідного типу, щоб їх можна було легко свердлити, і мають

розташовуватися на такій глибині, куди технологічно можливо дістатися;

- іноді можуть спостерігатися випадки, коли з часом геотермальні родовища вичерпуються;

- існує потенційна небезпека, що на поверхню можуть виходити небезпечні гази і мінерали, що буде важко безпечно утилізувати.

2.8. Енергія біомаси

У багатьох країнах світу одним з основних відновлюваних джерел енергії є біомаса. За оцінками експертів, в паливом, що посідає четверте місце у світі за значенням є біомаса, що дає понад 2 млрд т у.п. енергії на рік та складає близько 14 % загального споживання первинних енергоносіїв у світі (у розвинутих країнах – більше 30 %, іноді до 50–80 %).

Біоенергетика – галузь енергетики, заснована на використанні біопалива, що створюється на основі використання біомаси. До біомаси відносять біологічно відновлювальні речовини органічного походження, що зазнають біологічного розкладу (відходи сільського господарства (рослинництва і тваринництва), лісового господарства та технологічно пов'язаних з ним галузей промисловості, а також органічна частина промислових та побутових відходів). Біомаса, що вирощується регулярно, а її використання в якості джерела енергії не супроводжується зменшенням кількості зелених насаджень в регіоні, визнається відновлювальним ресурсом і вважається екологічно нейтральною (має нульовий баланс викидів вуглекислого газу).

2.8.1. Загальна характеристика біомаси

Біомаса являє собою найдавніше джерело енергії, однак її використання донедавна зводилося до прямого спалювання або у відкритих вогнищах, або в печах і топках, але також з досить низьким ККД. Останнім часом увага до ефективного енергетичного використання біомаси істотно підвищилася, причому на користь цього з'явилися й нові аргументи, а саме:

- використання рослинної біомаси за умови її безперервного відновлення (наприклад, нові лісові посадки після

вирубки лісу) не призводить до збільшення концентрації CO_2 в атмосфері;

- у промислово розвинених країнах в останні роки з'явилися надлишки оброблюваної землі, що доцільно використовувати під енергетичні плантації;

- енергетичне використання відходів (сільськогосподарських, промислових і побутових) також вирішує екологічні проблеми;

- нові технології дозволяють використовувати біомасу набагато більш ефективніше.

Біомаса – це органічний матеріал, на основі вуглецю, що реагує з киснем під час горіння та природних метаболічних процесах тепловиділення. Це тепло може бути ефективно використане для генерування електрики та інших видів енергії. Вихідний матеріал може бути перетворений за допомогою хімічних і біологічних процесів для виробництва біопалива. Іншими словами, біомасу переробляють в більш зручні форми, зокрема рідкі палива для транспортних засобів. Прикладами біопалива можуть бути метан, рідкий етанол, складні метилові та етилові естери, олії й тверде вугілля. Термін біоенергетика іноді використовується для визначення біомаси та біопалива разом.

Початкова енергія біомасо-кисневої системи отримується з сонячної радіації у процесі фотосинтезу. Під час спалювання енергія біопалива розсіюється, а елементи органічної речовини повинні бути доступні для утилізації в природних екологічних або сільськогосподарських процесах, як показано на рис. 2.19.

Маса сухої речовини в біологічному кругообігу речовин в біосфері становить близько $250 \cdot 10^9$ т/рік, що включає близько $100 \cdot 10^9$ т/рік вуглецю. Енергія, що використовується під час фотосинтезу $2 \cdot 10^{21}$ Дж/рік або $0,7 \cdot 10^{14}$ Вт/рік. Близько 0,5 % від загальної кількості біомаси становлять зернові культури для харчування населення. Виробництво біомаси залежить від місцевих умов, і є приблизно в двічі більшим на одиницю площі поверхні на суші ніж на морі.

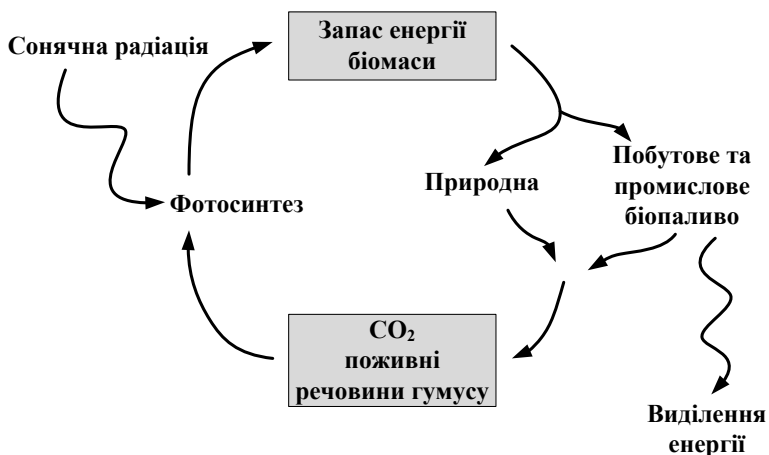


Рис.2.19 Природні і регульовані системи біомаси

Біомаса забезпечує близько 13 % енергії, що споживається людством, у тому числі, у багатьох країнах, що розвиваються, і в значній кількості в розвинених країнах; цей відсоток можна порівняти з викопним паливом. Внутрішнє використання біопалива у вигляді деревини, гною і рослинних залишків для приготування їжі має першорядне значення для близько 50 % населення земної кулі. Промислове використання енергії біомаси в даний час для більшості країн порівняно невелике, за винятком кількох країн, де виробляється цукрова тростина, а також де рослинні залишки (жом), що спалюються для отримання технологічного тепла, можуть досягати 40 % національних промислових енергоносіїв. Проте, в деяких промислово розвинених країнах, все більш поширюється використання біомаси та відходів для виробництва теплової та електричної енергії. Наприклад у США виробництво теплової та електричної енергії становить близько 2 % всієї електроенергії з потужністю 11 ГВт, у Німеччині – 0,5 ГВт потужності.

Загалом, 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.

Відповідно до цього біоенергетика забезпечує отримання енергії шляхом використання різноманітних видів біомаси, включаючи:

- продукти лісу у вигляді відходів лісозаготівель і лісопереробки;

- сільськогосподарські відходи, що підрозділяються на рослинні відходи сільськогосподарських культур (солома злакових культур, стебла кукурудзи, соняшника тощо) і тваринні відходи (гній і гнійні стоки тощо);

- водну рослинну біомасу (водорості, макрофіти тощо);

- промислові й міські відходи (тверді побутові відходи, відстої міських і промислових стічних вод тощо), утилізація яких дозволяє вирішувати важливі екологічні та соціальні проблеми.

Відповідно до *хімічного складу* біомаса може бути умовно поділена на *вуглецьвмісну* (рослинний матеріал, деревна тріска, тирса, морські водорості, зерно, папір, пакувальна тара) та *цукровмісну* (цукровий буряк, цукровий очерет, сорго).

У випадку, коли біомаса вважається *відновлюваною*, її зростання повинно бути принаймні не меншим за її використання. В іншому випадку це може призвести до катастрофічних наслідків для місцевої екології та глобального контролю клімату. Це пов'язано з тим, що темпи споживання дров і вирубування лісів значно перевищують темпи зростання дерев у найбільш віддалених районах світу.

Вуглець біомаси, що потрапляє в атмосферу у вигляді CO_2 утворюється у процесі фотосинтезу, а не з викопних джерел енергії. Коли біомаса спалюється або перетравлюється, то CO_2 повертається в атмосферу, не підвищуючи додатково його атмосферної концентрації протягом всього терміну зростання біомаси. Тому енергія з біомаси є «*вуглецево-нейтральною*» (рис. 2.20.).

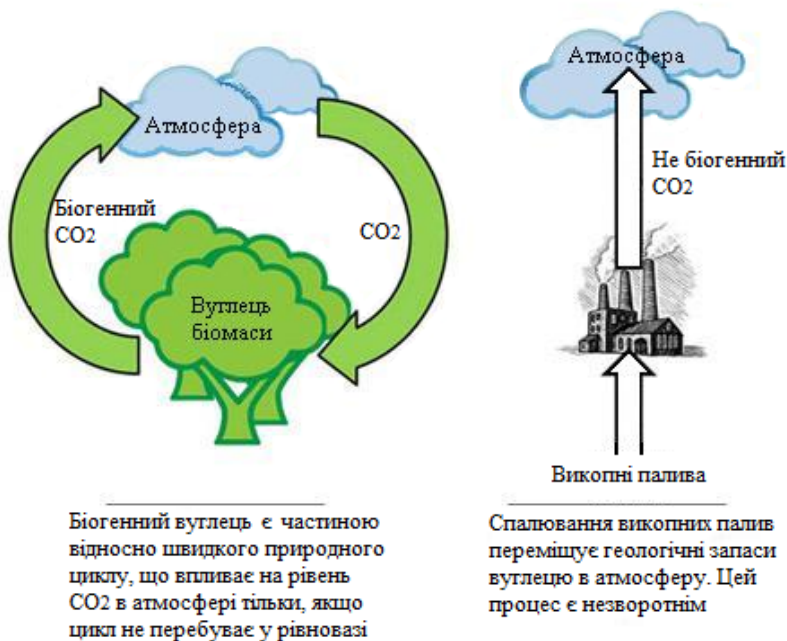


Рис. 2.20. Життєвий цикл вуглецю та вуглекислого газу в навколишньому середовищі

Це є її основною відмінністю у порівнянні з використанням викопного палива, коли додаткові викиди CO_2 потрапляють до атмосфери. Таким чином, використання відновлюваних видів біопалива, у великих масштабах, є важливим компонентом більшості середньо- та довгострокових політик щодо скорочення викидів парникових газів.

2.8.2. Характеристики основних видів біомаси

Більша частина біомаси, що доступна для біоенергетичних проєктів є твердим необробленим рослинним матеріалом, вміст води в якому зазвичай становить близько 50 %. Існує широкий асортимент доступних ресурсів біомаси, пов'язаних з діяльністю людини: зокрема, залишки і відходи від сільськогосподарської,

промислової, комунальної, лісової та інших видів економічної діяльності.

Рослинна біомаса

Рижій належить до енергетичних культур з високим вмістом олії. Основними споживачами його сьогодні є виробники біопалив. Зазвичай рижій використовують у сільському господарстві як сівозмінну культуру, що попереджає зниження родючості земель та забезпечує підвищення стійкості інших культур до хвороб і шкідників. Крім того, рижій є невибагливим до кліматичних умов, тобто не потребує ретельного обробітку та догляду. Насіння рижію містить 40–50 % олії, що забезпечує вихід олії близько 1250 л/га. Ще однією перевагою цієї культури є можливість використання шроту (побічного продукту процесу екстракції олії) як корму для сільськогосподарських тварин та птиці. На думку вчених, такі характеристики рижію забезпечують «сталість» процесу виробництва біопалив, не створюючи конкуренції харчовій промисловості. Ця культура набула поширення на території США, Канади та деяких країн Європи. В Україні виробництво рижію не розвинено і перебуває на початковій стадії. Проте, як прогнозують деякі експерти, обсяги виробництва рижію в Україні у найближчі роки стрімко зростатимуть.

Ріпак протягом останніх 10–15 років був основною сільськогосподарською культурою для виробництва біопалив. До недавнього часу провідними виробниками ріпакової олії були Канада, США і такі європейські країни як Німеччина, Франція, Чехія, Польща, Велика Британія. За хімічним складом та основними технічними характеристиками ріпакова олія є придатною для виробництва альтернативних палив. Тепер постало питання про доцільність вирощування ріпаку як біопаливної сировини. Культура ріпаку є вибагливою до умов вирощування, потребує постійного внесення добрив та іншого догляду, істотно виснажує ґрунт на територіях, що традиційно використовувалися агропромисловими комплексами. Ріпак становить конкуренцію потребам харчової промисловості, а процес виробництва та використання біопалив не є сталим. Проводилися числені дослідження щодо селекціонування культур ріпаку з поліпшеними

фізико-хімічними та агрономічними характеристиками. Виконані роботи дозволили підвищити вміст олії в насінні та урожайність культури, тим самим збільшивши середній вихід олії до 1201–1301 л/га. Виведено низькоерукові сорти олії з жирнокислотним складом, що є оптимальним саме для виробництва біопалив. Крім того, вдалося підвищити стійкість культур до шкідників, кліматичних умов або інших несприятливих умов, а отже, зменшити собівартість виробництва олії та палива. Зважаючи на це, відмова від ріпаку як біопаливної сировини не є обґрунтованою.

Слід зазначити, що для України ріпак є типовою культурою, а протягом останніх 8–10 років спостерігалось масове його виробництво. Найбільш стрімке нарощування обсягів виробництва ріпаку відбувалося у період 2004–2008 рр., що збігалось з ростом світового попиту на ріпакову олію як сировини для виробництва біопалив. Площі посівів ріпаку в 2011 р. склали понад 1,1 млн га, а середня врожайність становила 15–17 ц/га. Протягом цих років в Україні ріпак вирощувався виключно для експорту, його внутрішнє перероблення майже не проводилося. Лише в останні роки відзначався деякий спад у експорті ріпаку та підвищення внутрішніх об'ємів його перероблення.

Ятрофа вирощується для одержання неїстівної олії, що використовується для виробництва біопалив. Вміст олії в насінні становить 30–40 %. З досліджень відомо, що за своїми фізико-хімічними властивостями олія ятрофи є добре придатною для виробництва альтернативних. Ця культура не є вибагливою до якості ґрунту й може давати великі врожаї на сухих необроблюваних територіях, лишаючи родючі землі для потреб сільського господарства. Фактором, що обмежує повсюдне використання ятрофи, є можливість її вирощування лише у тепловому кліматі.

Галофіти – трав'янисті рослини, що об'єднані в окрему групу завдяки можливості їх росту на солоних ґрунтах (солончаках, інших територіях з доступом морських вод). Використання такого виду сировини є досить перспективним з погляду на ідею про сталість біопалив. Адже, на думку вчених, близько 20–25 % земної поверхні не використовується у сільському господарстві через підвищений рівень солоності ґрунтів. Типовими прикладами галофітів є сукулентні кущоподібні рослини, що

поширені у тропічних прибережних смугах. Вони багаті на ненасичені жирні кислоти, містять в тригліцеридах понад 90 % вуглецевих ланцюгів. Загалом вирощування галофітів є важливим компонентом системи, спрямованої на зменшення кількості парникових газів. Використання цих рослин як сировини для виробництва біопалив поки що перебуває на етапі дослідження, але може розвинутиися вже через 2–4 роки.

Побутові відходи

В останні роки різноманітні побутові відходи, що містять у значній кількості біомасу вважаються перспективною сировиною для виробництва біопалив. Наразі активно будуються заводи, на яких у результаті складних технологічних процесів перероблюються в паливо такі види відходів як вироби з деревини, папір, залишки деревооброблення, сільськогосподарські відходи, побічні продукти тваринництва, харчові та побутові відходи, комунальні стоки та деякі інші. Однією з переваг такого використання відходів є можливість забезпечити «безвідходність» виробництва біопалив з рослинної сировини. Крім того, перероблення відходів на альтернативні палива, на думку вчених є одним зі шляхів вирішення проблеми утилізації сміття, що нагромаджуються на звалищах.

Осади стічних вод. Енергетичний вміст неопрацьованих осадів складає близька 16 284 кДж/кг сухої речовини. Це означає, що за сучасних темпів нагромадження осадів міських стічних вод з них можна одержати приблизно $141 \cdot 10^{14}$ кДж/рік. Однак практичне використання осадів як палива викликає істотні труднощі. Головні труднощі полягають у тому, що високий вміст вологи не дозволяє використовувати осади без сушіння, на що витрачається фактично вся енергія, що виділяється в процесі його горіння, не кажучи про витрати, пов'язані з дотриманням установлених норм по запобіганню забруднення навколишнього середовища.

Відходи тваринництва. Відходи тваринництва за умов безстійлового утримання худоби не являють інтересу з погляду їх використання для одержання енергії: кількість тварин на одиницю площі настільки мала, а розсіювання відходів тваринництва настільки велике, що транспортування останніх на підприємство з виробництва енергії виявляється економічно й енергетично

невиправданим. Зовсім інша ситуація складається при утриманні тварин у закритих приміщеннях, таких, як скотовідкормні господарства промислового типу. У цьому випадку кількість відходів, що збираються з одиниці площі, істотно зростає, а витрати на їх збір і транспортування значно скорочуються. Кількість гною від кожного виду тварин і його склад залежать від раціону живлення й тривалості утримання тварин у закритих приміщеннях. Вміст води в гної коливається в межах 60–85 %. Відносно високий вміст води обмежує технологічні можливості одержання енергії із гною. Теплота згорання гною в середньому дорівнює 17450 кДж/кг сухої маси.

Одним з найбільш ефективних способів обробки відходів тваринництва є анаеробна ферментація або біогазифікація. При цьому використовується не тільки одержуваний метан, але й залишки ферментації (перегнівання), що знаходять застосування як органічні добрива або корм для худоби. Технологія виробництва метану залежить від вмісту у відстої інертних речовин: чим їх більше, тим менше вихід метану на одиницю маси відходів. При біогазифікації відходів жуйних тварин замість очікуваного виходу 0,26–0,30 м³ метану/кг органічних речовин виходить усього лише 0,13–0,15 м³ метану/кг органічних речовин внаслідок втрати частини вуглецевмісної речовини в процесі переварювання їжі.

Рослинні залишки. За лишки даного виду складаються в основному із целюлози (вуглецевмісної) і можуть бути відносно легко підготовлені для використання. Залишки зернових культур, за винятком рису, належать до відносно сухих культур: вміст води в них становить приблизно 15 %. Теплота згорання рослинних залишків більшості цих культур коливається в межах 11500–18600 кДж/кг. Середнє значення теплоти згорання рослинних залишків 16300 кДж/кг. Велика увага приділяється енергетичному потенціалу відходів цукрового очерету, що утворюються під час виробництва цукру, що становлять приблизно 30 % маси самого цукрового очерету. Теплота згорання відходів цукрового очерету становить 18930 кДж/кг.

Відходи, що накопичуються в процесі лісозаготівель і лісопереробки можна розділити на дві великі групи: відходи лісу й виробничі відходи. Перші утворюються безпосередньо в лісі й включають опалі гілки, дерева, що загинули, залишки від згорілих

дерев і відходи, що виникають у процесі відбраковування, заготівлі й транспортування. Оцінка загальної кількості відходів лісу відсутня. Найбільша кількість відходів припадає на відбраковування (у тому числі загиблих і дерев, що перестояли), а також на заготівлю й транспортування. З погляду енергоресурсів саме ці відходи становлять найбільший інтерес.

Відходи під час лісозаготівель переважно складаються з деревини й целюлози, і їх основними складовими елементами є вуглець, кисень і водень. На частку вуглецю припадає близько 50 % (мас.) кисню – 40 % (мас.) і водню – 5 % (мас.). Теплота згорання відходів лісозаготівель дорівнює приблизно 18 610 кДж/кг сухої маси. Кількість золи відходів залежить від методу їхнього збору. При виконанні деяких операцій у відходи попадають мінеральні забруднення у вигляді каменів, бруду й піску, що приводить до різкого збільшення вмісту золи. Звичайно в деревині міститься 1,0 % золи, а в корі – від 2 до 10 %.

Водорості й водні макрофіти

Водорості сьогодні визнаються вченими як найбільш перспективна сировина для виробництва великих обсягів авіаційних біопалив. Ці мікроскопічні рослини можна вирощувати в солоних або прісних водах, забруднених водних об'єктах, водоймах у пустелях та інших незаселених територіях. У процесі життєдіяльності водорості споживають CO₂, що робить їх надзвичайно ефективним інструментом для поглинання вуглецю, що потрапляє в атмосферу в результаті спалювання викопних видів палив. Близько 50–70 % маси водоростей може ферментуватися. Під час дослідження 11 видів судинних водяних рослин було встановлено, що їх теплота згорання становить 16 353–19 058 кДж/кг сухої маси (табл. 2.6).

Перевагою використання мікрководоростей для виробництва біопалив є швидкість їх зростання. Мікрководорості здатні виробляти до 15 разів більше олії з одного квадратного кілометра ніж інші енергетичні культури. Ще однією перевагою водоростей є можливість вирощувати їх на низькопродуктивних землях, що не використовуються під сільське господарство. Однак на цьому етапі розвитку не цілком вирішено питання щодо розроблення оптимальних технологій перероблення олій одержаних з

водоростей. За прогнозами вчених цей процес потребує щонайменше 8–10 років.

Таблиця 2.6

Продуктивність наземних і морських рослин

Тип рослин	Продуктивність у рік, кг/м ²
1	2
Наземні дерева трави	0,9–2,8 1,1–6,8
Морські водорості (ставки для обробки скидань) водорості (лабораторні культури) бура водорість (природні умови)	4,5 6,8–13,5 4,9

2.8.3. Технологічні процеси перероблення біомаси

Термін *енергетична ферма* використовується в дуже широкому змісті, позначаючи виробництво енергії як основного або додаткового продукту сільськогосподарського виробництва, лісівництва, вирощування аквакультур, а крім того, ті види промислової й побутової діяльності, у результаті яких утворюються органічні відходи. Основною метою переробки сировини могло б бути винятково виробництво енергії, але більш вигідно знайти найкраще співвідношення між одержанням з різних видів біомаси енергії й біопалива.

Розвиток енергетики через використання сільськогосподарських культур має як переваги, так і недоліки. Одним з найбільш істотних недоліків є те, що виробництво енергії стане конкурувати з виробництвом їжі.

Усі зазначені вище ресурси біомаси можуть бути оброблені з використанням різних технологій: пряме спалювання (для вироблення електроенергії та/або тепла), анаеробного зброджування (для отримання збагаченого метаном газу),

ферментації (цукрів для вироблення спиртів, біоетанолу), екстракція олій (для виробництва біодизельного палива), піроліз (для біовугілля, газу та олій), а також газифікації (для одержання синтез-газу, що містить монооксид вуглецю CO та водень H₂) (рис. 2.21.).

Кожен технологічний процес також може супроводжуватися великою кількістю вторинних процесів оброблення в залежності від відповідних кінцевих продуктів: стабілізація, зневоднення, збагачення, очищення та ін.). Універсальність технологій перероблення біомаси для виробництва енергії у вигляді електроенергії, тепла, палива у газоподібному, рідкому або твердому станах представлені в таблиці 2.7. Розглянемо детальніше основні технології перероблення біомаси.

Таблиця 2.7

Продуктивність наземних і морських рослин

Технологія	Форма енергії після процесу перероблення біомаси				
	Тепло	Електрична енергія	Газ	Рідкі палива	Тверді палива
1	2	3	4	5	6
Пряме спалювання	✓	✓			
Анаеробне зброджування	✓	✓	✓		
Ферментація				✓	
Екстракція олій				✓	
Піроліз	✓	✓	✓	✓	✓
Газифікація	✓	✓	✓	✓	

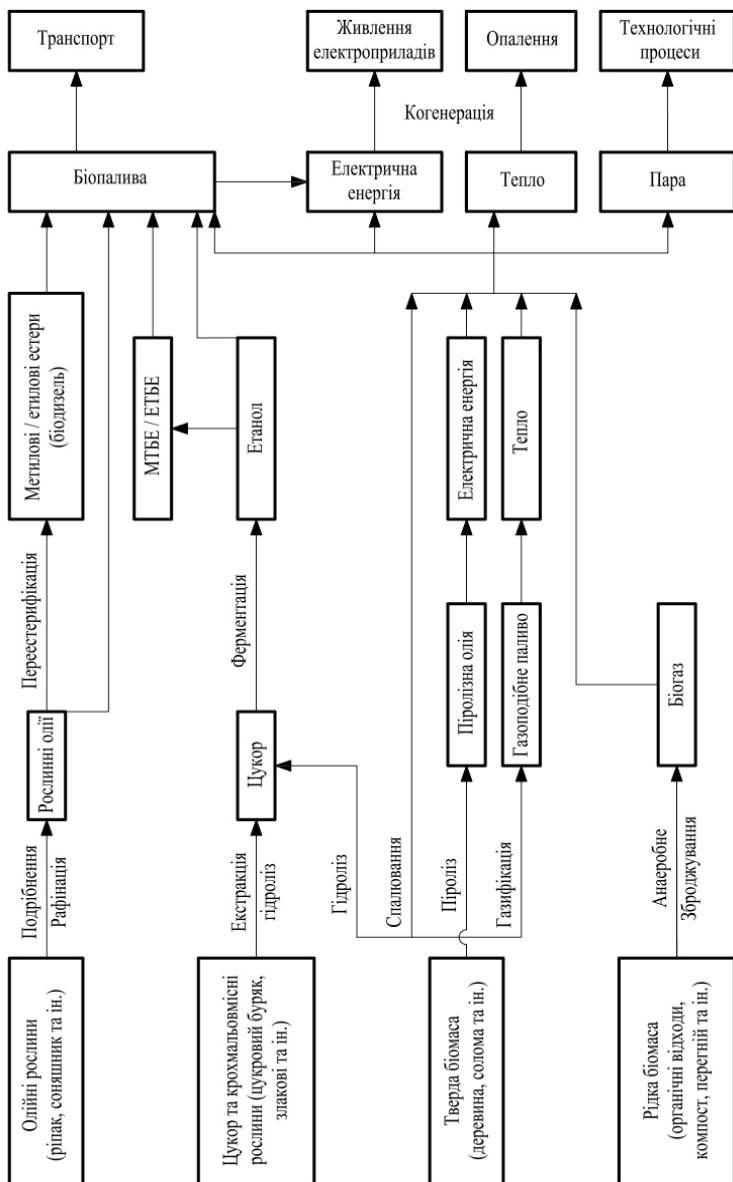


Рис. 2.21. Основні технологічні процеси перероблення біомаси

Піроліз (суха перегонка).

Піроліз – термічний процес, за якого органічну сировину піддають нагріванню або частковому спалюванню для одержання похідних палив або хімічних сполук. Вихідною сировиною можуть бути деревина, відходи біомаси, побутові відходи й звичайно вугілля.

Продуктами піролізу є гази, рідкий конденсат у вигляді смол і масел, тверді залишки у вигляді деревного вугілля й золи. Приклад піролізного блоку наведено на рис 2.22. Вертикальні блоки з вертикальним завантаженням, як правило, вважаються кращими. Паливні продукти є більш якісними, чистими й транспортабельними, ніж вихідна біомаса. Продукти піролізу мають велике значення, як хімічна сировина для подальших технологічних процесів або безпосередньо як готова продукція на ринку товарів.

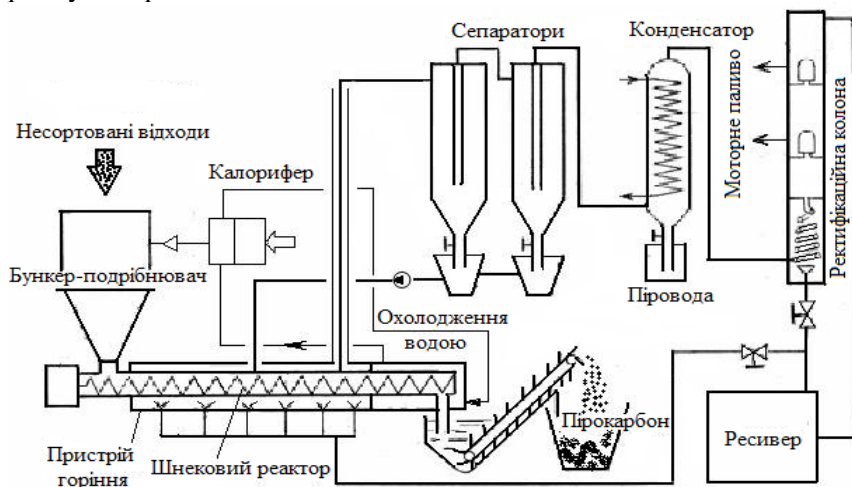


Рис. 2.22. Типова схема піролізного блоку перероблення біомаси

Газифікація

Під *газифікацією* розуміють піроліз, пристосований для максимального одержання похідного газоподібного палива. Пристрої для часткового спалювання біомаси, проєктовані з

розрахунку на одержання максимального виходу газів, називаються *газогенераторами*. Щоб процес піролізу йшов успішно, повинні дотримуватися певні умови. Матеріал, що подається, попередньо сортують для зниження вмісту негорючих домішок, підсушують і подрібнюють. Критичним параметром, що впливає на температуру й на співвідношення видів одержуваних продуктів, є співвідношення повітря – паливо. При цьому можна виділити чотири стадії перегонки:

1) 100–120 °С – матеріал, що подається до газогенератору, опускаючись донизу, звільняється від вологи;

2) 275 °С – гази, що відходять, складаються в основному з N_2 , CO і CO_2 ; виділяються оцтова кислота й метанол;

3) 280–350 °С – починаються екзотермічні реакції, у процесі яких виділяється складна суміш летких хімічних речовин (кетони, альдегіди, феноли, ефіри);

4) понад 350 °С – виділяються всі типи летких сполук; одночасно з утворенням CO відбувається збільшення утворення H_2 , частина вуглецю зберігається у формі деревного вугілля, змішаного із зольними залишками.

Різновиди палива, що одержують у результаті піролізу, мають меншу в порівнянні з вихідною біомасою сумарну енергію згорання, але відрізняються більшою універсальністю застосування. Серед них виділяють:

- твердий залишок (максимальна масова частка 25–35 %). Сучасні установки для одержання деревного вугілля, що працюють за температури 600 °С, перетворюють у необхідний продукт від 25 до 35 % сухої біомаси.

- деревне вугілля на 75–85 % складається з вуглецю, має теплоту згорання близько 30 МДж/кг.

- рідини (конденсовані випари, максимальна масова частка близько 30 %). Діляться на в'язкі фенольні смоли й текучі рідини, піролігенні кислоти, в основному оцтову кислоту, метанол (максимум 2 %) і ацетон. Рідини можуть бути відсепаровані або можуть використовуватися разом як неопрацьоване паливо з теплотою згорання близько 22 МДж/кг.

- гази (максимальна масова частка, одержувана в газогенераторах, становить приблизно 80 %). Суміш, що виділяється під час піролізу газів з азотом відома як деревний газ,

синтетичний газ, генераторний газ або водяний газ. Теплота згорання на повітрі становить 5–10 МДж/кг (від 4 до 8 МДж/м³ за нормальних умов). Ці гази можуть бути використані безпосередньо в дизелях або в карбюраторних двигунах з іскровим запалюванням, при цьому основні труднощі – уникнути потрапляння в циліндри золи й продуктів піролізу, що конденсуються. Гази в основному складаються з N₂, H₂ і CO з малими добавками CH₄ і CO₂. Їх можна накопичувати в газгольдерах при тиску, близькому до атмосферного.

Термохімічні процеси

Біомаса може спалюватися або піддаватися піролізу безпосередньо після попереднього сортування й здрібнення. Однак, вона може бути ще й оброблена хімічно для того, щоб одержати вихідний матеріал для спиртової ферментації або вторинного палива. Розглянемо декілька найбільш важливих прикладів з великого числа можливих.

Гідрогеізація. Здрібнену, що розклалася або переварену біомасу, наприклад гній, нагрівають в атмосфері водню до температури близько 600 °C за тиску близько 5 МПа. Одержувані при цьому горючі гази, переважно метан і етан, при спалюванні дають близько 6 МДж на 1 кг сухої сировини.

Гідрогеізація із застосуванням CO і пари. Ведеться аналогічно попередньому процесу, але нагрівання проводиться в атмосфері CO і водяної пари за температури 400 °C и тиску 5 МПа. Із продуктів реакції отримують синтетичну нафту, що можна використовувати як паливо.

Гідроліз під впливом кислот і ферментів. Целюлоза, що складає основну масу сухого залишку рослин (від 30 до 50 %), важко піддається гідролізу й зброджуванню за допомогою мікроорганізмів. Перетворення целюлози в цукри, що можуть зброджуватися, можливе нагріванням в сірчаній кислоті або під впливом ферменту целюлози деяких мікроорганізмів. Отримані продукти можна використовувати як їжу для великої рогатої худоби.

Вибір технологій переробки біомаси залежить від характеру і структури біомаси сировини і бажаних результатів проекту. З наведеної вище таблиці, можна бачити, що пряме спалювання або

газифікація біомаси придатні для отримання теплової та електричної енергії. Анаеробне зброджування, ферментація і екстракція олій підходять для тих видів біомаси, з яких достатньо просто одержувати олії або цукри, або для тих, що містять значну кількість вологи у своєму складі. При цьому тільки термічна переробка за допомогою піролізу може забезпечити отримання сировини для всіх перелічених вище форм кінцевих продуктів.

Для ефективної реалізації більшості технологій термічної переробки необхідним є низький вміст вологи в біомасі (< 15 %). Для цих технологій витрати енергії на осушування біомаси можуть бути причиною зниження ефективності процесу.

Таким чином, надзвичайно важливо визначити відповідність виду біомаси застосовуваній технології, оскільки деякі види біомаси можуть забезпечити кращу якість палива або енергії при менших витратах, ніж інші. Окрім відповідності обраної технології тому чи іншому виду біомаси важливо враховувати густину енергії та фізико-хімічні характеристики кінцевого продукту.

Великомасштабне збільшення обсягу виробництва біопалив (наприклад, етилового спирту) із цієї причини може зробити істотний негативний вплив на світовий ринок харчових продуктів. Другий серйозний недолік – можливість збідніння й ерозії ґрунтів у результаті інтенсифікації вирощування «енергетичних» культур. Очевидна стратегія запобігання цих явищ – вирощування культур, придатних і для забезпечення людини (зерно), і для енергетичних потреб при одночасному скороченні частини врожаю, що скормлюється тваринам. Для вирощування й переробки врожаю необхідна енергія у формі сонячного випромінювання й у формі, придатній для одержання палива для роботи сільгоспмашин, створення самих цих машин, одержання добрива й т.п. Для оцінки ефективності одержання енергії з того або іншого виду біомаси необхідне проведення енергетичного аналізу.

2.8.4. Альтернативні палива з біомаси

В останні роки різноманітні види біомаси широко вивчаються з метою переробки їх на біопалива. Загалом, застосування біомаси як сировини для отримання палив має на меті дві глобальні цілі: подолання невпинної зміни клімату,

спричиненої викидами вуглекислого газу та зменшення залежності від нафтових ресурсів (в основному транспортного сектору). Проте, різні види сировини значно відрізняються один від одного. Основна відмінність визначається їх хімічною природою: лігноцелюозна біомаса, біомаса з високим вмістом жирів (рослинні олії, тваринні жири), біомаса з високим вмістом цукрів та крохмалю (картопля, кукурудза, цукрові буряки, та ін.). Існуюче сьогодні різноманіття технологій переробки біомаси відповідно до складності та ступені зрілості технології прийнято класифікувати за поколіннями (рис. 2.23).

Біопалива *першого покоління* вже є доступними для широкого використання на АЗС у вигляді сумішей з бензином та дизельним паливом у різних пропорціях до 100 %. Вони включають два основні види: біодизель – для використання у дизельних двигунах, виготовляється з високоолійних рослин (ріпак, соя, соняшник, пальма, та ін.) та етанол, що виготовляється ферментацією цукрів або крохмалю, що містяться у рослинній біомасі та використовується у бензинових двигунах.

Біопалива *другого покоління* виготовляються переробкою рослин повністю, а саме – лігноцелюлози. Ця сировина є доступною у великих кількостях у різноманітних формах: деревина, сіно, відходи деревообробки, залишки рослин та ін. Палива другого покоління не є конкурентами харчової промисловості. Основною метою є виробництво палив, що можуть використовуватися або у чистому вигляді, або у сумішах з бензином, дизельним паливом чи керосином. Наразі вивчається два основних процеси: біохімічна конверсія та термохімічна.

Біопалива *третього покоління* можуть виготовлятися за допомогою автотрофної водоростевої біомаси (що розвивається завдяки фотосинтезу), або гетеротрофних процесів (з додаванням додаткового вуглецю, наприклад цукрів). Деякі мікроводорості здатні акумулювати CO_2 , отриманий у результаті фотосинтезу у вигляді ліпідів, що складають близька 80 % сухої маси. Однак, сьогодні низка перепон все ще стримують економічну та екологічну життєздатність технології отримання біопалив з мікроводоростей (вартість процесу виробництва, енергетичні потреби, прибуток, збирання «врожаю» та ін.).

2.8.5. Біоенергетичний потенціал України

Біоенергетика є однією з найперспективніших складових відновлювальної енергетики України. Вона заснована на використанні енергії біомаси, що є відновлювальним, екологічно чистим паливом, використання якого не призводить до підсилення глобального парникового ефекту. Біомаса, на відміну від інших відновлюваних джерел енергії, є універсальним джерелом енергії, що може використовуватися як для виробництва електричної та теплової енергії, так і для отримання біопалива для забезпечення потреб транспортної галузі.

Використання відновлюваних джерел енергії, у першу чергу, біомаси, є актуальним для України, оскільки дозволяє зменшити її залежність від імпортованих енергоносіїв та підвищити енергетичну безпеку. Біомаса є недорогим та легкодоступним місцевим паливом, що можна ефективно залучити до виробництва теплової та електричної енергії. Вартість біомаси як палива у перерахунку на одиницю енергії (ГДж) суттєво менше вартості природного газу.

Оцінка потенціальних об'ємів біомаси України з погляду можливого її використання з енергетичною метою – є проблемою вирішення не тільки економічної стабільності держави сьогодні, а й пошуку альтернативних джерел енергії на далеку перспективу.

Частка відновлювальної енергетики в паливному балансі України сьогодні становить 0,8 %. Енергія біомаси складає 60 % відновлювальних джерел енергії. Згідно статистичних даних загальні річні обсяги відходів біомаси в Україні на сьогодні оцінюються в 120 млн т, що еквівалентно 22 млн. т у.п.. Технічно доступні для використання в енергетиці ресурси біомаси оцінюються в 14 млн т. у. п. на рік.

На даний час технології використання біомаси для одержання біоенергії знаходяться тільки на початку свого розвитку в Україні, проте мають добрі перспективи в найближчому майбутньому. Тому дане питання є досить важливим і потребує подальшого вивчення

2.9. Енергія біогазу

Одним з важливих секторів ВДЕ в світі є виробництво та енергетичне використання біогазу. Лідером у виробництві біогазу по праву можна вважати Євросоюз в цілому і Німеччину зокрема. Загальне виробництво біогазу в ЄС у 2014 р. склало 14,9 млн т н.е. (еквівалент 18,45 млрд м³ природного газу), з них 12,3 млн т н.е. – вироблено в Німеччині. При цьому приріст по відношенню до 2010 р. склав 36,7 %. Загальна кількість біогазових установок (БГУ) в Європі становить 17 240 од.. Станом на 2014 р. загальна кількість БГУ в Німеччині склала 8726 од., при цьому їх сумарна встановлена потужність досягла 3,905 МВт (рис. 2.24). Всього протягом року з біогазу було вироблено 32,08 ТВт год електроенергії.

В Європейському Союзі 56,7 % біогазу було вироблено на біогазових установках, що використовують як сировину відходи агропромислового комплексу і спеціально вирощену рослинну сировину. Близько третини біогазу (31,3 %) отримано на полігонах твердих побутових відходів (ТПВ). Частина, що залишилася (12 %) отримана на станціях очистки стічних вод. При цьому різні європейські країни мають різну спеціалізацію. Біогаз полігонів ТПВ відіграє головну роль в Великобританії, Франції, Італії та Іспанії, у той час як біогаз із сільськогосподарських відходів та рослинної сировини домінує в Німеччині, Нідерландах, Чехії, Австрії, Бельгії, Данії та Східній Європі.

Біогаз переважно використовується для виробництва електроенергії та/або тепла, при цьому домінуюча частка корисного використання енергії біогазу припадає на виробництво електроенергії. У балансі виробництва електроенергії з ВДЕ в ЄС електроенергія з біогазу становить 4,5 %, а в балансі виробництва електроенергії з біомаси – 24,4 %. Згідно з офіційним прогнозом Єврокомісії щодо структури виробництва електроенергії з ВДЕ в ЄС в 2020 р частка електроенергії з біогазу становитиме близько 8 %, перевищивши внесок малої гідроенергетики, геотермальної та сонячної енергетики, а також електроенергії з відходів.

У процесі виробництва електроенергії з біогазу значна частина тепла споживається на власні потреби БГУ (підігрів біореакторів, привід механізмів) або просто розсіюється у вигляді теплової енергії в атмосферу через відсутність споживача теплової

енергії поблизу БГУ. У зв'язку з цим в останні роки набули поширення проекти з виробництва очищеного біогазу (біометану) з подальшим закачуванням в мережі природного газу.

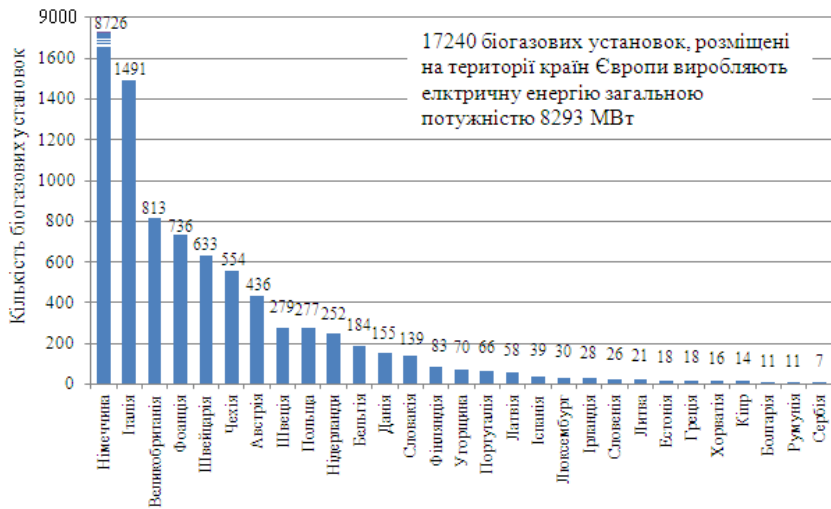


Рис. 2.24. Загальна кількість біогазових установок на території країн Європи у 2018 р.

У 2011 р. в Європейському Союзі налічувалося за різними даними приблизно 180 установок з виробництва біометану, 130 з яких постачали біометан в газові розподільні мережі, на інших біометан використовувався як моторне паливо для автомобілів. Сумарна потужність біометанових установок становила 70000 м³/рік. Тільки в Німеччині в липні 2012 р. працювало 87 установок, на яких вироблялося 55930 м³/р біометану. На етапі будівництва знаходилися ще 39 установок з перспективою збільшення виробництва біометану до 81 620 м³/рік. У Швеції з 47 біометанових установок 7 поставляли біометан в газові мережі, решта виробляли моторне паливо для транспорту, в Швейцарії відповідно 7 і 15, в Нідерландах всі 13 установок забезпечували поставки в мережу природного газу. Загальне виробництво

біометану в 8 країнах ЄС в 2010–2011 рр. склало приблизно 0,5 млрд. м³/рік.

Крім того, розвивалися проекти будівництва БГУ поблизу споживачів тепла або створення таких споживачів тепла поблизу БГУ. Це дозволило більш повно використовувати енергію виробленого біогазу в періоди і в місцях максимально повного використання виробленої теплової енергії. Великі обсяги виробництва біогазу та біометану стали наслідком додаткового використання в якості субстрату спеціально вирощуваних енергетичних рослинних культур (переважно силосу кукурудзи). Наприклад, в Німеччині для цих цілей було задіяно близько 1 млн га, що становить 8,3 % від загальної площі орних земель (більше 12 млн га).

Дорожня карта з виробництва біогазу в країнах ЄС показує можливість виробництва біогазу в 27 країнах ЄС в 2020 р. в обсязі, еквівалентному 29,43 млн. т. н. е. Для цього достатньо буде використовувати 35 % всіх гнойових відходів тваринницьких ферм і вирощувати енергетичні культури під біогаз на 5 % сільськогосподарських земель. При цьому приблизно 3/5 обсягу біогазу планується виробляти з енергетичних культур, 1/5 – з гною, і ще 1/5 – з інших відходів і побічних продуктів промисловості та сільського господарства. За оцінками аналітиків, ринок біогазу продовжить стрімко розвиватися, заміщаючи інші енергоносії в загальній структурі енергетичного балансу країн.

2.9.1. Технологічні процеси отримання біогазу

Біогаз – горючий газ, що утворюється при анаеробному метановому зброджуванні біомаси. Склад біогазу не є стабільним і залежить від багатьох факторів. Усереднений склад біогазу можна представити наступним чином: 55–75 % – метан (CH₄), 25–45 % – вуглекислий газ (CO₂), незначні домішки водню (H₂) і сірководню (H₂S), азоту (N₂), ароматичних вуглеводнів, галогено-ароматичних вуглеводнів.

Розкладання біомаси відбувається в результаті хіміко-фізичних процесів і симбіотичної життєдіяльності 3-х основних груп бактерій, при цьому продукти метаболізму одних є продуктами харчування інших в певній послідовності. Перша група – *гідролізні* бактерії, друга – *кислотоутворюючі*, третя –

метаноутворюючі. Як сировину для виробництва біогазу можуть використовувати як органічні агропромислові чи побутові відходи, так і рослинну сировину – силос кукурудзи, трав'яний силос, зерно і силос злакових культур.

Процес утворення газу представляє собою *метанове бродіння*. Його суть полягає в *анаеробному* бродінні (без доступу повітря), що відбувається внаслідок життєдіяльності мікроорганізмів і супроводиться низкою біохімічних реакцій. Власне сам процес утворення біогазу складається з двох етапів: перший – розщеплення мікроорганізмами біополімерів до мономерів, другий – переробка мономерних біомолекул мікроорганізмами.

Перший етап досить енергетично не вигідний процес, в її результаті вивільняється замало енергії, якою могли б житися мікроорганізми, тому для успішного проходження даного етапу потрібно підтримувати умови для успішного розвитку мікрофлори.

Другий етап – процес окиснення утворених мономерних молекул, звичайний природний окисно-відновний процес. Але за умов відсутності стандартного окисника даного процесу (кисню повітря) відбувається диспропорціонування за ступенями окиснення присутніх в молекулах атомів (сірка, азот та карбон). У результаті чого ми отримуємо бажаний метан (CH_4), та газидомішки, що вважаються не корисними, і навіть шкідливими: CO_2 , NH_3 , H_2S .

Найбільш придатними для виробництва біогазу видами відходів АПК є:

- гній свиней і великої рогатої худоби, послід птиці;
- бадилля овочевих культур;
- некондиційний урожай злакових і овочевих культур, цукрових буряків, кукурудзи;
- жом і меляса;
- барда спиртова;
- мучка, дробина, дрібне зерно, зародок;
- дробина пивна, солодові паростки, білковий відстій;
- відходи крохмал-паточкового виробництва;
- вичавки фруктові та овочеві;

- сироватка і маслянка.

Кількість субстратів/видів відходів, що використовуються для виробництва біогазу в межах однієї біогазової установки, може варіюватися від одного до десяти і більше. Залежно від типів і кількості видів застосовуваних субстратів існують різні варіанти технологічних схем біогазових станцій. У разі застосування декількох субстратів, що відрізняються властивостями, наприклад, рідких і твердих відходів, їх накопичення, попередня підготовка (подрібнення, біоактивізація, підігрів, гомогенізація або інша фізико-хімічна обробка) проводиться окремо, після чого вони або змішуються перед подачею в біореактори, або подаються розділними потоками. Використання попередньої підготовки у низці випадків дозволяє домогтися збільшення швидкості і ступеня розкладу сировини в біореакторах, а, отже, загального виходу біогазу.

Технології виробництва біогазу

Основними структурними елементами схеми типової біогазової установки є:

- система прийому та попередньої підготовки субстратів;
- система транспортування субстратів в межах установки;
- біореактори (ферментери) з системою перемішування;
- система обігріву біореакторів;
- система відведення і очищення біогазу від домішок сірководню і вологості;
- накопичувальні ємності зброженої маси і біогазу;
- система програмного контролю та автоматизації технологічних процесів.

Технологічні схеми БГУ бувають різними, у залежності від виду та кількості перероблюваних субстратів, від виду і якості кінцевих цільових продуктів, від того чи іншого застосованого «ноу-хау» компанії постачальника технологічного рішення, і ряду інших чинників. Найбільш поширеними на сьогоднішній день є схеми з *одноступеневим збродженням* декількох видів субстратів, одним з яких зазвичай є гній. Типова схема такої БГУ показана на рис. 2.25.

З розвитком біогазових технологій застосовуються технічні рішення, що удосконалюються в бік *дво-* або *треступневих* схем, що в багатьох випадках обґрунтовано технологічною необхідністю ефективної переробки окремих видів субстратів і підвищенням загальної ефективності використання робочого об'єму біореакторів.

При виробництві електричної енергії одним з основних додаткових блоків є когенераційна станція на основі двигунів внутрішнього згорання з системою підключення до загальної або локальної електромережі. Виробництво біометану вимагає очищення утворюваного біогазу від домішок вуглекислого газу, сірководню, парів води і низки інших компонентів. Апробованими і найбільш часто вживаними технологіями очищення біогазу є водна абсорбція, адсорбція на носії під тиском, хімічне осадження і мембранне розділення.

Теплотворна здатність одного кубічного метру біогазу складає залежно від вмісту метану 20–25 мДж/м³, що еквівалентно згоранню 0,6–0,8 л бензину, 1,3–1,7 кг дров або використанню 5–7 кВт електроенергії.

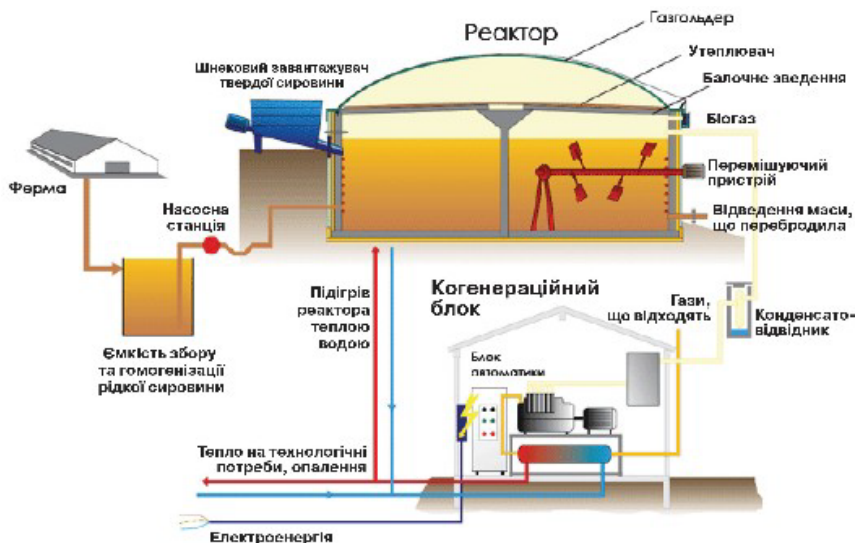


Рис. 2.25. Типова модель біогазової установки

Отриманий внаслідок метанового бродиння біогаз, як правило, поступається за теплотворними властивостями природному газу. Проте після відповідної технологічної сепарації (поглинання і використання на інші технологічні потреби наявного вуглекислого газу) перевершує природний газ за теплотворністю.

Енергетична ефективність роботи біогазових комплексів багато в чому залежить як від обраної технології, матеріалів і устаткування основних споруд, так і від кліматичних умов у районі їх розташування. Середнє споживання енергії на підігрів біореакторів в помірному кліматичному поясі (відповідає умовам України) становить 15–30 % від загальної енергії виробленого біогазу (брутто). Загальна енергетична ефективність біогазового комплексу з ТЕС на біогазі становить в середньому 75–80 %. У випадку, коли тепло, що отримується від когенераційної станції під час виробництва електроенергії, неможливо утилізувати (поширена ситуація через відсутність споживачів тепла), воно відводиться в атмосферу. У такому випадку, енергетична ефективність біогазової ТЕС становить лише 35 % від загальної енергії біогазу. Середня енергетична ефективність станції з виробництва біометану дорівнює 65 %. Навіть з урахуванням втрат енергії при транспортуванні і подальшому спалюванні біометану, енергетична ефективність таких проектів буде вищою, ніж у випадку з ТЕС.

Біогазові проекти в агропромисловому секторі можуть бути організовані одним із таких способів:

- виробництво біогазу на базі відходів окремого підприємства (наприклад, гною тваринницької ферми, жому цукрового заводу, барди спиртового заводу), при цьому один вид відходу буде домінуючим;

- виробництво біогазу на базі відходів різних підприємств, з прив'язкою проекту до окремого підприємства або окремо розташованої централізованої БГУ;

- виробництво біогазу з переважним використанням енергетичних рослин на окремо розташованих БГУ.

- біогазові проекти в житлово-комунальному секторі можуть бути організовані в такий спосіб:

- виробництво біогазу з органічної частини твердих побутових відходів, що збираються одним або декількома комунальними підприємствами;

- виробництво біогазу з осадів станцій очищення стічних вод;

- збір біогазу на полігонах і звалищах ТПВ.

Найбільш поширеними способами енергетичного використання біогазу є:

- спалювання в газопоршневих двигунах в складі міні-ТЕЦ, з виробництвом електроенергії і тепла (або холоду), або з виробництвом тільки електричної енергії (ТЕС);

- пряме спалювання в котлах, печах і іншому технологічному обладнанні для отримання теплової енергії (може застосовуватися для комунального/промислового тепlopостачання, приготування їжі, кормів, ін.);

- закачування в мережу природного газу після очищення від баластних газів, в результаті очищення виходить аналог природного газу (біометан) з вмістом метану 96–98 %;

- використання як автомобільного моторного палива після глибокого очищення і компримування.

Усі перераховані способи в тій чи іншій мірі використовуються в світовій практиці, але домінуючим є виробництво електроенергії в міні-ТЕЦ на біогазі, в тому числі завдяки широко поширеному механізму стимулювання через «зелений» тариф. Останнім часом у світовій практиці особливо швидкими темпами зростає кількість біогазових проєктів, спрямованих на виробництво і закачування біометану в мережу природного газу.

Основні показники роботи біогазових установок можуть істотно відрізнятися, що багато в чому визначається застосовуваними субстратами, прийнятим технологічним регламентом, експлуатаційної практикою, виконуваними завданнями кожної окремої установки. Експлуатаційні показники ряду біогазових установок в Німеччині наведені в табл. 2.8.

Зброджена маса є цінним матеріалом для отримання добрива і підвищення якості ґрунтів, перевершуючи за своїми

якостями незброджені матеріали, а також мало чим поступаючись мінеральним добривам або компосту. Цінність такої маси визначається наявністю в ній біогенних елементів. Зброджена маса, як правило, розділяється на рідку і тверду фракції за допомогою сепаратора. Рідку фракцію направляють в лагуни, де накопичують для періодичного внесення в ґрунт. Зневоднена тверда фракція також може використовуватися як добриво і, після додаткової сушки і упаковки, придатна для тривалого зберігання і транспортування на великі відстані.

Таблиця 2.8

**Експлуатаційні показники
роботи 62-х біогазових установок в Німеччині**

Показник	Розмірність	Значення		
		середнє	мінімальне	максимальне
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Навантаження по органічній речовині	кг COP*/м³/доба	3,0	1,1	9,9
Тривалість процесу	доба	101	29	289
Ступінь розпаду органічної речовини	%	76	59	89
Питомий вихід CH ₄ з одиниці об'єму реактора	нм³CH ₄ /м³/ доба	1,1	0,3	3,2
Питомий вихід CH ₄ з тонни субстрату	нм³CH ₄ /т	86	28	141
Питомий вихід CH ₄ з тонни внесеної сухої органічної речовини	нм³CH ₄ /т COP	371	224	464

* COP – суха органічна речовина

2.9.2. Сировина для одержання біогазу

Біогаз зі звалищ твердих побутових відходів.

Сьогодні у світі та в Україні зокрема значну увагу привертають до себе звалища та полігони (ТПВ) міст-мільйонерів як джерела для виробництва біогазу. Основними факторами у виборі таких джерел є густина населення та час. Вплив першого фактору полягає у тому, що чим більшою є зосередженість населення в місті, тим більшу кількість відходів вони будуть виробляти, отже, тим більшою буде потужність звалищ, що приймають ці відходи. Фактор часу полягає у тому, що одиниця маси ТПВ, розміщена на звалищі, здатна виробляти метан протягом 20–25 років. Отже, значний енергетичний потенціал матимуть також і звалища порівняно невеликих міст, що експлуатуються досить тривалий час.

Для зброджування органічної частини ТПВ – харчових залишків, відходів харчової промисловості і садово-паркових відходів – можуть використовуватися різні методи. Найбільш поширений «вологий» метод, при якому застосовуються аналоги традиційних сільськогосподарських БГУ. У такому випадку ТПВ можуть зброджуватися окремо або ж як додатковий субстрат. Певного поширення набули методи «сухого» зброджування ТПВ в колонах або контейнерах. Для того, щоб зброджування ТПВ в біореакторах стало можливим необхідно забезпечити сортування або роздільний збір ТПВ.

Альтернативою керованому виробленню біогазу з органічних фракцій ТПВ є збір і, в разі економічної доцільності, енергетична утилізація біогазу на полігонах і звалищах.

У країнах Європи залежність обсягу звалищ ТПВ від густини населення стає дедалі меншою внаслідок того, що ТПВ транспортуються на досить великі відстані (десятки та сотні кілометрів). З точки зору виробництва біогазу, створення таких значних за обсягом полігонів ТПВ є перспективним. Однак, з точки зору споживання виробленої енергії це є негативним фактором, бо такі централізовані звалища створюються у значному віддаленні від населених місць. Проте відомо, що для успішної реалізації біоенергетичного проекту на основі біогазу звалищ ТПВ обов'язковою умовою є наявність споживача енергії (особливо, теплової) поблизу звалища. Саме внаслідок цього в межах

енергетичних проектів нерідко створюються такі споживачі (наприклад, теплиці для вирощування квітів). За оцінками вітчизняних експертів біогаз звалищ доцільно транспортувати на відстань до 3 км від звалища. Іншим виходом є створення енергетичних проектів з виробництва тільки електричної енергії, але такі проекти є менш рентабельними – тепла енергія все одно виробляється, але не споживається.

З точки зору охорони довкілля, залучення біогазу звалищ до процесів виробництва енергії є дуже важливим, тому що основним недоліком даного виду АДЕ є неконтрольованість його виробництва. На жаль, людина не може втручатись в анаеробні процеси, що відбуваються всередині товщі накопичених відходів. Можна лише намагатись забезпечувати необхідний склад ТПВ, що потрапляють на звалище, а також організовувати ефективні технології вловлювання виробленого біогазу. Забезпечення необхідного складу відходів полягає у запровадженні систем роздільного збору ТПВ, у яких більшість компонентів, що не розкладаються біологічним шляхом, направляються на вторинну утилізацію. З одного боку, такі системи зменшують кількість первинних природних ресурсів, що споживаються. З іншого боку, у відходах, що направляються на захоронення на звалищі, збільшується частка відходів, на основі яких виробляється метан (харчові залишки). Технології вловлювання утвореного біогазу полягають у розробці ефективних систем трубопроводів та свердловин, що охоплюють весь масив захоронених відходів, а також у створенні систем ізоляції поверхні звалища, що запобігає потраплянню біогазу в атмосферу.

Біогаз із осаду станцій очищення комунальних стічних вод

Даний вид сировини також зазнає значного впливу з боку густини населення. Так, на прикладі Харківської області, можна сказати, що більш ніж 90 % енергетичного потенціалу осаду станцій очищення комунальних стічних вод належить до станцій, що приймають стічні води обласного центру. Отже, найбільш ефективним є реалізація енергетичних проектів на станціях очищення стічних вод міст з найвищим рівнем населення.

Технологія виробництва біогазу з осадів стічних вод, порівняно зі звалищами ТПВ, дуже відрізняється. Процес виробництва є контрольованим, і переробці підлягає той осад, що утворюється в даний час на станції. Отже, залежність від фактору часу у випадку виробництва біогазу з осаду стічних вод не спостерігається.

Кліматичні умови не впливають на розміщення даного ресурсу, що є повністю антропогенним. Проте температурні умови значно впливають на процес виробництва біогазу. Так, у районах з суворими зимовими температурами, проекти на основі даного виду сировини не є рентабельними, так як необхідно посилювати ізоляцію реактору, де здійснюється генерація метану. Також у цьому випадку вся теплова енергія буде спрямовуватись на підтримання постійної температури у реакторі, бо бактерії, що продукують метан, є дуже вразливими до змін температури (навіть незначних).

Слід відзначити, що з просторової точки зору такий біогаз доцільно споживати на місці внаслідок того, що самі станції очищення стічних вод є значними споживачами теплової та електричної енергії.

Природоохоронний аспект проблеми, окрім питання зменшення емісії парникових газів (тут енергетичні проекти відіграють, безумовно, позитивну роль), порушує також питання утилізації збродженого осаду стічних вод як сільськогосподарського добрива. Така перспектива є одним з найбільш значних факторів, що обумовлюють розвиток використання технології анаеробного зброджування на станціях очищення стічних вод. На прикладі Франції як однієї з країн з розвиненою галуззю зброджування осаду стічних вод можна розглянути структуру поводження з осадом:

- 50–60 % використовуються як органічні добрива;
- 20–25 % вивозяться на звалища ТПВ;
- 15–20 % спалюються на сміттєспалювальних заводах.

Безпосереднє ж використання органічних добрив на основі комунальних вод не є оптимальним внаслідок малого вмісту поживних елементів, що до того ж мають низьку рухомість, тобто низьку доступність рослинам. Але найбільш важливою проблемою, що була виявлена під час дослідження можливостей використання

осаду стічних вод як органічного добрива, є вміст важких металів. Одним з основних джерел цього забруднення є промислові стічні води, що нерідко скидаються до міської каналізаційної мережі.

Прикладом неспроможності використання стічних вод у сільському господарстві внаслідок значного їх забруднення можна відзначити ситуацію на Бортницькій станції аерації (БСА), що знаходиться у Київській області, де здійснювалось використання стічних вод для зрошування. Ця зрошувальна система на даний момент є найбільшою в Україні. Але у 2000 році стічні води міста були замінені на Дніпровську воду, бо полив ними був заборонений санепідемстанцією.

Біогаз із відходів тваринництва

За територіальним характером розміщення, відходи тваринництва є більш рівномірними, на відміну від біогазу звалищ ТПВ та осаду стічних вод, що мають значні «піки» поблизу великих міст та значення близькі до нуля на решті території.

Основний вплив на характер розміщення відходів тваринництва за територією мають два фактори: тяжіння до територій з розвинутою галуззю рослинництва, що виступає сировинною базою для тваринництва, і тяжіння до великих міст, які виступають ринком збуту виробленої тваринницької продукції.

Кліматичні умови впливають у такий спосіб: чим більш сприятливими будуть умови для розвитку рослинництва, тим більшою буде харчова база для тваринництва. Проте необхідно відзначити, що у північних та західних областях України, де рослинництво є менш розвиненим, тваринництво все одно характеризується високими показниками, що свідчить про можливість переключення цієї галузі сільського господарства на інші види кормового забезпечення.

Аналогічно технології виробництва біогазу на основі осаду комунальних стічних вод, генерація біогазу потребує високоякісної термоізоляції та витрат тепла на підтримання постійної температури у реакторі.

У світовій практиці використання відходів тваринництва відбувається за двома стратегіями: німецькою та датською. Перша з них характеризується використанням відходів тваринництва в місцях їх утворення або накопичення (для потреб тих самих

господарств, в яких ці відходи буди утворені), друга — створенням централізованих біоенергетичних установок, що споживають відходи одразу кількох фермерських господарств. Німецька модель характеризується великими питомими капіталовкладеннями, внаслідок чого є ефективною лише у випадку стимулювання розвитку біоенергетики з боку держави, що характерне для Німеччини (та Австрії), або за сприятливих кліматичних умов, коли не виникає потреба у метантенках складної конструкції (Італія).

Датська модель характеризується трьома принциповими перевагами порівняно з німецькою:

- зменшення питомих капіталовкладень завдяки збільшенню одиничної потужності установки;
- можливість когенерації (вироблення як теплової, так і електричної енергії одночасно);
- можливість коферментації (ефекту значного збільшення питомого виходу біогазу внаслідок одночасного використання кількох видів сировини у БГУ).

Зазначені просторові стратегії можна розповсюджувати й на інші види сировини, що можна використовувати в технологіях метанізації.

Для території України найбільш доцільним є створення централізованих енергетичних установок. Відстань транспортування відходів тваринництва в країнах Західної Європи становить до 50–60 км. Для умов України ця відстань буде значно меншою – близько 10 км, що вже надасть змогу істотно збільшити одиничну потужність встановлюваних енергетичних проектів.

Природоохоронний аспект проблеми має аналогічне вираження, що й для осадку станцій очищення комунальних стічних вод. З одного боку, це зменшення викидів парникових газів, з іншого – стабілізація відходів та підвищення їх поживних властивостей для застосування як добрива.

Біогаз із відходів рослинництва

Як і відходи тваринництва, за характером розміщення за територією дані відходи мають суцільний характер. Враховуючи той факт, що відходи рослинництва доцільно використовувати під час спалювання для опалення, даний вид сировини за умови

достатнього розвитку галузі може стати основним джерелом опалення у сільській місцевості.

Основним фактором, що впливає на розміщення відходів рослинництва, є належність території до тієї чи іншої природної зони. Вплив цього фактору є цілком обґрунтованим, тому що залежно від природної зони зростає й площа земель, що може бути задіяна у сільському господарстві.

Наявність сільськогосподарських земель обумовлює також і другу закономірність – зворотну залежність між енергетичним потенціалом відходів рослинництва та густиною населення. Саме ця закономірність дозволяє визначити забезпечення тепловою енергією сільської місцевості як найбільш пріоритетний шлях застосування даного виду сировини.

З просторової точки зору, відходи рослинництва в умовах нашої країни найбільш доцільно використовувати безпосередньо у місці утворення. Нерентабельність транспортування на великі відстані обумовлена незначним обсягом енергетичної цінності даного виду сировини.

Проблема транспортування соломи, що вирішена в країнах Заходу завдяки впровадженню технології її тюкування, у нашій країні поки що не набула значного розвитку через традиційне застосування методу подрібнення соломи комбайном та накопичення у вантажному причепі, після чого солома зберігається у снопах.

Природоохоронний аспект даної проблеми полягає у зменшенні викидів парникових газів, що полягає передусім у заміщенні викопних видів енергії.

Переваги біогазових технологій

Виробництво і енергетичне використання біогазу має цілий ряд обґрунтованих і підтверджених світовою практикою переваг, а саме:

- *відновлюване джерело енергії.* Для виробництва біогазу використовується відновлювальна біомаса;
- *широкий спектр сировини* для виробництва біогазу дозволяє будувати біогазові установки практично повсюдно в

районах концентрації сільськогосподарського виробництва та технологічно пов'язаних з ним галузей промисловості;

- *універсальність способів енергетичного використання біогазу* як для виробництва електричної та/або теплової енергії за місцем його утворення, так і на будь-якому об'єкті, підключеному до мережі природного газу (в разі подачі в мережу очищеного біогазу), так і як моторне паливо для автомобілів;

- *стабільність виробництва електроенергії з біогазу протягом року* дозволяє покривати пікові навантаження в мережі, в тому числі і в разі використання нестабільних ВДЕ, наприклад, сонячних і вітрових електростанцій;

- *конкурентоспроможне енергетичне використання орних земель* в порівнянні з виробництвом рідких моторних палив (біоетанолу та біодизеля). Доведено, що в разі виробництва біогазу з енергетичних гібридів кукурудзи, виробництво енергії нетто на 1 га орних земель вище у 2 (в разі ТЕС на біогазі) – 4 (у разі ТЕЦ на біогазі) рази порівняно з виробництвом біоетанолу або біодизеля (рис. 2.26);

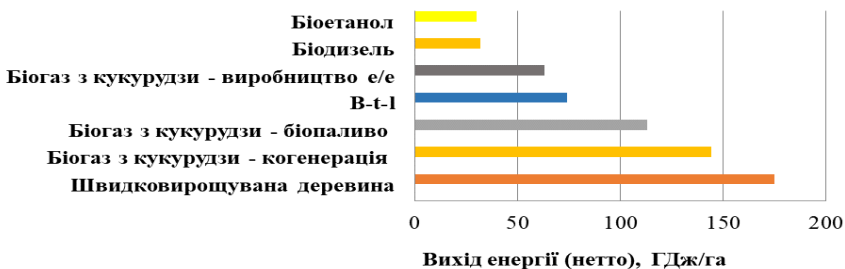


Рис. 2.26. Потенціал виробництва біогазу з енергетичних гібридів кукурудзи

- *створення робочих місць* через формування ринкового ланцюга від постачальників біомаси до експлуатуючого персоналу енергетичних об'єктів. У Німеччині сектор біоенергетики за кількістю створених робочих місць (122 тис. місць станом на 3/2011) перевищує інші сектори ВДЕ;

- *зниження негативного впливу на навколишнє середовище* завдяки переробці та знешкодженню відходів контрольованим зброджуванням в біогазових реакторах або під час збору біогазу на існуючих полігонах ТПВ. Біогазові технології – один з основних і найбільш раціональних шляхів знешкодження органічних відходів. Проекти з виробництва біогазу дозволяють скорочувати викиди парникових газів в атмосферу;

- *агротехнічний ефект* від застосування зброженої в біогазових реакторах маси на сільськогосподарських полях проявляється в поліпшенні структури ґрунтів, регенерації та підвищенні їх родючості завдяки внесенню поживних речовин органічного походження. Розвиток ринку органічних добрив, в т.ч. з переробленої в біогазових реакторах маси, в перспективі буде сприяти розвитку ринку екологічно чистої продукції сільського господарства в Україні та підвищенню конкурентоспроможності з аналогічним ринком в країнах ЄС.

2.9.3. Потенціал виробництва біогазу в Україні

Агропромисловий сектор України, виробляючи значні обсяги органічних відходів, потенційно володіє ресурсами для виробництва біогазу, здатними заміщувати 2,6 млрд м³ природного газу/рік (теоретичний потенціал). При подальшому розвитку сільського господарства і широкому використанні рослинної сировини (силос, трави) цей потенціал може бути доведений за різними оцінками від 7,7 до 18 млрд м³/рік в перерахунку на природний газ. У першому випадку передбачається використовувати 6 % орних (50 % вільних від посівів) земель в Україні під вирощування кукурудзи на біогаз з консервативною величиною врожайності 30 т/га. При цьому частка біогазу з силосу кукурудзи складе 53 % від загального потенціалу, з побічної продукції і відходів рослинництва – 5,7 %, з побічної продукції і відходів харчової переробної промисловості – 5,3 %, з гнойових відходів тваринництва – 36 %.

Другий варіант з більш високим прогнозом передбачає використання 7,9 млн га вільних від посівів земель під вирощування кукурудзи на біогаз з урахуванням підвищення врожайності.

У табл. 2.9 показаний потенціал вироблення біогазу на існуючих підприємствах АПК України та під час вирощування силосу кукурудзи для виробництва біогазу на 50 % вільних орних земель (при врожайності 40 т зеленої маси з 1 га і виході біогазу 180 м³/т).

Таблиця 2.9

Потенціал виробництва біогазу в галузях АПК України

Вид діяльності	Загальна кількість підприємств в Україні	Об'єм основної продукції	Загальний об'єм основних відходів	Потенціал виробництва біогазу із загального об'єму відходів/продукції	Частка економічно доцільного потенціалу
		тис. т (голів)	тис. т	млн. м ³ /рік	на БГУ з міні-ТЕЦ від 0,1 МВт
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
Всього по Україні	11667	-	39727	9543	54%
Цукрові заводи	60	1546,0	23263,5	975,5	46%
Пивоварні заводи	51	3100,0	1016,8	121,8	10%
Спиртові заводи	58	204,7	2705,0	116,8	13%
Ферми КРС	5079	1526,4	15431,6	385,8	97%
Свино-ферми	5634	3625,2	5656,7	160,3	30%
Птахо-фабрики	785	110561,3	4721,5	377,7	68%
Силос кукурудзи	Вирощування на 50% вільних пахотних земель	41140,4	-	7405,5	-

Потенційний обсяг біогазового ринку в Україні може бути освоєний протягом 10–20 років (до 2030 р.). Необхідною передумовою реалізації даних проектів на першому етапі є запровадження економічно обґрунтованого зеленого тарифу на електроенергію з біогазу. Для реалізації ефективних енергетичних біогазових проектів важливо стимулювати виробництво електроенергії з біогазу, отриманого не тільки з відходів біомаси, а й з спеціально вирощеної рослинної сировини. Паралельно з виробництвом електроенергії в Україні доцільно впроваджувати виробництво біометану для прямого заміщення природного газу або більш ефективної енергетичної утилізації біогазу в виробництві електроенергії та тепла.

У цілому біогазовий ринок в Україні можна оцінити як перспективний, з досить широкою обізнаністю учасників, що очікує сигналів з боку держави. Такими сигналами на першому етапі може бути введення в дію гарантованої законом величини «зеленого» тарифу для електроенергії з біогазу без обмеження видів обладнання чи сировини, інші види реальної законодавчої підтримки і нормативно-правового забезпечення.

Питання для самоперевірки

1. Які ви знаєте форми зберігання енергії?
2. Наведіть визначення поняття «геліоенергетика».
3. Які ви знаєте шляхи перетворення енергії Сонця
4. У чому полягає принцип роботи фотоелектричної сонячної електростанції?
5. У чому полягає принцип роботи термодинамічної сонячної електростанції?
6. Наведіть основні переваги та недоліки сонячної енергетики.
7. Наведіть визначення поняття «вітроенергетика».
8. Які ви знаєте конструкції вітроустановок? У чому їх відмінність?
9. Які показники використовуються для оцінювання вітроенергетичного потенціалу території?
10. Охарактеризуйте перспективи використання вітрової

енергетики в Україні.

11. Наведіть визначення поняття «гідроенергетика»
12. У чому полягає відмінність принципу роботи традиційних ГЕС та ГАЕС?
13. Що є визначальними факторами енергетичного потенціалу гідроенергетики?
14. Наведіть основні переваги міні-ГЕС над традиційними ГЕС.
15. Наведіть визначення поняття «енергія океану»
16. У чому полягає принцип дії припливних електростанцій?
17. У чому полягає принцип дії хвильових електростанцій?
18. Як може використовуватися теплова енергія океану?
19. Наведіть основні переваги та недоліки атомної енергетики.
20. Як виглядають перспективи розвитку атомної енергетики в Україні?
21. У чому проявляється негативний вплив використання атомної енергетики на довкілля?
22. Наведіть визначення поняття «геотермальна енергетика»
23. Розкрийте основні шляхи використання тепла земних надр.
24. Охарактеризуйте потенціал України у використанні геотермальної енергетики.
25. Наведіть визначення поняття «біоенергетики».
26. У чому полягає різниця між первинною та вторинною біомасою?
27. Як класифікують біомасу відповідно до хімічного складу?
28. Розкрийте зміст поняття «вуглецевонейтральна біомаса».
29. Наведіть та охарактеризуйте основні технологічні процеси переробки біомаси.
30. У чому полягають основні відмінності між біопаливами першого, другого та третього поколінь?
31. Наведіть визначення поняття «біогаз». Який його усереднений хімічний склад? Які ви знаєте види

- сировини, найбільш придатні для виробництва біогазу?
32. Опишіть принцип роботи біогазової установки.
 33. Охарактеризуйте потенціал виробництва біогазу в Україні.

РОЗДІЛ 3

АЛЬТЕРНАТИВНІ МОТОРНІ ПАЛИВА

3.1. Моторні палива з традиційної та нетрадиційної нафтової сировини

Поряд зі зменшенням світових запасів нафти спостерігається тенденція повсюдного підвищення цін на нафту і нафтові палива. Усе це створює передумови до більш широкого використання інших енергетичних ресурсів. У той же час тенденції розвитку світового і вітчизняного автомобільного парку призводять до необхідності збільшення об'ємів виробництва моторних палив.

Безперебійну і мобільну роботу двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) в умовах дефіциту того або іншого виду палива дозволяє забезпечити розроблення і впровадження так званих «багатопаливних» двигунів, що працюють на різних нафтових паливах, а також заміна нафтових палив альтернативними. У наслідок зазначених вище факторів перехід частини вітчизняного автомобільного парку на палива, що одержують з альтернативних сировинних ресурсів, стає неминучим.

Один з радикальних способів зниження споживання рідкого палива полягає в розширенні використання нетрадиційних (альтернативних) енергоносіїв і палив на їх основі, створенні й експлуатації енергосилових установок автотранспорту, призначених для роботи на них, що багато в чому вирішує екологічну проблему транспортної енергетики.

Основною сировиною для виробництва моторних палив і дотепер є нафта. Як видно з даних, наведених у таблиці 3.1, скорочення темпів її світового видобутку (у мільярдах тонн) поки що не варто очікувати.

Таблиця 3.1

Темпи світового видобутку нафти

Роки	До 1900	1901- 1920	1921- 1940	1941- 1960	1961- 1980	1981- 2000	2001- 2020 (прог -ноз)
Видобуток нафти	0,07	0,9	3,7	10,0	36,4	60,8	147,8

За несприятливих прогнозів до 2020 р. добудуть усю розвідану нафту – це 140–150 млрд т (в Україні – 56 млн т).

У багатьох країнах світу сьогодні активізувалися дослідницькі роботи зі створення альтернативних моторних палив, які відповідають вимогам високих експлуатаційних показників та нормативам екології. Передбачені розробка національних концепцій виробництва і використання альтернативних палив та створення перспективних двигунів й енергетичних установок.

Аналіз світових і вітчизняних розробок показав, що альтернативні палива можуть бути підрозділені на комерційні (що застосовуються в даний час і мають подальшу перспективу їхнього використання), перспективні і проблемні. До першої групи відноситься компримований стиснутий природний газ (метан), газ зріджений нафтовий (пропан-бутанова суміш), спирти як добавки до бензинів. До другої групи – зріджений природний газ (метан), водень, спиртові палива, біогаз. До третьої групи – водобензинові емульсії, етери, металосуспензії. Пріоритетність того або іншого ненафтового палива як альтернативного ще довгий час буде залишатися дискусійною. В міру розширення доступності альтернативних палив для споживача, розвитку інфраструктури розподілу палив все більшу актуальність буде здобувати проблема багатопаливності, тобто проблема можливості роботи двигуна на різних видах як традиційних, так і альтернативних палив.

Газоподібне паливо. Сьогодні *вуглеводневі гази* (природний та супутні нафтові гази) – єдиний вид альтернативного палива, для застосування якого у більшості країн світу, і в Україні зокрема, розв'язано основні технічні та екологічні проблеми. Нагальні труднощі, пов'язані з переходом автомобільного транспорту на газоподібне паливо, полягають у створенні відповідної інфраструктури: заводів, сховищ, заправних станцій. Нині світовий автомобільний парк, який працює на газових паливах, становить 3–3,5 млн одиниць. Розвідані світові запаси природного газу налічують майже 140 трлн м³ (в Україні – 1,2). За прогнозами вчених його запасів вистачить приблизно на 40 років. Щоправда, існують величезні запаси (близько 10¹⁶ м³) природного метану у вигляді гідратів CH₄(H₂O)_n (це дно океанів та шари вічної мерзлоти), що на два порядки перевищують ресурси природного газу. Але технології використання метану ще не освоєно. Метан

також накопичується у вугільних пластах; його вміст за обсягом близький до запасів кам'яного вугілля (майже 10^4 млрд. т).

Скраплений природний газ (СПГ) за складом є переважно метаном. Він може слугувати моторним паливом після порівняно нескладної переробки двигуна та власне автомобіля: необхідно встановити балони, розраховані на тиск приблизно 20 МПа, і змінити конструкцію системи подачі палива. Завдяки високому значенню октанового числа (ОЧ) природний газ є чудовим паливом для карбюраторних двигунів. У дизельних двигунах застосування природного газу ускладнене через його порівняно високу температуру самозапалювання і, відповідно, низьке цетанове число. Щоб подолати ці проблеми, використовують, наприклад, двопаливну систему: невелика кількість дизельного палива впорскується у камеру згорання, а вже потім подається скраплений природний газ.

Внаслідок нижчого вмісту вуглецю, ніж у нафтових паливах (75 % – у метані, 80–90 % – у бензинах), під час згорання природного газу утворюється менше CO_2 (порівняно з бензинами – в 1,2 раза). З цієї ж причини, а також завдяки повній відсутності у природному газі ароматичних вуглеводнів у камері згорання відкладається менше нагару. На відміну від рідких палив, досить повне згорання метану відбувається за більшого надлишку повітря, що сприяє зниженню емісії оксидів азоту і продуктів неповного згорання.

Однак є і недоліки, які виявляються під час експлуатації автомобілів на СПГ. Встановлювані на машині масивні газові балони збільшують її вагу і знижують вантажопідйомність. Запас ходу автомобіля з однією заправкою порівняно невеликий, близько 250–300 км. На 7–8 % зростає трудомісткість обслуговування та ремонту машини. Істотною вадою є також зниження до 20 % потужності двигуна, внаслідок чого на 5–6 % зменшується максимальна швидкість, натомість на 24–30 % збільшується тривалість розгону автомобіля.

Стиснений супутній нафтовий газ (НГ) на 90–95 % являє собою суміш пропану та бутану з домішкою важких вуглеводнів. За показниками потужності та екологічними характеристиками двигунів НГ близький до скрапленого природного газу. Із вмонтованих на автомобілі балонів із нафтовим газом (під тиском

майже 1,6 МПа) він через випарний пристрій дозується у камеру згорання двигуна. Основні недоліки цього виду палива такі: процес випарювання погіршує його пускові властивості; для роботи двигуна за низьких температур потрібно вмонтовувати спеціальні підігрівачі або ж запускати і прогрівати двигун з використанням стандартного палива.

Водень може бути альтернативним моторним паливом так само, як і звична бутано-пропанова суміш або ж метан. Водень (чи метан) можна використати не лише у ДВЗ, а й у спеціальних паливних елементах, які безпосередньо виробляють електроенергію. Нині саме паливні елементи фахівці вважають перспективнішими джерелами електроенергії, аніж традиційні акумулятори.

З огляду на відомі недоліки електромобіля (невеликий пробіг, висока вартість зарядки акумуляторів), що працює на електроенергії від акумуляторів, ведуться дослідження зі створення нового типу автомобіля, паливом для якого стане саме водень. У цьому випадку електроенергію можна буде генерувати безпосередньо на борту транспортного засобу окисненням водню киснем повітря (зворотного електролізу води). З екологічного погляду використання водню як палива у ДВЗ має застереження: він спричинює утворення оксидів азоту та озону, які забруднюють навколишнє природне середовище. У разі застосування паливних елементів в автомобільному вихлопі буде лише вода.

Сьогодні вже створено кілька типів автомобілів, що працюють на паливних елементах. Так, фірма «Даймлер-Крайслер» провела успішні шляхові випробовування автомобіля МЕСАК-5, що характеризується такими якостями: тривалість дії ДВЗ з малою витратою палива, низький рівень шуму та безпечна для довкілля емісія. У цій моделі використано паливний елемент, дія якого ґрунтується на реакції окиснення водню на мембранному каталізаторі з утворенням води і генеруванням електричного струму. До анода паливного елемента підводиться водень, а до катода – кисень із повітря. Роль електроліту між ними виконує мембрана, що забезпечує перенесення протонів. Мембрана виготовлена з протонопровідного полімеру, покритого тонким шаром благородного металу. Газу подають під тиском 1,5–2,7 атмосфери.

Фірни «Форд», «Міцубісі» та інші відомі корпорації створили комбіновані моделі (гібридні двигуни), які сполучають традиційний двигун із двигуном, що працює на паливних елементах. Для одержання водню використовується прямогінний бензин. Але, попри всі ці успіхи, є одна серйозна проблема, а саме: весь водень, що нині добувається у світі, не зможе забезпечити потреби у моторному паливі. Крім того, ще не розв'язана проблема зберігання водню. Тому сьогодні увага науковців та інженерів-конструкторів звернена на рідке паливо, з якого можна отримувати водень.

Найкраще годиться для цього той самий метиловий спирт, що безпосередньо на борту автомобіля переводиться у газ (H_2 , CO_2), збагачений воднем.

Метанол із бака подається для змішування з водою, відтак – до випаровувача. Отримана суміш розкладається у перетворювачі на гетерогенному каталізаторі при 250–300°C до H_2 та CO_2 , причому як побічний продукт утворюється і CO . Нейтралізація цього оксиду, який є не тільки токсичною сполукою для людини, а й отрутою для паливного елемента, здійснюється у блоці газового очищення шляхом селективного його окиснення. Оскільки у газовій суміші за високої концентрації водню вміст CO досить незначний (до 0,5 %), то каталізатори, які застосовуються для очищення водню, мають характеризуватися високою активністю та селективністю.

Розробка високоефективних каталізаторів очищення водню від CO є чи не найважливішою проблемою сучасного каталізу у процесі створення паливних елементів для екологічно чистого автомобіля. Нанесені на тверді носії каталізатори – благородні метали (Au , Pt тощо) та їхні сполуки (наприклад, кластери і нанокластери металів Au , Pt) пропонуються нині (зокрема Інститутом біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України) як найперспективніші для реакції селективного окиснення CO .

Отже, розв'язання проблеми одержання чистого водню є важливим кроком до реалізації однієї зі складних технологічних стадій створення автомашини нового покоління. Нині вартість іноземного експериментального легкового автомобіля з паливними елементами становить 100–200 тис. доларів США. Якщо у найближчому майбутньому вдасться наблизити вартість

автомобілів на паливних елементах до бензинових, це стане реальною альтернативою традиційним нафтовим паливам у країнах, котрі імпортують нафту.

Практичний досвід показує, що найбільш перспективним напрямом вирішення проблеми розширення бази енергоресурсів для транспортних засобів є застосування газоподібного палива (природний, стиснутий, зріджений, генераторний, коксовий і сланцевий газ) як джерела енергії або антидетонаційної «легувальної» домішки для ДВЗ та силових установок літаків (табл. 3.2.).

Застосування газового моторного палива (ГМП) почалося ще у 1938 р. Широкий розвиток цей напрям набув на початку 1950-х років. Наступний етап застосування ГМП на транспорті у широких промислових масштабах припадає на 1981 р., коли була прийнята програма розвитку газобалонного автотранспорту через застосування ГМП у всіх видах транспорту – залізничному, повітряному і водному.

Таблиця 3.2

Порівняльна характеристика газового палива та бензину

Характеристика	Метан	Етан	Пропан	Бутан	Бензин
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
Молекулярна формула	CH ₄	C ₂ H ₄	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₈ H ₁₇
Молекулярна маса	16	30	44	58	114,2
Густина рідини за температури кипіння і тиску 100 кПа, кг/м ³	416	546	584	600	735
Теплота згорання масова, МДж/кг	45,5	47,1	45,85	45,43	48,67
Теплота згорання об'ємна, МДж/м ³	33,8	59,94	85,63	111,59	213,18
Теоретично необхідна для згорання кількість повітря, кг/кг	17,24	16,8	15,7	15,48	14,9

Продовження 3.2

1	2	3	4	5	6
Теоретично необхідна для згорання кількість повітря, мЗ/м ³	9,52	16,66	23,91	30,95	58,6
ОЧ за дослідним методом	115	125	110	95	98

Застосовувані на цей час альтернативні палива сильно розрізняються за токсичністю (табл. 3.3., 3.4.). Зріджені (скраплені) нафтові гази (пропан-бутан) значно менш токсичні (ГДК = 1800 мг/м³) у порівнянні з нафтовими бензинами (100 мг/м³) і дизельними паливами (300 мг/м³).

У Національному авіаційному університеті разом з Інститутом газу Національної академії наук України запропоновано новий вид альтернативного палива для ДВЗ – газорідинне паливо. Газорідинне паливо представляє собою молекулярний розчин газу в низькосортному бензині (з низьким ОЧ). Газорідинне паливо утворюється змішуванням газу та бензину під час подачі палива в карбюратор на різних режимах роботи двигуна.

Переваги даного способу живлення автомобіля полягають у наступному: відбувається економія рідкого палива, величина якого в залежності від домінуючих умов експлуатації (шосе, місто), складає 25–40 %; суттєво знижуються викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами двигуна (на холостому ході СО – 0,25–0,3 %, на середніх оборотах (2500–3000 об/хв) – 0,3–0,4%); можливість застосування низькооктанових марок бензину, без погіршення роботи двигуна; можливість використання штатних марок оливи зі збільшенням строку їх заміни на 10–20 %; покращення пускових характеристик двигуна (більш швидкий запуск і прогрівання двигуна в холодну пору року); відбувається збільшення потужності двигуна автомобіля на 15–20 %.

Таблиця 3.3

**Порівняльна характеристика токсичності двигунів
транспортних засобів, що працюють на різних видах палива**

Токсична речовина	K*	Питомі викиди, г/км				
		Найменування палива				
		Бензин	Бензин у суміші з системою зменшення токсичності	Стиснений природний газ	Дизельне паливо	Природний газ у суміші з дизельним паливом
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
Оксид вуглецю	1	2,5-10	1-2,5	0,5-1,5	0,2-1,6	0,2-1
Оксид азоту	41,1	1-1,8	0,25-0,45	0,5-0,9	0,5-1,8	0,5-1,8
Вуглеводні (кріме метану)	1,26	1-2	0,1-0,2	0,1-0,2	0,1-0,2	0,1-0,2
Оксид свинцю	100	0,06-0,12	0,06-0,12	-	-	-
Сажа**	-	-	-	-	4-40	2-15
Бенз-α-пірен та інші поліциклічні ароматичні вуглеводні	-	0,003-0,03	0,0015-0,02	0,0003-0,0009	-	-

* K – коефіцієнт еквівалентності, що дорівнює відношенню токсичності емісії до токсичності оксиду вуглецю і показує, у скільки разів більший об'єм повітря може забруднити до значення

ГДК дана речовина у порівнянні з оксидом вуглецю у такій же кількості.

** Емісія сажі наведена в одиницях димності за Хартріджем.

Таблиця 3.4

Клас небезпеки, ГДК та характеристики пожежонебезпеки різних видів палив

Паливо	Температура, °С		ГДК, мг/м ³	Клас небезпеки
	спалаху	самозаймання		
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Автомобільний бензин	мінус 39	255-300	100	4
Дизельне паливо:				
- літнє	71	310	300	4
- зимове	78	240	300	4
Зріджений газ (пропан-бутан)	430-588	405-466	1800	4
Стиснений природний газ	545-800	-	1800	4

У порівнянні з автомобілями, що обладнані газобалонним устаткуванням для роботи на зрідженому газі, в автомобілях зі змішаною паливною системою значно підвищена пожежобезпечність автомобіля через зниження тиску газового палива, що подається у підкапотний простір, до 0,15–0,04 МПа та зменшення його витрати (до 3 л/год замість 20 л/год).

Переобладнати на газове паливо можна не тільки бензиновий, але і дизельний двигун як вантажної, так і легкової машини. Відзначимо, що на одному газі дизельний двигун працювати не може. Газ не може загорятися від стиску, як дизельне паливо, оскільки температура його самозапалювання набагато вища: близько 700 °С проти 320–380 °С у дизельного палива.

Саме тому існує поняття газодизеля. Газодизель – це двигун внутрішнього згорання, що працює на газі з запаленням газоповітряної суміші в циліндрі запальною дозою рідкого дизельного палива.

Витрата палива складає: по трасі – 75 % газу на 25 % дизельного палива; у міському режимі 60/40.

З очевидних економічних переваг використання систем «газодизель», крім економії на вартості дизельного палива варто виділити: зниження зношування циліндро-поршневої групи; зниження навантаження на кривошипно-шатунний механізм, тому як газ горить плавніше дизельного палива; олива не «змивається» зі стінок циліндрів, згорання відбувається більш рівномірно; олива повільніше втрачає свої властивості, інтервал заміни оливи можна збільшити у 1,5–2 рази; зниження утворення нагару у двигуні; димність вихлопу істотно менше; під час роботи дизельного двигуна на газорідинному паливі не виникає детонації; потужність автомобіля не зменшується; кубічний метр метану рівняється 1л дизельного палива; в один балон уміщається 12 м³ метану; ресурс двигуна при правильному налаштуванні залишиться той же; перемикання з дизельного режиму в газодизельний відбувається натисканням клавіші в салоні автомобіля без зупинки двигуна.

Димність відпрацьованих газів при роботі за дизельним і газодизельним циклом у межах від 0 до 50 % від максимального навантаження майже не відрізняється, а при подальшому зростанні навантаження під час роботи за дизельним циклом значення димності відпрацьованих газів починає стрімко зростати.

Вміст у відпрацьованих газах оксидів азоту, в залежності від режиму двигуна, зменшується в порівнянні з дизельним циклом на 26–49 %. Разом з тим має місце зростання концентрацій вуглеводнів при переході на газодизельний цикл, але вуглеводні, в основному, представляють собою метан.

Синтез-газ. Виробництво синтетичних моторних палив із синтез-газу ґрунтується на каталітичних процесах Фішера-Тропша та Mobil через проміжне отримання метанолу. Вихідну суміш синтез-газу добувають із кам'яного вугілля чи природного газу. За першим методом одержували моторне паливо у Німеччині в роки Другої світової війни та у Південно-Африканській Республіці (ПАР), коли діяло ембарго на імпорт нафти. Процес технологічно

достатньо розроблений, але дорогий. Сьогодні у світі лише два невеликих заводи виробляють рідке паливо за вказаними методами (фірми «Shell» у Малайзії та «Sasol» у ПАР), що мають скоріш демонстраційний характер можливостей сучасної каталітичної хімії. Те саме стосується й одержання бензину з метанолу: невеликий завод фірми «Мобіл ойл» у Новій Зеландії виробляє із застосуванням традиційного кислотного та нового цеолітного каталізатора до 60 тис. т високооктанового бензину на рік.

Виробництво синтетичних моторних палив піролізом вугілля. Аналіз світового досвіду отримання синтетичних рідких і газоподібних палив з вугілля та біомаси показує, що технології розвивалися у наступних напрямках:

- пряме зрідження (гідрогенізація) в органічних розчинниках за тиску 20–40 МПа, температури 400–500 °С, з каталізатором і добавкою водню або його донорів;
- парокиснева газифікація за тиску до 2 МПа та температури 900–1400 °С, з регулюванням співвідношення Н:С витратою пари, з «мокрим» очищенням газу від сірки і подальшим синтезом Фішера-Тропша;
- піроліз за температури 850–1000 °С (режим коксування) з переважним виходом газоподібних продуктів;
- піроліз за температури 550–700 °С (режим напівкоксування) з переважним виходом рідких продуктів.

Перші два напрямки дають високоякісні рідкі палива і відрізняються високим хімічним ККД. Однак вони потребують високоякісної сировини, а з урахуванням витрат палива і енергії на отримання водню і кисню, очищення від сірки, відновлення каталізаторів, неповноти синтезу, їх інтегральний ККД не перевищує 15–20 %. З урахуванням співвідношення цін на нафтопродукти та високоякісне вугілля ці технології до останнього часу, за винятком ситуацій «нафтової блокади», були неконкурентоспроможними з нафтопереробкою.

Принципова відмінність піролізу від гідрогенізації і газифікації полягає у збільшенні співвідношення Н:С не завдяки додаванню водню, а завдяки неповній конверсії вуглецю (решта вуглецю залишається в коксовому залишку). Під час піролізу вугілля і біомаси визначальний вплив на питомий вихід продуктів мають швидкість і кінцева температура нагріву. Відомо, що при

повільному піролізі біомаси в газ переходить до 40 %, в рідину – до 30 % сухої маси палива.

При швидкому напівкоксуванні вихід рідини збільшується до 80 % сухої маси палива, при швидкому коксуванні зростає вихід газу – понад 70 % сухої маси палива. Ті ж закономірності справедливі і для вугілля. Звідси випливає, що для отримання синтетичних моторних палив (рідких або газоподібних) швидкий піроліз є ефективнішим.

Що ж стосується вугілля найбільш зручним способом швидкого піролізу є термоконтактний – за допомогою твердого теплоносія (піску або золи), нагрітого спалюванням коксового залишку в псевдозрідженому шарі. Це дозволяє:

- використовувати дешевий окиснювач – повітря;
- використовувати в якості палива дрібне вугілля, в тому числі високозольне;
- зв'язувати сірку в піролізній установці вапном, розкладеним до CaO в зоні горіння.

Таким чином, знімаються обмеження за якістю палива. При використанні низькосортного вугілля або сланців з ціною за умовним паливом в 2–3 рази нижче, ніж високоякісного вугілля, навіть при ККД 15–20 % процес стає конкурентоспроможним з нафтопереробкою.

Фірма Ensyn (Канада) в 90-ті роки розробила технологію швидкісного піролізу біомаси при температурах до 600–650 °C в комбінації двох реакторів киплячого шару або циркулюючого киплячого шару з піском-теплоносієм. Продуктивність серійних установок за сировиною від 1 до 110 т на добу, сумарна продуктивність в 1999 р. склала до 400 тис. т сировини (сухої деревини) і до 300 тис. т синтетичного рідкого палива.

У СРСР на Естонській ТЕС в 80-ті роки була створена установка УТТ-3000 для піролізу дрібного сланцю продуктивністю 3000 т на добу. Барабанна піролізна установка, що обертається, встановлена в контур циркуляції аерофонтанної топки, що спалює коксовий залишок після піролізу. При температурі піролізу 650–690 °C вихід топкового масла становить 34 %, рідкого газотурбінного палива – 7 % від горючої маси сланцю. Зв'язування сірки здійснюється за рахунок високого вмісту карбонатів у сланцевій золі.

У кінці 80-х років Інститут вугільних енерготехнологій НАН України брав участь у випробуваннях кам'яного вугілля і сланців СРСР та Ізраїлю на дослідній установці УТТ-2-2.76 (Львівська область) продуктивністю за паливом до 1 т/год. Її відмінність від УТТ-3000 – піролізна установка, з нерухомим шаром, що опускається. Ступінь відгону летких фракцій вдалося довести до 85 %. Сірка в піролізній установці зв'язувалася більш ніж на 90 % завдяки додаванню вапна в аерофонтанну топку. Цільовим продуктом піролізу був горючий газ, але при зниженні температури в піролізній установці менше 700 °С в конденсаторі трубопроводу піролізного газу збиралася горюча рідка фракція – до 10 % на горючу масу вугілля, або понад 20 % на горючу масу сланцю.

На початку 2000-х Інститут вугільних енерготехнологій НАН України залучався до випробувань і виконання балансових розрахунків процесу термічної переробки біологічного мулу і торфу на установці РГВ-2000 (Київська область) продуктивністю за паливом до 2 т/год. Принцип роботи установки подібний відомої аллотермічної технології газифікації Welzgas з рециркуляцією газу, що нагрівається і відрізняється організацією процесу в фонтануючому шарі замість нерухомого та нижчого рівня температур (750 °С замість 850–950 °С). Це зумовлює більш високий, ніж при газифікації, внесок процесів піролізу. Встановлено, що в перерахунку на умовне паливо 58 % палива конвертується в газ, 25 % – в рідкі продукти (суміш легких смол, фенолів, пірогенетичної і зовнішньої вологи).

На лабораторних установках Інституту вугільних енерготехнологій НАН України з киплячим шаром з 1992 р. досліджується термоконтактний піроліз вугілля. Встановлено, що при напівкоксуванні неокисненого кам'яного вугілля вихід рідкої фракції становить 5–7 %, і може бути підвищений до 15 % в разі організації рециркуляції через цей шар продуктів піролізу, що містять водень. Ця рідка фракція представляє собою висококалорійну суміш аліфатичних і ароматичних вуглеводнів. Під час напівкоксування лушпиння соняшника і дніпровського бурого вугілля вихід рідкої фракції становив понад 30 % і до 20 % відповідно, але через високу частку кисневмісних сполук вони були низькокалорійними. За температури піролізу бурого

дніпровського вугілля понад 800 °С вихід рідкої фракції помітно знижувався (практично вона представляла собою тільки конденсат зовнішньої і пірогенетичної вологи), але вдалося отримати газ з нижчою теплоотою згорання більше 27 МДж/м³ – суміш СО, водню, метану та вуглеводнів С₂–С₄. Інтегральний (з урахуванням автотермічної організації) хімічний ККД процесу становив понад 50 %. Метан і вуглеводні роблять такий газ непридатним для синтезу Фішера-Тропша. Однак якщо його піддати каталітичній метанізації, то з'являється можливість підвищити його нижчу теплоту згорання до 35 МДж/м³. Цей газ можна використовувати як моторне паливо як в двигунах із запалюванням, так і в дизелях.

Пізніше в Інституті вугільних енерготехнологій НАН України відпрацьовувалася дослідна установка з аерофонтанною топкою і трактом примусової циркуляції коксозольного залишку, в якому встановлена піролізна установка з нерухомим шаром, що опускається. Передбачена можливість рециркуляції газоподібних продуктів через піролізну установку. Метою досліджень на цій установці є відпрацювання режимів термоконтактного напівкоксування (з отриманням рідких продуктів) і коксування (з отриманням висококалорійного газу) низькосортних палив, з допалюванням коксового залишку в аерофонтанній топці і зв'язуванням сірки в піролізній установці циркулюючими продуктами розкладання вапна. Для кожного низькосортного палива (сланців, торфу, бурого вугілля, шламових відходів збагачення кам'яного вугілля) передбачається знайти оптимальний шлях отримання моторного палива (рідкого або газоподібного) та оптимальні режими його отримання.

Спиртові палива. Досить давно відомий спосіб застосування спиртів у ДВЗ. Нині вони використовуються здебільшого як паливо для спортивних автомобілів, оскільки збільшують потужність двигуна при одночасному зниженні температури в камері згорання. Завдяки нижчій температурі відпрацьованих газів, інтенсивному відведенню тепла із циліндрів і повнішому згоранню ефективний ККД двигуна, який працює на спиртах, вищий, аніж при роботі на нафтовому паливі. За умови використання спиртів також знижується емісія продуктів неповного згорання палив, зменшується утворення сажі, отже, чистішими є деталі двигуна та паливна апаратура. Однак водночас зростають викиди у довкілля

альдегідів (як продуктів неповного окиснення спиртів), можливе також збільшення емісії оксидів азоту. Крім того, спирти гігроскопічні, мають низькі мастильні властивості, корозійно агресивні (за рахунок їх окиснення до відповідних карбонових кислот), негативно впливають на конструкційні матеріали. Безпосереднє їхнє використання потребує деяких змін у конструкції двигуна. Нижчі спирти (метанол, етанол) практикують як добавки до базового бензину з метою часткової його заміни, однак їх початкові концентрації невеликі. Так, Всесвітня паливна хартія вводить такі кількісні обмеження стосовно додавання спиртів до автобензинів: метанолу – 3 %, етанолу – 5 % (до 6 % – в Україні), інших спиртів – до 7–10 %. Введення спиртів до бензинів дає змогу підвищити їх ОЧ. Цетанові показники спиртів, навпаки, дуже низькі, і з цим пов'язані серйозні труднощі застосування спиртів у дизельних двигунах.

Метанол завдяки його високому ОЧ – досить ефективно паливо для карбюраторних двигунів. Цей спирт можна використовувати і як самостійне паливо, і як добавку до бензину. В усіх випадках він дає змогу знизити токсичність вихлопних газів двигуна. Застосування стовідсоткового метанолу обмежується через його високу токсичність й агресивність щодо конструкційних матеріалів. Як показали дослідження сумішей метанолу та вуглеводневих палив, до бензинів можна додавати до 5 % зневодненого метанолу, причому бензино-метанольна суміш залишається гомогенною, якщо до неї не потрапляє волога. За наявності води (більш як 0,1 % мас) ця суміш розшаровується. Для запобігання розшаровуванню до бензино-метанольної суміші вводять як стабілізатори вищі спирти, наприклад, *трет*-бутиловий, ізо-бутиловий або циклогексильовий.

Метанол, який міститься у бензино-метанольній суміші, окиснюється до мурашиної кислоти, що разом із бензином може потрапляти до оливи та руйнувати лужні мийно-диспергуючі присадки. Випробовування, здійснені в ІБОНХ НАН України (1999 р.), показали, що у разі використання 5 % метанолу у складі товарного бензину AI-95 за весь термін служби моторної оливи марки М63/12Г₄ помітного зниження її роботоздатності не спостерігалось.

Етанол як добавка до палив більш ефективний, аніж метанол, оскільки краще розчиняється у вуглеводневих паливах і менш гігроскопічний. Широко відоме застосування газохолу (суміш бензину з 10–20 % етанолу) у США, а також у Бразилії, яка має значні ресурси спирту, вироблюваного з цукрової тростини. Підкреслимо, що етанол становить особливий інтерес як добавка до палива у країнах, багатих на відновлювані рослинні ресурси, зокрема в Україні. Дослідниками України доведено, що використання 3–5 % зневодненого етанолу у складі бензину не погіршує експлуатаційних характеристик двигуна і не потребує попереднього регулювання карбюратора. Стосовно екологічних показників цього сумішевого палива, то відзначено істотне зниження викидів СО і невелике – вуглеводнів, натомість емісія токсичних альдегідів та оксидів азоту дещо зростає. Збільшення концентрації етанолу у бензині до 10 %, що спричинює збіднення бензино-повітряної суміші, погіршує експлуатаційні властивості автомобіля практично за всіх режимів його роботи. Фазова стабільність етаноло-паливних сумішей у присутності води вища, ніж метаноло-паливних, але конче потрібна стабілізація їхнього фазового складу. Найефективнішими стабілізаторами є аліфатичні спирти С₄–С₆, сивушні олії (відходи виробництв спиртових заводів) та інші кисневмісні поверхнево-активні речовини. З 2000 р. моторні бензини сумішеві (до 6 % зневодненого етилового спирту – відома добавка ВКД) використовуються в Україні (вперше серед країн СНД). Низка розроблених в Україні поверхнево-активних речовин-стабілізаторів також допущена до застосування у складі таких сумішевих бензинів (підкреслимо, що їхні ресурси у нас обмежені).

Палива на основі етерів. Прості етери (ефіри) мають низку переваг перед спиртами, зокрема те, що вони краще розчиняються у нафтових паливах, менш гігроскопічні та менш корозійно агресивні. Як добавка до палив у всіх країнах, зокрема в Україні, широко використовується метил-*трет*-бутиловий етер. Досліджено можливість застосування метил-*т р е т*-амілового, етил-*трет*-бутилового, ди-*ізо*-пропилового та інших етерів, а також продуктів метилювання олефіновмісних газів нафтопереробки.

Останнім часом спостерігається прикладний інтерес до диметилового та диетилового етерів як компонентів дизельного палива (наприклад, у Росії, США, Україні). Значною мірою це зумовлено їх достатньою займистістю у дизельному двигуні й, отже, високими цетановими числами.

Диметиловий етер (за нормальних умов – газ) може безпосередньо впорскуватися до камери згорання двигуна або використовуватися як добавка до скрапленого газу, метанолу чи до стандартного дизельного палива. Диетиловий етер зручніший у застосуванні та ефективніший, оскільки він являє собою рідину (хоча й низькокиплячу), і його цетанове число перевищує 125 од. Добавка 10 % диетилового етеру до товарного дизельного палива збільшує цей показник у середньому на 4 од., що уможливило відмову від токсичних і вибухонебезпечних алкїлїтратів та пероксидів.

Біодизельне паливо. Протягом останніх років у США, Канаді та країнах Євросоюзу істотно зріс комерційний інтерес до біодизельного палива – моноалкїльних естерів жирних кислот, одержаних із рослинних олій чи тваринних жирів. Цей вид палива можна використати у двигунах на морських судах, міських автобусах і вантажівках. Сьогодні у Франції та Італії вже існують потужності з виробництва біодизельного палива, а в Австрії на його частку припадає близько 5 % від загального ринку дизельного палива. Навіть у США розгортаються програми щодо використання рослинних олій як моторних палив.

Швидке зміцнення позицій біопалива зумовлене прагненням підтримати сільськогосподарського виробника, оскільки сировиною для біодизельного палива є ріпакова, соєва, ріжїєва, соняшникова, пальмова та інші рослинні олії. Окрім того, отримані естери відповідних кислот мають поліпшені низькотемпературні властивості, нижчу в'язкість порівняно з вихідними рослинними оліями, а цетанове число при цьому підвищується з 30–40 до 50–80 одиниць. Введення у паливо неперероблених олій небажане, оскільки вони характеризуються більшою в'язкістю, нижчою теплоотою згорання, що зменшує потужність двигуна у середньому на 15 %, меншими пусковими можливостями при зниженій температурі. До того ж, неперероблені олії через наявність вільних кислот негативно

впливають на конструкційні матеріали і мають схильність до окиснення при їх зберіганні.

Найпоширенішим паливом цього типу є так званий ріпако-метиловий естер (метиловий естер кислот ріпакової олії), який у помітній кількості використовується у Бельгії, Італії, Китаї, Німеччині, Швеції, Франції та в інших країнах. Його можна додавати до дизельного палива у концентраціях до 30 % без модифікації двигуна. В ІБОНХ НАН України ведуться дослідження щодо обов'язкової добавки 5 % ріпако-метилового естеру до товарних марок вітчизняного дизельного палива. Випробовування показали, що у разі використання цього палива знижується емісія вуглеводнів і СО, а інтенсивність утворення оксидів азоту залишається незмінною. Однак відзначено деяке збільшення викидів так званих озонруйнуючих компонентів: ароматичних вуглеводнів, олефінів та альдегідів. Спостерігається також збільшення утворення твердих часток. Характерно, що за наявності ріпако-метилового естеру поліпшуються мастильні властивості низьокірковмісних (екологічно чистих) дизельних палив. Це унікальна обставина, оскільки зниження кірковмісних сполук у паливі призводить до значної втрати його мастильних властивостей.

Вихідною сировиною для ріпако-метилового естеру є поширений у промисловому виробництві багатьох країн світу (і в Україні також) метиловий спирт, ріпакова олія та каталізатор лужного характеру. Ріпакову олію одержують із насіння ріпаку. Відзначимо, що за обсягами виробництва вона посідає третє місце у світі (9,8 %) після соєвої (25,8 %) та пальмової (21,2 %). Ріпакове насіння містить 45–50 % олії – не менше, ніж насіння соняшнику. У деяких європейських країнах (Австрія, Німеччина, Франція) урожайність ріпаку сягає 40 ц/га, що дає змогу одержувати до двох тонн олії з гектара.

Сьогодні використання альтернативних палив розглядається як спосіб розширення бази енергоресурсів, а також як один із способів зменшення техногенного впливу на навколишнє середовище (табл. 3.5). За Концепцією енергетичної політики України на період до 2020 р. пріоритетними напрямками вирішення проблеми енергозбереження є пошук і використання заміників викопної сировини альтернативними джерелами.

Таблиця 3.5

Емісія шкідливих речовин під час згорання різних палив

Найменування палива	Викиди шкідливих речовин, г/км		
	CO	CH	NO _x
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Бензин	42	8,5	9,1
Зріджений нафтовий газ	19	4,8	8,7
Стиснений природний газ	8,5	4,5	8,5
Бензин у суміші з воднем	3	2,8	4,55
Метанол	28	4,6	4,4
Метанол у суміші з бензином	32	5,4	7,6
Метанол у суміші з синтез-газом (H ₂ + CO)	5	2,5	3,5
Синтез-газ (H ₂ + CO)	0	0,4	2,3
Водень	0	0	2,5

У Національному авіаційному університеті разом з Інститутом газу Національної академії наук України запропоновано новий вид альтернативного палива для ДВЗ – газорідинне паливо. Газорідинне паливо представляє собою молекулярний розчин газу в низькосортному бензині (з низьким ОЧ).

Газорідинне паливо утворюється при змішуванні газу та бензину під час подачі палива в карбюратор на різних режимах роботи двигуна.

Переваги даного способу живлення автомобіля полягають у наступному:

– відбувається економія рідкого палива, величина якого в залежності від домінуючих умов експлуатації (шосе, місто), склала 25–40 %;

– суттєво знижуються викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами двигуна (на холостому ході CO – 0,25–0,3 %, на середніх оборотах (2500–3000 об/хв) – 0,3–0,4 %);

- можливість застосування низькооктанових марок бензину, без погіршення роботи двигуна;
- можливість використання штатних марок олив зі збільшенням строку їх заміни на 10–20 %;
- покращені пускові характеристики двигуна (більш швидкий запуск і прогрівання двигуна в холодну пору року);
- відбулося збільшення потужності двигуна автомобіля на 15–20 %.

У порівнянні з автомобілями, що обладнані газобалонним устаткуванням для роботи на зрідженому газі, в автомобілях зі змішаною паливною системою значно підвищена пожежобезпечність автомобіля через зниження тиску газового палива, що подається у підкапотний простір, до 0,15–0,04 МПа та зменшення його витрати (до 3 л/год замість 20 л/год).

Переобладнати на газове паливо можна не тільки бензиновий, але і дизельний двигун як вантажної, так і легкової машини. Відзначимо, що на одному газі дизельний двигун працювати не може. Газ не може загорятися від стиску, як дизельне паливо, оскільки температура його самозапалювання набагато вища: близько 700 °С проти 320–380 °С у дизельного палива.

Саме тому існує поняття газодизеля. Газодизель – це двигун внутрішнього згорання, що працює на газі з запаленням газоповітряної суміші в циліндрі запальною дозою рідкого дизельного палива.

Витрата палива складає: по трасі – 75 % газу на 25 % дизельного палива; у міському режимі 60/40.

З очевидних економічних переваг використання систем «газодизель», крім економії на вартості дизельного палива варто виділити:

- зниження зношування циліндро-поршневої групи;
- зниження навантаження на кривошипно-шатунний механізм, тому як газ горить плавніше дизельного палива;
- олива не «змивається» зі стінок циліндрів, згорання відбувається більш рівномірно;
- олива повільніше втрачає свої властивості, інтервал заміни оливи можна збільшити у 1,5–2 рази;
- зниження утворення нагару у двигуні;
- димність вихлопу істотно менше;

- під час роботи дизельного двигуна на газорідинному паливі не виникає детонації;
- потужність автомобіля не зменшується;
- кубічний метр метану рівняється 1л дизельного палива;
- в один балон уміщається 12 м³ метану;
- ресурс двигуна при правильному настроюванні залишиться той же;
- перемикання з дизельного режиму в газодизельний відбувається натисканням клавіші в салоні автомобіля без зупинки двигуна.

Димність відпрацьованих газів при роботі за дизельним і газодизельним циклом у межах 0–50 % від максимального завантаження майже не відрізняється, а при подальшому зростанні навантаження під час роботи за дизельним циклом значення димності відпрацьованих газів починає стрімко зростати.

Вміст у відпрацьованих газах оксидів азоту, в залежності від режиму двигуна, зменшується в порівнянні з дизельним циклом на 26–49 %. Разом з тим має місце зростання концентрацій вуглеводнів при переході на газодизельний цикл, але вуглеводні, в основному, представляють собою метан.

3.2. Біодизель. Технології виробництва та сировина.

Біодизель – це паливо, що отримують з жирів рослинного або тваринного походження, в результаті естерифікації олії або жиру простим спиртом у присутності каталізатора. Таке альтернативне біопаливо призначено для використання у дизельних двигунах. Крім того, можливим є також використання рослинних олій із різноманітної сировини (ріпак, соняшник, ятрофа, та ін.) у чистому вигляді, однак властивості такого палива значно поступаються дизелю та біодизелю за своїми характеристиками.

За хімічним складом біодизель являє собою суміш метилових або етилових естерів насичених та ненасичених жирних кислот, тому він також відомий як метиловий (етиловий) естер жирних кислот – FAME та FAE (від англ. fatty acids methyl (ethyl) ether).

3.2.1. Сировина для виробництва біодизелю

Для отримання біодизельного палива можуть використовуватись як рослинні олії, так і тваринні жири, рідше – ефірні олії різних рослин чи водоростей. В країнах Євросоюзу для виробництва біопалива в основному використовується ріпакова олія. Тому в останнє десятиліття попит і ціна на насіння ріпаку не спадає, хоча його виробництво зростає і в 2005 р. світовий збір насіння ріпаку становив 46,5 млн т (для порівняння у 1985 році – 19 млн т). За питомою вагою у загальносвітовому виробництві олійних, ця культура вийшла на третє місце – після сої і бавовни, випередивши соняшник. Окрім ріпаку для виробництва біопалива застосовуються й інші олійні рослини. Головним чинником у виборі сировини є географічні та кліматичні умови, що притаманні території країни-виробника та є оптимальними для вирощування певної культури олійних рослин. Так, в США найбільш поширеною сировиною є соя, в Канаді – канола (різновид ріпаку). В останні роки в США та Канаді активно досліджується та успішно використовується олія ріжю. У Мексиці для виробництва біопалива використовують пальмову олію та олію ятрофи, що вважається бур'яном та росте на найбідніших ґрунтах. В країнах азійського регіону, таких як Індонезія, Філіппіни, Малайзія основною сировиною є пальмова олія, у Філіппінах – кокосова олія, в Індії – ятрофа; в країнах Африки – соя, ятрофа; в Бразилії – касторова олія. Потенційні можливості використання насіння інших олійних культур як сировини для отримання біопалива ще недостатньо досліджені. Застосування горіхових олій розпочато в Нікарагуа, досвід із застосування бавовняної олії успішно реалізований у Греції. В умовах України основною сировиною для виробництва біодизелю прийнято вважати наступні культури: ріпак, соняшник, сою, а також ріжій. Тваринні та харчові жири як сировина для отримання баодизелю знайшли розповсюдження у тих країнах, де вони досить дешеві та забезпечують достатню прибутковість. У табл. 3.6 представлена кількісна характеристика потенційного виробництва олій.

Розглянемо коротко характеристики основних видів олій, що використовуються на сьогодні для виробництва альтернативних палив.

Ріпакова олія. Має відносно високу стійкість до окиснення. Йодне число в ній нижче ніж 120 од., таким чином, вона є придатною для використання в зимових умовах. Ріпак має більшу врожайність, тому значні площі, що призначені для вирощування сировини для виробництва альтернативних палив, належать саме ріпаку.

Соняшникова олія. Насьогодні врожаї соняшника нижчі, ніж врожаї ріпаку, однак він досить добре росте в країнах з теплим та сухим кліматом. Йодне число у соняшниковій олії вище ніж 120 од. (відповідно до європейського стандарту EN 14214 вміст повинен становити менше 120 од.), тому її необхідно змішувати з іншими оліями, що мають менший вміст йоду.

Таблиця 3.6

Виробництво олії з різної сировини з одного гектару землі

Сировина	Кілограм олії на гектар	Літрів олії на гектар
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Кукурудза	145	172
Горіхи кеш'ю	148	176
Овес	183	217
Люпин	195	232
Кенаф	230	273
Календула	256	305
Бавовна	273	325
Конопля	305	363
Соя	375	446
Кава	386	459
Насіння льону	402	478
Фундук	405	482
Молочай	440	524
Насіння тикви	449	534
Коріандр	450	536
Насіння гірчиці	481	572
Рижій	490	583
Кунжут	585	696

Продовження таблиці 3.6

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Сафлор красильний	655	779
Рис	696	828
Тунгове дерево	790	940
Соняшник	800	952
Какао	863	1026
Арахіс	890	1059
Макопийний	978	1163
Ріпак	1000	1190
Олива	1019	1212
Клещевина	1188	1413
Пекан	1505	1791
Жожоба	1528	1818
Ятрофа	1590	1892
Макаданія	1887	2246
Бразильський горіх	2010	2392
Авокадо	2217	2638
Кокос	2260	2689
Пальмова олія	5000	5950
Китайське сальне дерево	5500	6545
Водорості (актуальний результат)	6894	7660
Водорості (теоретичний результат)	39916	47500

Соєва олія. Вона отримала широкого розповсюдження в США та Аргентині. Олія сої має підвищений вміст йоду (більше 120 од.), однак на нього не розповсюджується дія європейського стандарту EN 14214, а американський стандарт ASTM D6751 не передбачає подібних обмежень.

Рижієва олія. Однією з переваг рижію над іншими видами олійних культур є його стійкість до несприятливих ґрунтових і кліматичних умов, завдяки чому є можливість вирощувати його на низькородючих ґрунтах, не придатних для культивування інших сільськогосподарських культур. В олії рижію переважають ненасичені жирні кислоти з кількома подвійними зв'язками. Завдяки цьому олія відрізняється достатньо низькою температурою застигання – близька $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, що забезпечуватиме у подальшому задовільні низькотемпературні властивості біопалива.

Пальмова олія. З 1987 р. широко використовується у Малайзії для виробництва біодизельного палива. Через характерну для пальмової олії температуру зниження текучості за температури $+11\text{ }^{\circ}\text{C}$ її застосування обмежене країнами з теплим кліматом (або ж може бути використана у них лише як компонент сумішевих паливах).

Інша сировина. Потенційні можливості використання іншого насіння олійних культур як сировини для отримання біопалива ще недостатньо досліджені. Застосування горіхових олій розпочато в Нікарагуа, досвід із застосування бавовняної олії успішно реалізований у країнах Середнього Сходу.

Загалом для отримання біодизельного палива з оптимізованими властивостями можуть розглядатися культури:

- з мінімальним вмістом поліненасичених жирних кислот типу ліноленової кислоти (18:3);
- з максимальним вмістом мононенасичених жирних кислот, типу олеїнової кислоти (18:1), з метою забезпечення високої стабільності у поєднанні з високими низькотемпературними властивостями;
- з мінімальним вмістом насичених жирних кислот (16:0) та стеаринової кислоти (18:0) для зручності зимового використання.

Тваринні жири та відходи харчових жирів. Застосування цього виду сировини у Європі визначається стандартом EN 14241. Тваринні та харчові жири містять підвищену кількість полімерів, але вони отримали розповсюдження у тих країнах, де вони досить дешеві та забезпечують достатню прибутковість.

Водоростева олія. Слід також сказати про такий вид сировини для виробництва біокеросину як водоростева олія. Ця технологія є досить новою, але набуває все більшої популярності у світі. Така популярність мікроводоростей, перш за усе, пов'язана з їх продуктивністю. Крім того для вирощування мікроводоростей немає необхідності відчужувати значні земельні площі з сільського господарства (що має місце при вирощуванні олійних культур для потреб промисловості). Однак при виборі мікроводоростей для виробництва олії, слід приймати до уваги, що різні види значно відрізняються за компонентним складом жирних кислот, а отже фізико-хімічні показники готового продукту на виході будуть варіюватися.

У таблиці 3.7 подано основні фізико-хімічні властивості ріпакової, соняшnikової та соєвої олій.

Загалом рослинні олії мають фізико-хімічні властивості, що істотно відрізняються від мінерального дизельного палива. Тому, для дизельних двигунів доцільно використовувати продукти переробки рослинних олій – рафінади, етилові та метилові естери цих олій (біодизель). У процесі переробки олій їх властивості поліпшуються і стають більш подібними до характеристик мінерального дизельного палива.

Таблиця 3.7

**Порівняльна характеристика фізико-хімічних характеристик
різних олійних культур**

Фізико-хімічні властивості	Ріпакова олія	Соняшникова олія	Сосва олія
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Густина за температури 20°C, кг/м ³	916	923	924
Кінематична в'язкість за температури: 20°C 40°C 100°C	75,0 36,0 8,1	65,2 30,7 7,4	- 32,0 7,7
Цетанове число	36	33	50
Нижча теплота згорання, МДж/кг	37,3	37	36–39
Температура самозаймання, °C	318	320	318
Температура застигання, °C	мінус 20	мінус 16	мінус 20
Вміст сірки, %	0,002	–	–
Кислотність, мг КОН/100 мл палива	4,66	2,14	0,03
Коксівність 10%-го залишку, не більше	0,4	0,51	0,44
Йодне число	95–106	119–136	120–141

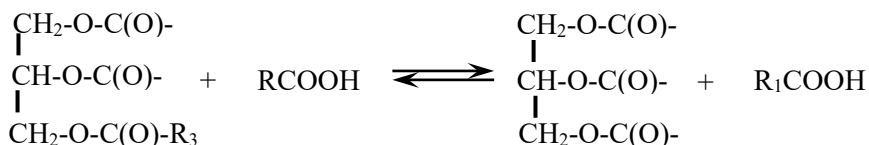
3.2.2. Технології виробництва біодизелю

В основі технології виробництва біодизелю полягає хімічна реакція переестерифікації. Основним компонентом олій або тваринних жирів є повні складні естери гліцерину та вищих аліфатичних (жирних) кислот – три(ацил)гліцериди. Властивістю тригліцеридів є їх здатність вступати у реакції обміну кислотними або спиртовими групами – реакції переестерифікації.

Реакції переестерифікації поділяють на три типи: ацидоліз, алкоголіз та власне переестерифікація. Зазначені реакції протікають лише у присутності каталізаторів – сильних мінеральних кислот (H_2SO_4 , HCl) та кислот Льюїса (BF_3 , AlCl_3 , CaCl_2 , ZnO , PbO). Реакції алкоголізу та переестерифікації ще більш ефективно прискорюються сильними основами, такими як CH_3COONa , KOH .

Реакції ацидолізу

Якщо у реакцію вступає складний естер та кислота, то у результаті утворюється новий естер, що містить залишки прореагуваної кислоти та спирт вихідного естеру: тобто проходить обмін ацильними радикалами між тригліцеридами та кислотою – реакція ацидолізу.



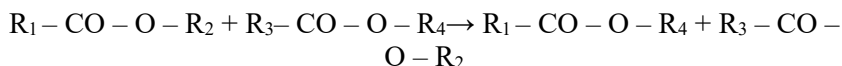
Швидкість ацидолізу та стан рівноваги цієї реакції залежить від співвідношення активностей кислот, що знаходяться у тригліцеридах та діють на них. Нагріваючи тригліцериди високомолекулярних жирних кислот з оцтовою або масляною кислотами, можна частину високомолекулярних кислот у них замінити вищезазначеними низькомолекулярними кислотами. Кількість введених низькомолекулярних кислот залежить від їх активності і відносної кількості.

Якщо взяти для проведення реакції ацидолізу вищі аліфатичні кислоти (більшої молекулярної маси), то у цьому випадку отримується продукт, що є аналогом рослинної олії. Якщо для реакції використовувати кислоти невеликої молекулярної маси, наприклад оцтову кислоту, то отриманий триацетат гліцерину буде мати достатньо високу температуру кипіння ($258\text{--}260\text{ }^\circ\text{C}$), що відповідає температурі кипіння мінеральних дизельних палив. Проте, через високу частку кисню у цій сполуці, її теплота згорання буде невисокою. Так, нижча теплота згорання тригліцериду становить $\sim 18,72$ МДж/кг. Для порівняння, цей

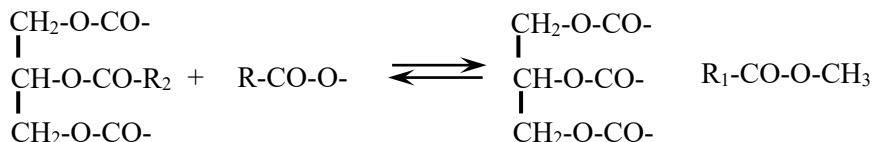
показник для дизельного палива нафтового походження становить 42,7 МДж/кг. Отже, використання продуктів ацидолізу як альтернативи дизельного палива не є доцільним.

Реакції переестерифікації

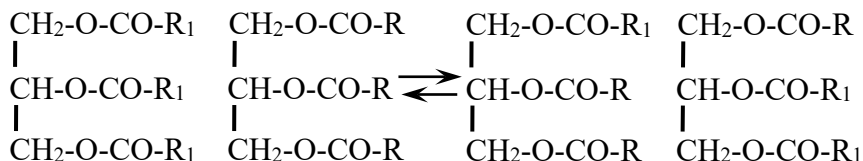
Переестерифікацією називається реакція обміну ацильними групами при взаємодії двох різних естерів. Розрізняють два види переестерифікації – між- та внутрішньо молекулярну. Загальна схема процесу переестерифікації естерів, що відрізняються складом своїх жирних кислот виражено формулою:



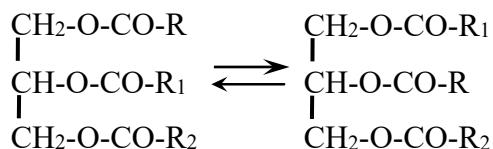
Переестерифікація такого типу можлива між молекулами складних естерів багатоатомного спирту (гліцерину) та молекулами одноатомного спирту (напр. метанолу) за схемою:



Між молекулами тригліцеридів різного складу вона протікає наступним чином:



Внутрішньомолекулярна переестерифікація полягає у переміщенні ацильних груп у молекулі складного естеру багатоатомного спирту.



Без каталізатора переестерифікація протікає з достатньою швидкістю лише за температури 250 °С та вище. Зазвичай вона супроводжується більшим чи меншим термічним розкладом естерів. Каталізатори ж прискорюють переестерифікацію та дозволяють провести її за нижчої температури, знижуючи чи навіть запобігаючи розпаду. Як каталізатори використовують сірчану кислоту, сульфокислоти, луги, алкоголяти, деякі метали, такі як цинк, олово, їх мила. Найбільш сильну дію мають алкоголяти лужних металів, що застосовуються у кількості 0,1–0,25 % від маси попередньо висушених естерів. У присутності алкоголятів лужних металів, особливо при проведенні переестерифікації у розчинниках, у низці випадків вона може протікати з великою швидкістю та за температури близько 0°С.

Як відомо з досвіду, у багатьох жирах рослинного походження не спостерігається 100 %-й розподіл жирних кислот у тригліцеридах. Тому, при сильному нагріванні таких жирів, особливо у присутності каталізаторів, має проходити переестерифікація їх тригліцеридів, завдяки якій розподіл жирних кислот у тригліцеридах має відповідати статистичному. Зазвичай, у результаті цього різко змінюється вміст тринасичених гліцеридів у жирах.

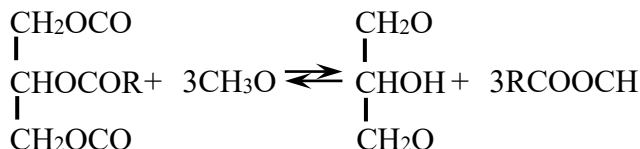
Таким чином, обмін кислотними залишками між молекулами триацилгліцеринів призводить до утворення молекул, будова яких є аналогічною будові триацилгліцеринів рослинних олій. У результаті це, очевидно, не призводить до суттєвої зміни (поліпшення) властивостей нових продуктів. Отже використання даної реакції для отримання біодизельного палива не є ефективним та доцільним.

Реакції алкоголізу.

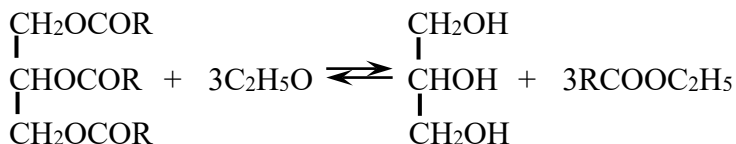
До реакцій алкоголізу відносять реакції між складним естером та спиртом, у результаті якої утворюються нові складні

естери, до складу яких входять спирт та залишок кислоти вихідного естеру. Тобто, відбувається перехід ацильних радикалів естеру до молекули спирту. Ця реакція називається алкоголізмом. У залежності від спирту, що використовується, вирізняють реакції метанолізу, етанолізу, гліцеролізу та інші.

Для триагліцеридів сумарне рівняння реакції, наприклад, з метанолом виглядатиме таким чином:



За аналогічною схемою будуть відбуватися реакції етанолізу:



Оскільки реакція рівносильна, то вона відбувається при великому надлишку спирту. Без каталізатора реакція протікає вкрай повільно, навіть при 250 °С. Каталізаторами реакції є луги або кислоти. Більш активні каталізатори – луги. Так, метаноліз у присутності КОН (0,9 н. розчин у метанолі) протікає майже повністю протягом декількох хвилин за температури 80 °С. Ця реакція застосовується для отримання метилових естерів жирних кислот безпосередньо з жирів, минаючи стадію виділення з них жирних кислот.

Глибина алкоголізу тригліцеридів залежить від цілої низки факторів, а саме: молекулярної маси спирту і ацилгліцерину, температури, співвідношення реагентів, природи каталізатора.

Найбільша глибина процесу (98 % мас.) досягається під час застосування метанолу. Зі збільшенням молекулярної маси реагуючого спирту глибина алкоголізу зменшується, визначаючись положенням рівноваги, що встановлюється. Глибина алкоголізу

тригліцеридів соняшникової олії, наприклад, при застосуванні етилового спирту складає 35,3 %, а при використанні алілового спирту складає всього 11,5 % (мас.). Зі збільшенням молекулярної маси тригліцеридів глибина алкоголізу збільшується.

Процес алкоголізу при застосуванні легкокиплячих алканолів можна прискорити підвищенням температури нагріву, проводячи його під тиском. Алкоголіз можна прискорити і при введенні його в більш висококиплячому розчиннику.

Рівновага алкоголізу може бути зміщена зміною співвідношення між кількостями тригліцеридів та спирту, або виведенням із зони реакції одного з продуктів, що утворюються, наприклад гліцерину. Для прискорення алкоголізу замість гідроксиду калію можна користуватися гідроксидом натрію, але він з низки причин менш зручний. Такою ж дією характеризуються гідроксиди лужноземельних металів, хоча деякі з них застосовуються обмежено через розчинність в алканолах.

Під час застосування сірчаної кислоти як джерела протонів можуть утворюватися продукти її взаємодії з ацилами ненасичених жирних кислот. Тому доцільно користуватися бензол- або метилбензолсульфокислотами, що не реагують з ненасиченими жирними кислотами, а також нерозчинними в жирах і в органічних розчинниках високополімерними аніонітами, що містять групи SO_3H .

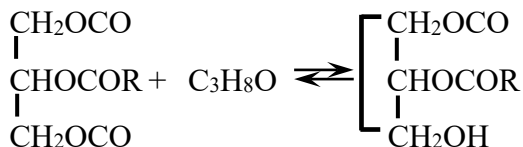
Як прискорювач алкоголізу користуються і хлороводнем, насичуючи останнім спирт. Однак у цьому разі потрібно мати на увазі можливість утворення хлорованих сполук у результаті приєднання хлороводню по подвійним зв'язкам вуглеводневого ланцюга ацилів кислот.

Швидкість процесу алкоголізу у присутності лужних каталізаторів залежить від багатьох факторів. Вона зростає з підвищенням температури. Для встановлення рівноваги при метанолізі необхідно кілька хвилин. Швидкість процесу алкоголізу зростає зі зростанням концентрації алкоголяту. Під час застосування лугів це еквівалентно збільшенню концентрації їх розчину. Під час застосування висококонцентрованих спиртових розчинів лугів одночасно може проходити омилення жирів. Якщо ж для прискорення метанолізу застосовувати розчин їдкого калію, то його оптимальною концентрацією є приблизно 0,9 н. розчин, а

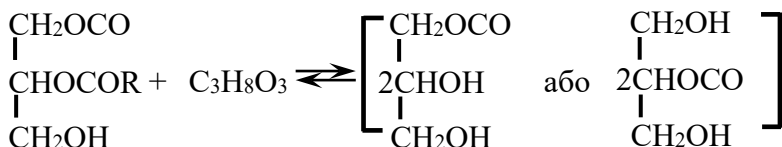
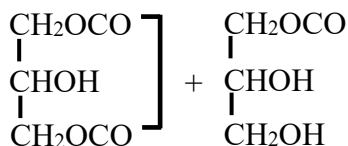
оптимальне співвідношення кількостей жиру та метилового спирту варіюється від 1:4 до 1:5. На швидкість та глибину алкоголізу впливає також склад жирних кислот тригліцеридів. За наявності у тригліцеридах більш сильних кислот алкоголіз уповільнюється, а положення рівноваги зміщується у сторону тригліцеридів.

Технічно цікавим видом алкоголізу є реакція, що протікає за нагрівання тригліцеридів з гліцерином. Цей процес називається гліцеролізом, він здійснюється в інтервалі температур 170–250°C, за нормального атмосферного тиску або за зниженого у присутності каталізаторів-алкоголятів, оксидів свинцю, цинку, магнію, марганцю, а іноді і деяких інших речовин.

При достатньо високій температурі швидкість гліцеролізу настільки значна, що його використовують у промисловості. Гліцероліз – складний процес, що протікає у вигляді двох послідовних оборотних реакцій. При цьому для кожної з них є свій температурний оптимум, вище якого відбувається диспропорціонування утворившихся неповних гліцеридів:



або



Кінцевий продукт гліцеролізу тригліцериду являє собою суміш три-, ди- та моногліцеридів і гліцерину. Кількісні

співвідношення між цими компонентами залежать від кількості гліцерину, введеного в реакцію.

Існуючі методи отримання естерів рослинних олій зводяться до використання трьох основних способів, що розрізняються природою каталізаторів (оскільки каталітичні реакції більш ефективні, ніж некаталітичні):

- алкоголіз тригліцеридів рослинних олій у присутності гомогенного каталізатора лужного типу;
- алкоголіз тригліцеридів рослинних олій у присутності гомогенного каталізатора кислотного типу;
- алкоголіз тригліцеридів рослинних олій у присутності гетерогенного каталізатора.

У випадках каталізу лугом, реакція алкоголізу протікає значно швидше, ніж під час каталізу кислотою. Однак, якщо вихідна рослинна олія містить значну кількість вільних жирних кислот і воду, то кислотний каталіз реакції алкоголізу є більш дієвим. Алкоголяти натрію і калію є більш ефективними у порівнянні з гідроксидами. Концентрації луку в каталізаторі досягають 2,0 % (мас.), що дозволяє досягати величини конверсії рослинних олій в естери на рівні 94–98 %. Подальше збільшення концентрації каталізатора не призводить до збільшення виходу цільових продуктів, але веде до додаткових витрат на видалення каталізатора з продуктів реакції по завершенні процесу.

Отже, проаналізувавши існуючі способи переробки рослинних олій (ацидоліз, алкоголіз, переестерифікація) сьогодні визначено, що найбільш ефективним та поширеним є алкоголіз. У результаті алкоголізу утворюються гліцерин та естери жирних кислот олій, що є цільовим продуктом. Двома іншими способами не можливо отримати зазначених речовин. Реакція алкоголізу рослинних олій, а саме ріпакової та соняшникової проводиться із використанням метанолу та етанолу. Новоутворені метилові/етилові естери жирних кислот мають меншу молекулярну масу ніж тригліцериди, що позитивно позначається на їх характеристиках, з огляду на їх використання як замітника традиційному дизельному паливу.

В загальному вигляді технологія виробництва біодизелю виглядає наступним чином:

До олії додають спирт (метанол, або етанол) у присутності каталізатора (KOH або NaOH) та нагрівають при змішуванні до температури 70–90 °С протягом 1–2 годин. На виході отримують гліцерин та біодизель, які відстоюють та розділяють. Далі біодизель підлягає очищенню. Схематично процес виробництва біодизелю подано на рис. 3.1.

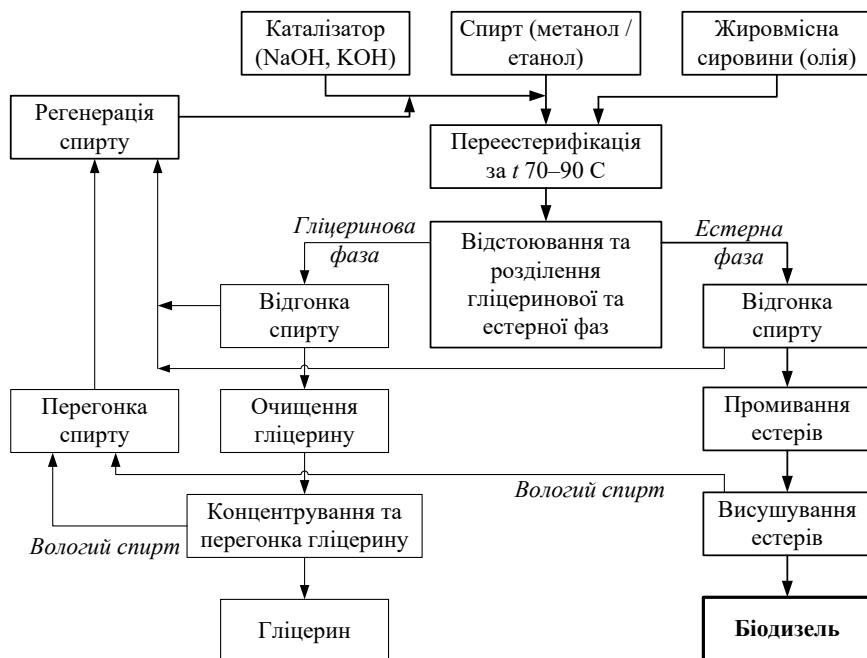


Рис. 3.1. Технологічна схема отримання біодизелю

Дана технологія успішно реалізується як у лабораторних умовах, так і на промислових установках різного масштабу. Основними її етапами є: підготовка вихідної сировини, підготовка реагенту та каталізатора, власне переестерифікація, відстоювання, очистка естерового шару та подальша переробка гліцерину.

Беручи до уваги досвід європейських держав, виробництво біодизельного палива в Україні можна організувати на таких типах установок і заводів: дрібнотоннажні установки 300–3000 т/рік (для

фермерів), регіональні (обласні) заводи 10000–30000 т/рік, промислові заводи державного значення 50000–100000 т/рік.

Фізико-хімічні характеристики біодизельного палива за більшістю показників відповідають товарному нафтовому дизельному паливу. Починаючи з 1997 р. в США і країнах Європи з'явилися стандарти на біодизельне паливо, що визначають вимоги до естерів рослинних олій, що можуть використовуватися не тільки як самостійний вид палива, але і як компонент сумішевого дизельного палива (наприклад, в суміші з нафтовим дизельним паливом). Оскільки жирно-кислотний склад естерів рослинних олій може дещо змінюватись, то і характеристики біодизельного палива можуть змінюватися. У таблиці 3.8 наведено усереднені характеристики біодизельного палива, отриманого з різних видів олій і вимоги до естерів, що встановлені стандартами DIN EN 14214 (діє на території країн Європи) та ДСТУ 6081:2009, ДСТУ 7178:2010 (діють на території України).

Як видно з даних, наведених у таблиці, характеристики одержуваних в даний час естерів рослинних олій досить близькі і задовольняють вимогам нормативних документів, до якості компонентів дизельного палива. Однак за низкою параметрів естери не відповідають вимогам, що висуваються діючим в даний час ДСТУ 7688:2015 «Паливо дизельне Євро. Технічні умови».

Так, цетанове число біодизельного палива вище, ніж встановлено ДСТУ, але не перевищує 55 одиниць (при більш високому цетановому числі погіршується економічність роботи двигуна і збільшується димність відпрацьованих газів). Таке цетанове число забезпечує м'яку, без «стуку» роботу двигуна.

Густина і, особливо, в'язкість естерів дещо вище, ніж у товарного дизельного палива. Густина палива ρ , кінематична ν і динамічна в'язкості μ , а також поверхневий натяг σ належать до показників палива, які впливають на процеси випаровування, сумішоутворення і згорання.

Таблиця 3.8

Порівняльна характеристика показників якості біодизельних палив на основі рослинних олій

та вимог нормативних чинних документів									
Показник	DIN EN 14214	ДСТУ 6081:2009	ДСТУ 7178:2010	Естери сояшинокової олії	Естери ріпакової олії	ДСТУ 7688:2015			
						Марка Л	Марка 3	Марка Арк	
1	2	3	4	5	6	7			
Масова часта естерів, %	не <96,5	не <96,5	не <96,5	н/д**	н/д	н/в			
Об'ємна часта метило- вих/етиллових естерів жир- них кислот, %:						0			
- для дизельних палив В0						не >5			
- для дизельних палив В5						5-7			
- для дизельних палив В7									
Цетанове число	не <51	не <51	не <51	53	53	не <51	не <49	не <48	
Густина за t 15 °С, кг/м³	860-900	860-900	860-900	878	883	820-845	800-845	800-840	
В'язкість за t 40 °С, мм²/с	3,5-5,0	н/в	3,5-5,0	4,0	5,3	2,00-4,50	1,50-4,00	1,50-4,00	
Фракційний склад, °С									
t поч. кип., °С									
t 50 % перегонки, °С	н/в*	н/в	н/в	275	280	не >65	не >65	не >65	не >65
за t 250 °С випаровується, %				290	330	не <85	не <85	не <85	не <85
за t 350 °С випаровується, %				300	320	не >360	не >360	не >360	не >360
t 95 % перегонки, °С									
Температура застигання, °С	не >20	н/в	н/в	-19	-20	н/в	не >20	не >30	
Гранична температура фільтрування, °С	н/в	н/в	н/в	н/д	н/д	не >5			
Температура помутніння, °С	н/в	н/в	н/в	-13	-15	н/в		не >20	
Температура спалаху, °С	не <120	не <120	не <101	149	161		не <55 (Євро 5)		
Вміст сірки, мг/кг	не >10	не >10	не >10	7,9	5,7		не >10 (Євро 5)		
Вміст води, мг/кг	не >500	не >500	не >500	315	325		не >200		

Продовження таблиці 3.8

1	2	3	4	5	6	7
Вміст механічних домішок, мг/кг	не >24	не >24	не >24	11,38	12,75	не >24
Випробування на мідній пластинці протягом 3 г за t 50 °С	н/в	н/в	клас I	н/д	н/д	клас I
Кислотне число, мг КОН/г	не >0,5	не >0,5	не >0,5	0,46	0,5	н/в
Вміст моногліцеридів, %	не >0,8	не >0,8	не >0,8	0,492	0,508	н/в
Вміст дигліцеридів, %	не >0,2	не >0,2	не >0,2	0,105	0,103	н/в
Вміст тригліцеридів, %	не >0,2	не >0,2	не >0,2	0,0021	0,0015	н/в
Вміст вільного гліцерину, %	не >0,02	не >0,02	не >0,02	0,008	0,007	н/в
Загальний вміст гліцерину, %	не >0,25	н/в	не >0,25	0,150	0,153	н/в
Йодне число, г I ₂ /100 г	не >120	не >120	не >120	111,7	113,8	н/в
Вміст метаноту (етаноту), %	не >0,2	не >0,2	не >0,2	0,03	0,05	н/в
Вміст лужних металів (Na + K), мг/кг	н/в	не >5 не >5	не >5,0 не >5,0	н/д	н/д	н/в
Вміст фосфору, мг/кг	н/в	не >10	не >4,0	н/д	н/д	н/в
Зольність, %	не >0,02	не >0,02	н/в	0,015	0,014	не >0,01
Коксівність 10%-го залішку, %	не >0,3	не >0,3	н/в	0,011	0,013	не >0,3
Окиснювальна стабільність: - г/м ³ або	н/в	н/в	н/в	н/д	н/д	не >25
- год	не <6	не <6	не <6	10	11	не <20

* — не визначається

** — немає даних

У Харківському державному політехнічному університеті вивчали вплив відмінностей значень ρ , ν , μ і σ біопалив на характеристики його впорскування, динаміку розвитку паливного факела, ступінь розпилювання та ін. Високі значення в'язкості продуктів переробки рослинних олій призводять до збільшення дальності паливного факела. У зв'язку з цим зменшується частка об'ємного сумішоутворення, при цьому значна частина палива потраплятиме на стінки камери згорання. Крім того, зменшується кут розсіювання паливного факела, збільшується середній діаметр крапель. Зростання поверхневого натягу естерів порівняно з дизельним паливом на 14 % є причиною збільшення неоднорідності розпилювання палива. У зв'язку із зростанням густини естерів порівняно з дизельним паливом на 6 % збільшується максимальний тиск пальника, дійсний момент початку впорскування палива зміщується у бік збільшення. Проведені розрахунки показали, що використання 100 % естерів у порівнянні з дизельним паливом призводить до збільшення середнього діаметра крапель на 14 %, при цьому кут розсіювання паливного факела зменшується на 15 %.

За використання естерів як палива, його випаровування потребує більше часу, паливо згорає не в повному обсязі; збільшується його витрата; підвищується інтенсивність нагароутворення.

Фракційний склад палив має дуже важливе експлуатаційне значення, так як характеризує його випаровуваність в двигунах, а також тиск пари за різних температур та тисків. Паливо для двигунів із запалюванням від іскри повинно мати таку випаровуваність, що забезпечує легкий запуск двигуна за низьких температур, швидкий прогрів двигуна, рівномірний розподіл палива по циліндрах. Фракційний склад палива також має великий вплив на швидкість його випаровування і утворення паливо-повітряної суміші (ППС) після уприскування.

Відомо, що рослинні олії за атмосферного тиску киплять за температури близько 300 °C і розкладаються при нагріванні. У той же час для біодизельного палива визначення фракційного складу є можливим, так як молекулярна маса естерів біодизеля практично в три рази менше, ніж у триацилглицеридів рослинних олій. Однак, в середньому, їх маса більше, ніж у компонентів нафтового

дизельного палива, тому температури википання 50 % фракцій і, особливо температури початку кипіння у естерів є вищими, ніж у товарного дизельного палива. Відсутність легколетких з'єднань ускладнюватиме запуск двигуна за низьких температур. У цілому, більш важкий фракційний склад біодизеля викликатиме підвищене нагароутворення на деталях двигуна.

У біопалив, отриманих переробкою ріпакової та соняшникової олій, у діапазоні від 20 до 80 % температура перегонки є практично постійною. Палива сумішевого складу переганяються як дизельне паливо незалежно від концентрацій складових компонентів. Усе – як естери, так і їх суміші мають максимально наближені значення кінця перегонки.

Низькотемпературні характеристики біодизеля дозволяють використовувати його без додавання депресорних присадок тільки як літнє паливо.

Висока температура спалаху робить це паливо більш безпечним при зберіганні, транспортуванні та експлуатації.

Низький вміст сірки покращує екологічні характеристики біодизеля.

Чистота палива оцінюється, перш за все, вмістом механічних домішок. Аналізуючи наведену вище таблицю, видно, що естери задовольняють вимогам щодо чистоти палива.

Однією з найбільш важливих переваг використання біодизельного палива є зниження вмісту шкідливих речовин у відпрацьованих газах. У результаті досліджень впливу сумішевих та чистих біодизельних палив на викиди окремих компонентів відпрацьованих газів дизелів було відзначено зниження викидів оксиду вуглецю, вуглеводнів, дисперсних частинок і деяке підвищення викидів оксидів азоту.

За даними Міністерства енергетики США застосування біодизельного палива знижує викиди практично всіх викидів шкідливих речовин, за винятком оксидів азоту, знижує канцерогенність вихлопу на 94 %, мутагенність на 80–90 % (в разі застосування чистого біодизельного палива).

Під час роботи дизельного двигуна на біодизельному паливі практично відсутні викиди сполук сірки, так як вміст сірки в паливі знаходиться на рівні не більше 10–15 мг/кг.

Теплота згорання чистого біодизельного палива нижче, ніж у дизельного на 11–12,5 % (на одиницю маси) і на 7–8 % (на одиницю об'єму). Нижча теплота згорання призводить до деякого (до 10 %) зниження потужності двигуна і збільшення витрати палива. Застосування сумішевого палива B20 знижує потужність на 1–2 %, що практично не позначається на експлуатації. У той же час деякі дослідники відзначають менше зниження потужності, і навіть деяке її підвищення на окремих режимах.

Поряд зі зменшенням потужності нижча теплота згорання біодизельного палива призводить, також, і до збільшення витрати палива. Дослідження показали, що під час роботи дизельного двигуна на суміші B20 витрата палива зростає на 2 %, а під час роботи на чистому біодизельному паливі B100 з ріпакової олії – на 14 % порівняно з дизельним паливом.

Біодизельне паливо володіє кращими змащувальні властивості, ніж дизельне паливо. Навіть в невеликій кількості (1–2 %) біодизельне паливо істотно покращує змащувальні властивості сумішевого дизельного палива. Під час досліджень параметрів змащування та зношування за використання суміші B20 та нафтового дизельного палива було відзначено зменшення розміру плями зносу з 492 мкм (за використання дизельного палива) до 193 мкм (за використання суміші B20). Відмічено поліпшення якості покриття поверхні деталей плівкою: на 93 % площі (за використання суміші B20) в порівнянні з 32 % (за використання дизельного палива).

Дослідження надійності дизельного двигуна протягом 1000 годин в Університеті Айдахо не виявили істотних відмінностей в надійності та зносі двигуна під час роботи на біодизельному та дизельному паливах. У процесі досліджень визначалися потужність двигуна, закоксованість форсунок та знос компонентів двигуна на основі аналізу вмісту металів в мастилi. Відомо, що проблеми з підвищеним зносом форсунок пов'язують з недостатньо високою якістю палива. У зв'язку з вимогами до зниження вмісту сірки в дизельному паливі, що постійно посилюються, виникають проблеми із забезпеченням змащувальних властивостей палива, що особливо важливо для надійної роботи паливної апаратури. У той же час відзначається, що навіть добавка біодизельного палива у

кількості 1–2 % до дизельного здатна забезпечувати необхідне змащування паливного насоса та форсунок.

Біодизельне паливо є досить сильним розчинником, тому при тривалій дії спостерігалось розм'якшення або пошкодження шлангів, сальників, ущільнень, клеїв. Особливо схильні до дії біодизельного палива поліпропілен, полівініл і деякі сорти гуми. Сумісними з біодизельним паливом є фторопласти, тефлон, витон. За використання сумішевих палив з вмістом біодизельного палива до 20 % помітного негативного впливу на матеріали не відзначається. У присутності латуні, бронзи, міді, свинцю, олова та цинку відбувається більш інтенсивне окиснення біодизельного палива з утворенням солей та інших сполук, що сприяють забиванню фільтрів. Добре сумісні з біодизельним паливом є вуглецева та нержавіюча сталі, а також алюміній. У випадку переходу дизельних двигунів, що знаходяться в експлуатації, на біодизельне паливо відзначався ефект «вимивання» відкладень з паливного бака та трубопроводів, що призводило до швидкого забивання паливного фільтра.

Основні переваги біодизелю

Головним чином біодизель відрізняється задовільною спалахуваністю, що забезпечується високим цетановим числом. Якщо для мінерального дизельного палива цетанове число становить 50–52, то для біодизелю (метилового естеру) вже 56–58. Це дозволяє використовувати його в дизельних двигунах без інших стимулюючих займання речовин.

Окрім відносно високого цетанового числа таке біопаливо має і низку інших корисних властивостей:

Рослинне походження. Біодизель виготовляється з олій, сировиною для яких є рослини, що поліпшують структурний та хімічний склад ґрунтів в системах сівозміни. Крім того, використання такої відновлюваної сировини дозволяє забезпечити суттєву економію викопних палив.

Біологічна нешкідливість. Порівняно з мінеральним мастилом, 1 літр якого здатний забруднити 1 млн літрів питної води і привести до загибелі водної флори і фауни, біодизель, як показують досліді, при попаданні у воду не заподіює шкоди ні рослинам, ні тваринам. Крім того, він піддається практично

повному біологічному розпаду: у ґрунті або у воді мікроорганізми здатні переробляти 99 % біодизеля за місяць, що дозволяє говорити про мінімізацію забруднення річок і озер при переході водного транспорту на альтернативне паливо.

Зменшення викидів CO₂. При згоранні біодизеля виділяється рівно така ж кількість вуглекислого газу, яка була спожита з атмосфери рослиною, що є вихідною сировиною для виробництва олії, за весь період її життя. Проте, слід зауважити, що назвати біодизель екологічно чистим паливом було б невірно. Він дає меншу кількість викидів вуглекислого газу в атмосферу, ніж звичайне дизпаливо, але все-таки це не нульовий викид.

У світовій практиці лімітується низка компонентів відпрацьованих газів, серед яких: монооксид вуглецю – CO, неспалені вуглеводні, окисли азоту – NO_x і сажа. Очевидні переваги біодизеля за такими показниками продуктів згорання: монооксид вуглецю, вуглеводні, зважені частинки та сажа.

Низький вміст сірки. Одними з основних шкідливих компонентів відпрацьованих газів ДВЗ є оксиди сірки. Такі викиди зумовлені певним вмістом сірки у традиційному нафтовому паливі для дизельних двигунів. Біодизель в порівнянні з мінеральним аналогом майже не містить сірки, що позитивно впливає на токсичність відпрацьованих газів автотранспорту.

Задовільні мастильні характеристики. Відомо, що мінеральне дизпаливо при усуненні з нього сірчистих сполук втрачає свої мастильні здібності. Біодизель же, незважаючи на низький вміст сірки, характеризується гарними мастильними властивостями. Це обумовлюється його хімічним складом і вмістом в ньому кисню.

Збільшення терміну служби двигуна. Під час роботи двигуна на біодизелі одночасно проводиться змащення його рухомих частин, в результаті чого, як показують випробування, досягається збільшення терміну служби самого двигуна і паливного насоса в середньому на 60 %.

Висока температура займання. Ще один технічний показник, важливий для організацій, що зберігають і транспортують ПММ: температура спалаху. Для біодизеля її значення перевищує 100 °C, що дозволяє назвати біопаливо відносно безпечною речовиною.

3.3. Аліфатичні спирти. Технології виробництва та сировина.

Досить давно відомий спосіб застосування спиртів у двигунах внутрішнього згорання. Нині вони використовуються здебільшого як паливо для спортивних автомобілів, оскільки збільшують потужність двигуна при одночасному зниженні температури в камері згорання. Завдяки нижчій температурі відпрацьованих газів, інтенсивному відведенню тепла із циліндрів і повнішому згоранню ефективний ККД двигуна, який працює на спиртах, вищий, аніж при роботі на нафтовому паливі. За умови використання спиртів також знижується емісія продуктів неповного згорання палив, зменшується утворення сажі, отже, чистішими є деталі двигуна та паливна апаратура. Однак водночас зростають викиди у довкілля альдегідів (як продуктів неповного окиснення спиртів), можливе також збільшення емісії оксидів азоту. Крім того, спирти гігроскопічні, мають низькі мастильні властивості, корозійно агресивні (за рахунок їх окиснення до відповідних карбонових кислот), негативно впливають на конструкційні матеріали. Безпосереднє їхнє використання потребує деяких змін у конструкції двигуна. Нижчі спирти (метанол, етанол) практикують як добавки до базового бензину з метою часткової його заміни, однак їхні початкові концентрації невеликі. Так, Всесвітня паливна хартія вводить такі кількісні обмеження стосовно додавання спиртів до автобензинів: метанолу – 3 %, етанолу – 5 % (до 6 % – в Україні), інших спиртів – до 7–10 %. Додавання спиртів до бензинів дає змогу підвищити їх ОЧ. Цетанові показники спиртів, навпаки, дуже низькі, і з цим пов'язані серйозні труднощі застосування спиртів у дизельних двигунах.

Біоетанол являє собою зневоднений етиловий спирт, який отримують ферментацією сахарози, що, в свою чергу, отримують з крохмалю зернових культур або з цукрових розчинів. Таке альтернативне біопаливо призначено для використання у ДВЗ із примусовим запалюванням, тобто бензинових двигунах.

Можна стверджувати, що типовий спиртовий завод, що виробляє етиловий спирт з різним ступенем очищення, по суті, є комплексом з виробництва біоетанолу. Стадії зневоднення і

денатурації етанолу є необхідними етапами переробки етилового спирту в біоетанол. Варто відзначити, що біоетанол доцільно виробляти на промисловій основі, тобто на великих заводах та у великих обсягах. Виробництво його в сільськогосподарських чи фермерських господарствах на малих установках не є ефективним, оскільки навіть найменша установка вимагає значних капітальних вкладень.

Технологія виробництва етилового спирту є чітко відпрацьованою послідовністю технологічних операцій, певний порядок яких залежить від сировини, що переробляється

3.3.1. Сировина та технології виробництва біоетанолу

Сировину, необхідну для виробництва біоетанолу, можна розділити на такі групи:

- целлюлозовмісна сировина;
- цукровмісна сировина;
- крохмальовмісна сировина.

Целлюлозовмісна сировина являє собою лігноцелюлозні і деревні матеріали. Як сировина можуть використовуватися енергетичні культури, сільськогосподарські, деревні та побутові відходи. Використання перерахованих видів сировини робить сировинну базу для виробництва біоетанолу практично невичерпною. Поряд з цим, існуючі на сьогоднішній день, проблеми і складність процесу ферментації целлюлозовмісної сировини є основним бар'єром для його широкого використання.

Цукровмісна сировина являє собою сільськогосподарські продукти, такі як цукровий буряк, цукрова тростина та солодке сорго. Як цукровмісну сировину можуть також використовувати продукти (відходи) цукрового виробництва: меляса, буряковий сік, патока та інші побічні продукти. Цукровмісна сировина є найбільш простим та зручним видом сировини в контексті технологічної переробки на біоетанол. Вченими вже успішно розроблена концепція і програма одночасного виробництва біоетанолу та цукру на базі цукрового заводу (будь-якої продуктивності), з можливістю виробництва біоетанолу протягом 333 днів на рік.

Крохмальовмісна сировина являє собою сільськогосподарські продукти, такі як картопля, топінамбур та різні види зернових (жито, ячмінь, кукурудза, пшениця і т.д.). Як

крохмальвмісну сировину для виробництва біоетанолу найчастіше використовують пшеницю, жито, ячмінь і кукурудзу.

Критерії вибору сировини для виробництва біоетанолу :

- вартість;
- врожайність;
- вихід етанолу;
- вміст крохмалю (цукру);
- стійкість до шкідників та вірусів;
- цілорічна доступність і наявність;
- вимогливість до ґрунту і погодних умов;
- трудоемність прибирання, транспортування та зберігання;
- можливість переробки відходів (одержання додаткового прибутку);
- необхідність використання додаткових препаратів.

У разі використання крохмальвмісної сировини існує два основних способи її переробки: технологія мокрого помолу і технологія сухого помолу. Головною відмінністю між цими двома технологіями є спосіб первинної переробки зерна.

Розглянемо схему виробництва біоетанолу з крохмальвмісної та цукровмісної сировини та її можливі варіанти (рис. 3.2).

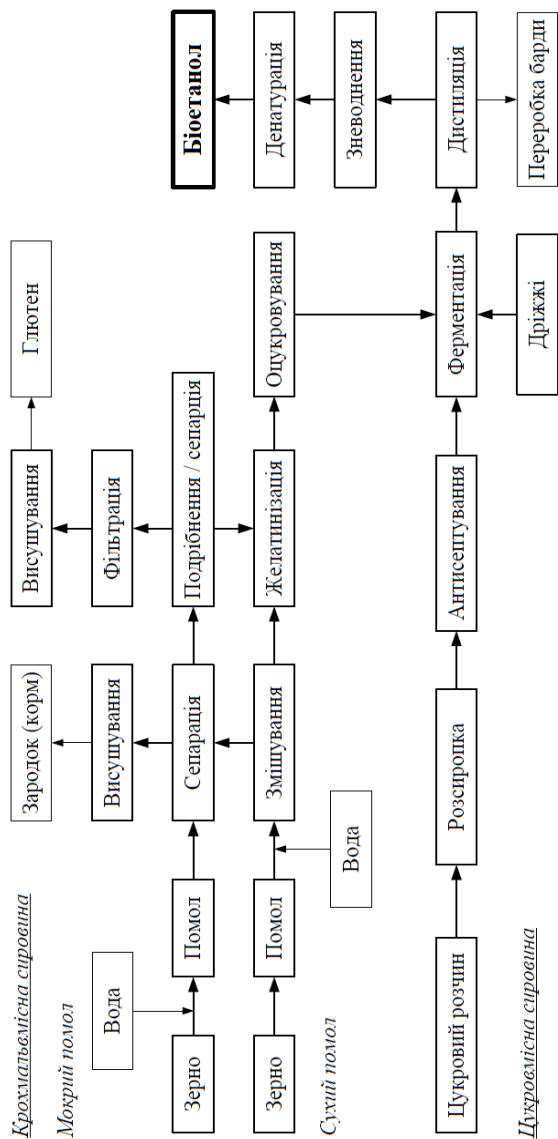


Рис. 3.2. Схема виробництва біоетанолу з крохмальвмісної та цукровмісної сировини

Первинна переробка крохмальвмісної сировини за технологією мокрого помолу

Особливістю технології мокрого помолу є процес відділення певних компонентів зерна на стадії первинної переробки. Процес виробництва біоетанолу за технологією мокрого помолу не супроводжується утворенням спиртової барди і дозволяє обійти проблеми, пов'язані з її подальшою утилізацією. Вихідна сировина (зерно), надходить на переробку, очищається від піску, пилу, насіння бур'янів, сколених частинок зерен і т.д.. Минувши стадію очищення, зерно замочується протягом 24–40 годин, що дозволяє розм'якшити його зародок та вивільнити крохмаль. Розм'якшене зерно розмелюють, чим досягається виділення зародка і крохмалю. Отриманий крохмальний розчин сепарується з метою відділення зародка від загальної маси. Зародок сушиться і подається на зберігання. Отриманий продукт використовується у виробництві високопродуктивних кормових добавок.

Рідка фаза, отримана під час сепарації зародка, піддається другому, більш інтенсивному і тонкому подрібненню. Подрібнений розчин сепарується з метою відокремлення крохмального розчину і глютену від залишків клітковини. Отримана клітковина фільтрується, промивається і пресується до 60 % вологості. Отриманий продукт використовується у виробництві високопродуктивних кормових добавок.

Глютен, отриманий під час сепарації крохмального розчину, сепарується, охолоджується і фільтрується. Фільтрований глютен висушується за вологості 60 % до вологості 10 %. Отриманий продукт є поживною білковою добавкою (60 % білка) та використовується у виробництві високопродуктивних кормових добавок.

Крохмальний розчин, отриманий в результаті сепарації, промивається і сепарується на батареї гідроциклонів. Далі крохмальне молоко (крохмальний розчин) надходить на стадію желатинізації та подальшої переробки.

Первинна переробка крохмальвмісної сировини за технологією сухого помолу.

Вихідна сировина (зерно), надходить на переробку, очищається від піску, пилу, насіння бур'янів, сколених частинок зерен і т.д. Минувши стадію очищення, зерно розмелюють для

вивільнення крохмалю. Потім цей матеріал розчиняють у воді, регулюючи вміст сухих речовин в замісі. Далі заміс надходить на стадію желатинізації та подальшої переробки.

Основна переробка крохмальвмісної сировини за технологією мокрого і сухого помолу.

Крохмальне молоко (заміс) змішується з ферментами і нагрівається до температури, за якої молекули крохмалю розпадаються на низько і середньомолекулярні декстрини та цукри. Отриманий розчин охолоджується, і до нього додаються цукроутворюючі ферменти (глюкоамілази), що перетворюють молекули декстрину в прості цукри, що здатні перероблятися у подальшому дріжджами на етанол. Процес бродіння триває близько 48–60 годин. За цей період всі доступні цукри суслу переробляються в етанол і вуглекислий газ. Отримана в результаті бродіння брага містить до 10 % етанолу. Брага, звільнена від дріжджової маси, безперервним потоком подається в багатоколонну систему ректифікації, де відбувається виділення етанолу, його подальше зміцнення та очищення від супутніх домішок. По завершенні процесу ректифікації виходить етанол, мічністю 96–96,5 %, що надходить на станцію зневоднення, де позбавляється від залишкової кількості води та стає абсолютним етанолом. Етанол, який використовують для виробництва біоетанолу, проходить процес денатурації. Денатурація полягає в додаванні до етанолу бензину (у кількості 2–5 %), що робить етанол непридатним до споживання людиною і не підлягає податковим зборам як питний спирт.

Переробка цукровмісної сировини

Цукровий розчин (меяса, патока, сік і т.д.), що надходить на переробку на біоетаноловий завод, проходить процес антисептування (знезараження) спеціальними розчинами. Далі цукровий розчин розбавляють водою до вмісту сухих речовин на рівні 17 %. Після розсиropки та антисептування, цукровий розчин надходить на ферментацію і проходить стадії переробки на етанол, описані вище.

У процесі виробництва біоетанолу утворюється значна кількість спиртової барди і виробничих відходів. Сумарна їх кількість становить 10–15 літрів на літр виробленого біоетанолу. Стічні води біоетанольного виробництва характеризуються

високим рівнем забруднення по ГДК до 40–70 тис. мг/л. Відсутність переробки та прямий викид такої кількості виробничих відходів тягне за собою забруднення навколишнього середовища і величезних площ, зайнятих полями фільтрації спиртової барди.

Вибір схеми переробки спиртової барди залежить від виду сировини, що переробляється і від способу первинної переробки крохмальвмісної сировини. Умовно барда ділиться на два види:

- зернова барда – відходи переробки крохмальвмісної сировини;
- мелясна барда – відходи переробки цукровмісної сировини.

Мелясна барда, як відходи виробництва біоетанолу, не володіє поживною цінністю і не може бути використана в сільському господарстві ні як кормова добавка, ні як добриво (без додаткової обробки), ні в інший спосіб. Оптимальним варіантом утилізації мелясної барди є її переробка в біогаз. У рамках державної програми реконструкції спиртової галузі України впроваджується схема переробки мелясної барди на біогаз на шести спиртових заводах, що виробляють зневоднений етанол.

Зернова барда, на відміну від мелясної, має досить високу поживну цінність. У разі використання технології сухого помолу, саме в зернову барду переходить весь білок зерна, що переробляється. У сільському господарстві широко застосовуються продукти переробки зернової барди. Як правило, зернова барда переробляється на сухий кормовий продукт. Також відома технологія переробки зернової барди на сухі кормові дріжджі.

3.3.2. Використання аліфатичних спиртів у двигунах внутрішнього згорання

Етанол може використовуватись як в чистому вигляді, так і як високооктанова добавка до бензину (бензанол, газохол).

До переваг біоетанолу як палива можна віднести те, що він має високі антидетонаційні властивості (ОЧ становить 99). Змішуючи його з низькооктановим бензином, підвищують ОЧ останнього. Етанол згоряє в циліндрі двигуна повніше, ніж бензин, внаслідок високого вмісту кисню. В результаті зменшуються викиди в довкілля чадного газу.

Однак етанол має і свої недоліки. Це нижча теплота згорання порівняно з бензином (26 МДж/кг проти 44 МДж/кг для бензину). Тому зменшується потужність двигуна, а витрата палива збільшується. Питома теплота випаровування етанолу майже в три рази вища, ніж бензину, а отже, і випаровуваність його менша. Для роботи двигуна на етанолі і спирто-бензинових сумішах потрібно підігрівати повітря. Через це важко запустити двигун при низьких температурах. Етанол та спирто-бензинові суміші дуже гігроскопічні. Слід зазначити, що як паливо може використовуватись і етанол, що містить значну кількість води. Однак вже при вмісті в етанолі 30 % води двигун важко заводиться. Із досвіду початку використання етанолу як палива в США відомо, що етанол абсорбує в себе воду, яка накопичується на дні цистерни при її експлуатації для зберігання бензинів. Утворена суміш замерзає при низьких температурах, що утруднює експлуатацію автомобілів. Крім того, етанол проявляє тенденцію до розчинення раніше нерозчинних осадів в паливних баках, трубопроводах та карбюраторах, що викликає блокування паливних фільтрів і закупорювання жиклерів.

Біоетанол сам по собі не може розглядатися як готове автомобільне паливо (таблиця 3.9). У сучасних двигунах для транспортних засобів і сільгоспмашин необхідно застосовувати стандартизовані паливні композиції, що відповідають певним показникам, викладеним у відповідних національних і міжнародних стандартах. Автовиробники виготовляють двигуни, пристосовані для таких палив, і відмовляються від гарантій при використанні інших паливних сумішей.

Поки вміст етанолу в бензин-етанольному паливі не перевищує 10 % об. (палива типу E10), його характеристики змінюються неістотно і споживачів навіть не попереджують про наявність етанолу в бензині. Єдиною проблемою, що може виникнути в цьому випадку, є фазова стабільність палива – можливість його розшарування при низьких температурах і контакті з водою. Тому при дистрибуції таких палив необхідний певний рівень технологічної культури, який не завжди досяжний в пострадянських країнах.

Таблиця 3.9

Основні характеристики біоетанолу у порівнянні з бензином

№ з/п	Паливо	Густина, кг/м ³	Тепло-провідність 20 °С	В'язкість 20 °С, мм ² /с	ОЧ	Температура спалаху, °С	Еквівалентність палива
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Бензин	760	42,7	0,6	92	<21	1
2	Біоетанол	790	26,8	1,5	> 100	<21	0,65

Більш стабільними є палива з вмістом понад 30 % етанолу в суміші з вуглеводнями, але із зростанням долі етанолу характеристики палива все більш відрізняються від вимог стандартів на звичайні бензини. Доводиться проводити певну адаптацію двигунів і вводити в паливо додаткові компоненти, що «підганяють» його властивості під вимоги стандартів.

Етанол-вуглеводневі паливні суміші прийнято позначати буквою Е (від англійського Ethanol) і цифрою, що відповідає процентному вмісту етанолу в суміші. Наприклад, паливо Е10 містить приблизно 10 % етанолу, Е85 – до 85 % етанолу. У іноземній літературі зустрічаються визначення Low Blend Fuel, High Blend Fuel (паливна суміш з низьким – 5–15 % вмістом етанолу, і високим – 60–95 % вмістом етанолу). На сьогоднішній день всі відомі виробники адаптували автомобілі до використання Low Blend Fuels з вмістом етанолу до 10 % (таблиця 3.10).

У Західній Європі, США і Бразилії реалізуються палива з вмістом біоетанолу 70–95 %. під маркою Е85–Е95. Багато автовиробників вже адаптували двигуни під їх використання. Транспорт з такими двигунами отримав назву FFV (Full Flexible Vehicle – повністю гнучкий транспортний засіб), оскільки здатний використовувати паливо з будь-яким вмістом етанолу. Паливні суміші (палива) з етанолом в США умовно класифікуються за наступною схемою:

– Е95 – денатурований паливний етанол. Він повинен містити мінімум 92 % етанолу і 2–5 % денатурантів – бензину або його компонентів, решта – присадки;

Таблиця 3.10

**Фізико-хімічні властивості автомобільного бензину
з добавкою біоетанолу**

№ з/п	Показник	Бензин	Бензин +10 % біоетанолу
1	2	3	4
1	Детонаційна стійкість		
	- по моторному методу	83,3	85,6
	- по дослідницькому методу	92,6	95,4
2	Тиск насиченої пари, кПа	37,3	45,1
3	Втрати від випару, %	0,45	0,5
4	Корозійна активність (зміна маси свинцевої пластини), г/м ²	0,55	0,7

– E85 – паливо «Flex Fuel» згідно американського стандарту ASTM D 5798. Воно підрозділяється на три класи за мінімальним вмістом етанолу – 70 %, 74 % і 79 %. Решта – бензин і присадки;

– E10 – паливо повинне містити близько 10 % етанолу, решта – бензин і присадки.

Зокрема, головною екологічною перевагою використання біоетанолу в складі сумішевих бензинів є можливість виключення застосування високотоксичних металовмісних антидетонаційних присадок та метилтретбутилового етеру (МТБЕ).

Але під час використання біоетанолу виникає низка специфічних питань, оскільки біоетанол за своїми фізико-хімічними властивостями суттєво відрізняється від бензину (має високе ОЧ на рівні 100 од. за моторним методом, нижчу теплоту згорання, але більшу детонаційну стійкість та корозійність, при концентрації понад 12 % може негативно вплинути на роботу двигуна).

Потенціал щорічного виробництва біоетанолу за наявною сировинною базою (меляса, кукурудза, зернові культури) згідно з оцінкою фахівців концерну «Укрспирт» сягає 2 млн т, що дозволить у перспективі замінити до 40 % об'ємів бензину, що споживають в Україні. Євросоюз у своїх офіційних документах

розглядає Україну як потенційного експортера біоетанолу до країн Європи.

Значення ККД спиртового двигуна вище бензинового в усьому діапазоні робочих сумішей, завдяки чому питома витрата енергії на одиницю потужності знижується (рис. 3.3).

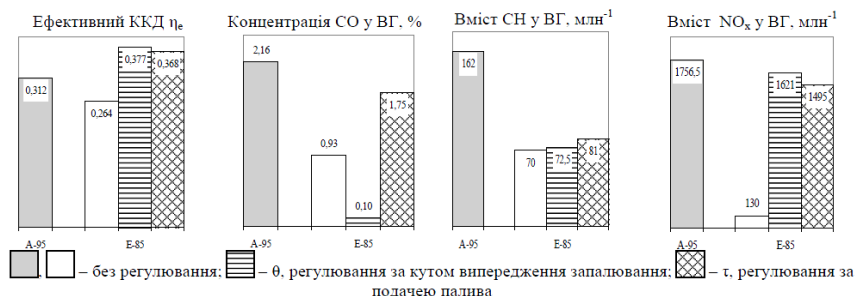


Рис. 3.3. Порівняльна характеристика ККД та концентрації CO, CH та NO_x у відпрацьованих газах автомобіля під час роботи на різних паливах

Загальна ефективність палива поступово зростає зі збільшенням відсоткового вмісту етанолу в паливі.

У реальних умовах неминучим є потрапляння води в бензино-спиртове паливо в процесі зберігання, транспортування та експлуатації, що призводить до фазового розділення. Дана проблема бензино-спиртових сумішей не зникає і при використанні абсолютованих етилових спиртів. Як стабілізатори пропонується використання фурилкарбінолу.

На сьогодні розроблено рецептуру палива моторного біологічного Е-85 (ТУ У 24.6 — 35523958 — 001:2009 «Паливо моторне біологічне. Технічні умови»), що відповідає екологічним та експлуатаційним вимогам до моторного палива для сучасної техніки та враховує сировинну базу України.

Для порівняння енергоекологічних показників бензину АІ-95 та палива моторного біологічного Е85 були проведені порівняльні стендові випробування на двигуні внутрішнього згорання з іскровим запаленням. На рисунку 3.3 наведено порівняльну характеристику ККД та концентрацію CO, CH та NO_x

у відпрацьованих газах автомобіля під час роботи на різних паливах.

Метанол є дуже перспективним паливом, оскільки має високе значення ОЧ. Цей спирт можна використовувати і як самостійне паливо, і як добавку до бензину. В усіх випадках він дає змогу знизити токсичність вихлопних газів двигуна. Застосування стовідсоткового метанолу обмежується через його високу токсичність і агресивність щодо конструкційних матеріалів.

При використанні метанолу ККД двигуна підвищується на 5–15 % порівняно з бензином. Це пов'язано з високою температурою випаровування метанолу, що сприяє зниженню температури суміші і збільшення маси паливо-повітряного заряду, зменшенню тепловідведення в циліндрах двигуна і температури відпрацьованих газів, потужність не знижується.

Як моторне паливо використовується переважно, суміш М85 (85 % метанолу і 15 % вуглеводнів), а також чистий метанол М100 (100 % метанолу).

Однією з найбільш серйозних проблем, що ускладнюють застосування добавок метанолу, є низька стабільність бензино-метанольних сумішей і особливо чутливість їх до води. Різниця густини бензину і метанолу та висока розчинність останнього у воді призводять до того, що потрапляння навіть невеликих кількостей води в суміш веде до її негайного розшарування і осадженню водно-метанольної фази.

Схильність до розшарування посилюється з пониженням температури, збільшенням концентрації води і зменшенням вмісту ароматичних сполук у бензині.

Експлуатаційні властивості метанольного палива, і в першу чергу енергетичні показники і пускові якості, поліпшуються при додатковому введенні вищих спиртів і ефірів. Такі палива отримали назву змішаних спиртових палив. Випробування однієї з композицій сумішевого палива показали збільшення потужності двигуна на 4–7 % та покращення паливної економічності (порівняно з чистим спиртом) на 10–15 %, при цьому вміст у відпрацьованих газах оксидів азоту знижується на 25–30 % порівняно з роботою на бензині.

Основним недоліком метанолу є його висока токсичність, корозійна активність і агресивність стосовно алюмінієвих сплавів,

гум і інших конструкційних матеріалів, що підвищує ризик збільшення емісії летких органічних речовин, які можуть привести до зменшення концентрації озону.

Для метанолу характерні викиди формальдегіду, в той час як при згоранні етанолу утворюється переважно ацетальдегід. Метанол швидко проникає в джерела питної води та отруєє її. Велика зацікавленість у використанні метанолу як палива спостерігається в країнах, що мають власні ресурси кам'яного вугілля і недостатні ресурси нафти. Метанол можна виготовляти з природного газу, вугілля, біомаси.

Біоетанол придатний як автомобільне паливо, оскільки він однорідний, має сталу температуру кипіння, високі антидетонаційну стійкість і теплотворну здатність, екологічно чистий, повністю згорає, не утворює токсичних продуктів згорання.

Проте одним з недоліків етанолу як моторного палива є (майже в 1,7 разу) нижча теплота згорання, що потребує суттєвого збільшення витрат етанолу порівняно з бензином. Під час згорання етанолу у вихлопних газах двигунів з'являються альдегіди, котрі шкодять живим організмам не менше, ніж ароматичні вуглеводні.

Біобутанол – це наступний значний етап розвитку біопалив, застосування якого має задовольнити зростаючі потреби в екологічно безпечному, поновлюваному транспортному паливі.

Основною причиною, за якої до недавнього часу ніхто не знав про бутанол як про альтернативне паливо, є те, що виробництво цього продукту ніколи не вважалося економічно доцільним.

Порівняно з етанолом, бутанол може бути змішаний у більш високих пропорціях з бензином, завдяки низькому тиску парів, і використовуватися в існуючих автомобілях без модифікації системи формування повітряно-паливної суміші завдяки своїм фізичним властивостям.

Бутанол виділяє чистої енергії на робочий цикл більше, ніж етанол або метанол, і приблизно на 10 % більше, ніж бензин, тобто при використанні біобутанолу споживачі стикаються з меншими компромісами щодо економіки палива – це особливо важливо, оскільки сьогодні частка використання біопалива в паливних сумішах постійно збільшується.

Нині біобутанол може додаватися в бензин у концентрації до 10 % в Європі і до 11,5 % у США без модифікації двигуна. У майбутньому є потенціал для збільшення максимально допустимого використання біобутанолу в бензині до 16 % за об'ємом.

У присутності води суміш, що містить біобутанол, меншою мірою схильна до розшарування, ніж суміші етанол/бензину, і тому це дає змогу використовувати існуючу інфраструктуру дистрибуції, не вимагаючи модифікацій установок для змішування, сховищ або заправок.

На відміну від існуючих біопалив, біобутанол потенційно може бути транспортований по трубопроводах; тобто він може бути швидко доданий до бензину, і це дозволить уникнути потреби в додатковій великомасштабній інфраструктурі поставки.

Біобутанол має безліч синергічних властивостей з біоетанолом. Його отримують із сільськогосподарської сировини, що й етанол (тобто з кукурудзи, пшениці, цукрових буряків, сорго, кассави і цукрового очерету).

Існуючі потужності з виробництва етанолу можуть бути рентабельно модернізовані під виробництво біобутанолу (необхідні незначні зміни процесів ферментації та дистиляції). Згідно з дослідженнями, була визначена відносна лімітна вартість біобутанолу, що становить 0,73 від вартості МТБЕ і 0,8 від вартості біоетанолу. Отримані значення є орієнтирами при оцінюванні конкуретоспроможності біобутанолу як високооктанового компонента автомобільних бензинів.

До основних переваг біобутанолу, можна віднести велику теплоту згорання щодо біоетанолу, що дозволяє використовувати його в більш високій концентрації в бензинах. Крім того, його можна отримувати з нехарчової рослинної сировини, що є ефективним способом утилізації відходів сільського господарства та лісопереробної промисловості. Бутанол безпечніший у використанні, оскільки в шість разів менше випаровується, ніж етанол і в 13,5 разу менш леткий, ніж бензин. Пружність парів бутанолу за Рейдом становить 0,33 фунта / кв. дюйм, у бензину це 4,5 фунта / кв. дюйм, у етанолу – 2,0 фунта/кв. дюйм. Це робить бутанол більш безпечним при викорис- танні як оксигенату і не вимагає особливих змін пропорцій суміші при використанні взимку

і влітку. Зараз він використовується як оксигенат в штатах Арізона, Каліфорнія та ін.

Головна перевага спиртовмісних палив – високі антидетонаційні характеристики і поліпшення екологічних властивостей. При використанні спиртів зменшується кількість монооксиду вуглецю, оксидів азоту та сажі, проте зростає вміст альдегідів у відпрацьованих газах двигунів. Уведення в автомобільні бензини оксигенатів підвищує їх детонаційну стійкість, оскільки призводить до збільшення концентрації кисню в паливі, що сприяє більш повному згоранню вуглеводнів, знижує теплоту згорання паливоповітряної суміші, відбувається більш швидкий відвід тепла з камери згорання, і в результаті знижується максимальна температура горіння. До недоліків спиртовмісних бензинів належать менша, ніж у звичайного бензину, теплотворна здатність, низька фазова стабільність, яка веде до їх розшарування з утворенням двох рівноважних фаз: водно-спиртової та вуглеводнево-спиртової.

На сучасному етапі розвитку перспективою альтернативних палив є використання аліфатичних спиртів як добавки до палив нафтового походження. Найбільш широкого використання у світі на сьогодні набув етанол, але враховуючи його недоліки, паралельно широко досліджується палива з додаванням метанолу та бутанолу. Порівняльна характеристика, фізико-хімічні та екологічні властивості спиртів подану в таблиці 3.11.

Основні переваги біоетанолу

Розглянемо деякі екологічні аспекти виробництва та використання біоетанолу як компоненту бензино-етанольних сумішей. Під час згорання біоетанолу виділяється в 10 разів менше вуглекислого газу, ніж під час згорання бензину. Біоетанол не токсичний, розчинний у воді і не викликає забруднення ґрунтових вод. Виділений під час спалювання біоетанолу вуглекислий газ має первинне атмосферне походження: його знову поглинають рослини, що в майбутньому стануть сировиною для отримання паливного етанолу. Застосування паливного етанолу у складі бензино-етанольних сумішей дозволяє істотно зменшити вміст шкідливих компонентів відпрацьованих газів (чадного газу, оксидів

азоту та інших летких токсичних викидів). Використання 10 % суміші етанолу зменшує (порівняно із звичайним бензином):

- викиди парникових газів на 12–19 %;
- викиди оксиду вуглецю на 30 %;
- токсичність викидів на 21 %;
- вміст твердих частинок у вихлопі на 50 %.

Крім екологічних аспектів виробництво і використання біоетанолу як біопалива може мати низку позитивних ефектів:

- скорочення залежності від імпорту нафти і підвищення енергетичної незалежності (для енергозалежних держав);
- диверсифікація економіки сільського господарства та розвиток сільських регіонів;
- створення нових робочих місць;
- збільшення надходжень до бюджету держави;
- збільшення продуктивності та прибутковості в сільському господарстві;
- поліпшення стану навколишнього середовища;
- можливість отримання імпортного поля для торгівлі викидами парникових газів в рамках Кіотського протоколу.

Таблиця 3.11

Параметри аліфатичних спиртів у порівнянні з бензином

№ з/п	Спирт	Властивості
1	2	3
1	Метанол	Найбільше ОЧ. Покращення паливної економічності на 10–15 % ККД двигуна підвищується на 5–15 % порівняно з бензином. Висока токсичність і агресивність щодо конструкційних матеріалів. Вміст у відпрацьованих газах оксидів азоту знижується на 25–30 % порівняно з роботою на бензині
2	Етанол	ОЧ істотно вище, ніж бензину. Розшарування за наявності води. Необхідна модифікація двигуна при збільшенні вмісту. Низька теплота згорання – пара етанолу розсіюється швидше, ніж пара бензину. Менш токсичний, ніж бензин, не містить канцерогенних компонентів. Пара етанолу менш вогнебезпечна, ніж пара бензину через вищу температуру самозаймання. Електропровідність значно вища, ніж у бензині, що знижує небезпеку накопичення статичної електрики під час руху палива, у тому числі і в паливній системі
3	Бутанол	ОЧ вище, ніж у бензині. Енергоємність бутанолу близька до енергоємності бензину. Суміш не розшаровується в присутності води Легко змішується зі звичайним бензином. Не вимагає модифікації двигуна. Не володіє корозійними властивостями Низький тиск парів біобутанолу не повинен призводити до появи високих рівнів емісії летких органічних сполук

3.4. Альтернативні авіаційні палива. Технології виробництва та сировина.

Аналогічно ситуації в області розроблення та застосування автомобільних палив, вчені всього світу вивчають перспективи часткової або повної заміни традиційних авіаційних палив їх альтернативними аналогами.

Традиційно палива для повітряно-реактивних двигунів (ПРД) отримують з нафти. Як відомо, виробництво авіаційного палива є одним з пріоритетних напрямів у світовій нафтогазопереробній галузі. Перш за все це пояснюється зростаючою кількістю повітряних суден (ПС). Проте, беручи до уваги обмеженість світових запасів нафти, пошук нових альтернативних видів палива, що могли б замінити традиційні, стає все більш актуальним. Спостерігається тенденція до розвитку прогресивних технологій виробництва синтетичних палив, їх раціонального та ефективного використання. Такі палива мають відповідати не тільки вимогам до фізико-хімічним та експлуатаційним властивостей, а й володіти поліпшеними екологічними властивостями.

Сьогодні низка міжнародних організацій приділяють значну увагу вивченню існуючих технологій виробництва палив для ПРД. Дослідження вчених націлені на пошук альтернативи традиційним реактивним паливам, що стали б загально доступними протягом наступного десятиріччя, з метою вирішення проблем комерційної авіаційної галузі. Відповідно до сировини, що використовується, виділяють п'ять груп альтернативних палив для ПРД.

1. Палива, отримані переробленням традиційної нафтової сировини.

2. Палива, отримані переробленням нетрадиційної нафтової сировини (бітумінозні піски, нафтовмісні сланці).

3. Палива, отримані синтезом природного газу, вугілля, біомаси, або їх комбінацій процесом Фішера-Тропша.

4. Палива, отримані з відновлюваної жиромісної сировини (біокеросин, гідрогенізовані синтетичні реактивні палива, або гідроочищені рослинні олії).

5. Палива, отримані переробленням спиртів (етанолу або бутанолу).

Розвиток авіаційної техніки постійно рухається в напрямку збільшення швидкостей та висот польотів ПС, покращення економічності, масових характеристик, надійності та ресурсу силових установок ПРД. Більша частина авіаційної техніки обладнана ПРД. Надійність та ефективність роботи двигуна і відповідного самого ПС вимагає високої якості палива. Сучасні палива для авіації мають задовольняти низці вимог, пов'язаних з економічністю, надійністю, довговічністю роботи авіаційної техніки та екологічною безпечністю палива. Серед загальних технічних вимог, що ставляться до авіаційного палива можна виділити наступні:

- мати рівень випаровуваності, що забезпечує надійну займистість і повноту згорання палива;
- мати низькотемпературні властивості, що забезпечують надійне прокачування палива за від'ємних температур;
- бути хімічно й термічно стабільними з мінімальною схильністю до утворення відкладень у паливній системі двигуна;
- не впливати негативно на металеві й неметалеві деталі паливних систем двигуна, устаткування для зберігання й транспортування палива;
- мати мастильну здатність, що виключає підвищене зношування тертьових деталей паливних агрегатів;
- мати оптимальний рівень електропровідності, що виключає електризацію палива й забезпечує безпеку перекачування та зливально-наливальних операцій з паливом;
- не містити токсичних компонентів, домішок і присадок, містити мінімальну кількість сірчистих сполук, не утворювати екологічно небезпечних продуктів згорання.

Фізико-хімічні властивості палив для ПРД визначаються природою та властивостями сировини, з якої вони виготовляються, способами отримання базових фракцій, методами їх очистки та змішування, властивостями присадок, що додаються.

3.4.1. Технології виробництва альтернативних авіаційних палив з невідновлюваної сировини

Незважаючи на існуюче різноманіття наявних сировинних ресурсів, на сучасному етапі розвитку традиційною та найбільш поширеною сировиною для виробництва авіаційних палив, так

само як і інших видів палива, все ще залишається нафта. У більшості, сучасні палива для ПРД отримують пряму перегонкою, також застосовуються методи деструктивної переробки нафти. У той же час, в деяких країнах широкого розповсюдження набули палива, що виготовляються переробкою такої ненафтової сировини, як вугілля та горючі сланці. Головним чином це обумовлено наявністю тих чи інших сировинних ресурсів на території країни-виробника палива. На рис. 3.4 схематично подано класифікацію варіантів виробництва палив для ПРД з різних видів сировини.

Як видно зі схеми, найбільша частина існуючих технологій все ще направлена на переробку різноманітних корисних копалин, таких як нафта, вугілля, природний газ та деякі інші.

Отримання авіаційного палива переробкою сланців. Досить відомою та налагодженою є технологія виробництва реактивного палива з нафтових сланців. Сланці являють собою тверді осадові породи, складені в основному карбонатними та силікатним мінералами, що містять твердий органічний матеріал відомий як кероген. В основі процесу переробки сланців полягає їх суха перегонка в реторті, в якій горючий сланець піддається піролізу за температури 480–540 °С. Кероген сланців розкладається з утворенням газу і пари сланцевої смоли. В подальшому сланцева смола може бути дистильована як традиційна нафта. Процеси сухої перегонки сланців можуть бути розділені на два типи – з прямим і непрямим нагріванням. Процес, в якому газ, що утворюється, згорає, є типовим процесом з прямим нагріванням. Реторта для сухої перегонки нафтових сланців є вертикальною фанерованою зсередини вогнетривкою цегляною камерою, в якій подрібнені сланці безперервно рухаються вниз і нагріваються до температури сухої перегонки гарячими газами, що піднімаються вгору і контактують з твердою речовиною. При цьому кероген термічно розкладається, виділяючи пари сланцевої смоли і горючі гази. Горючі гази з парами сланцевої смоли, просуваючись вгору, охолоджуються свіжим сланцем, що поступає зверху, виводяться з реторти і прямують в систему охолодження і розділення. Розділення сланцевої смоли здійснюється шляхом пропуску охолодженої пари і газів в спеціальному холодильнику, з якого частина горючого газу повертається в реторту сухої перегонки.

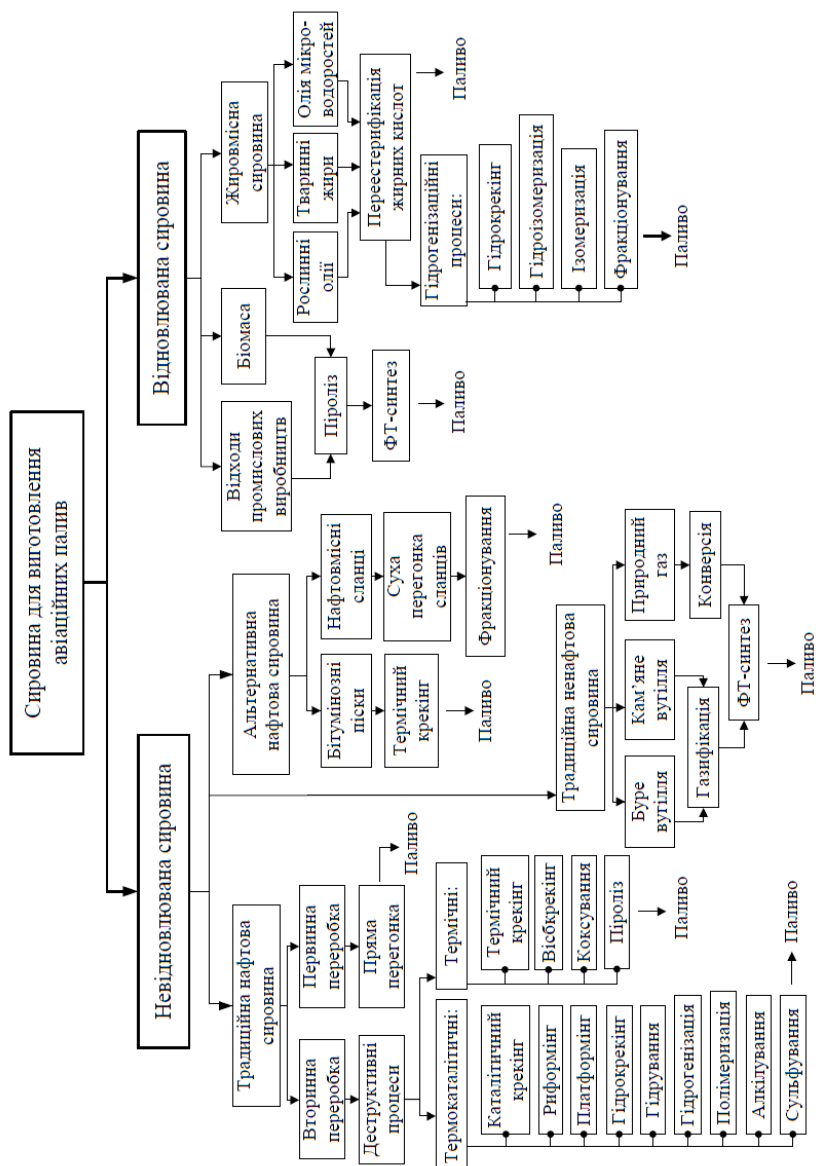


Рис. 3.4. Класифікація процесів виробництва авіаційного палива з різних видів сировини

Суша перегонка сланців може проводитися як після їх видобутку на поверхні, так і безпосередньо під землею в місцях природного залягання пластів. В останньому випадку нафтові сланці нагріваються під землею до температури сухої перегонки 450–540 °С спалюванням частини сланців або введенням горючих газів, наприклад природного газу, або перенагрітої водяної пари. В подальшому отриманий продукт викачується на поверхню. Основною перевагою підземної переробки горючих сланців є відсутність необхідності його видобування, транспортування до установки сухої перегонки і видалення зольної частини, що залишається у вигляді відходів.

Сланцева смола є добре придатною для виробництва середньо-дистилатних палив – дизельного та керосинового. Однак, вона відрізняється високою густиною, середнім вмістом сірки, азоту та ненасичених вуглеводнів. В'язкість і температура застигання сланцевих смол вищі, ніж у багатьох нафтових фракцій з тією ж густиною. Виробництво реактивного палива з нафтових сланців методом високотемпературної сухої перегонки вимагає гідроочищення з метою зниження вмісту зазначених органічних сполук та покращення його властивостей. Для цього використовуються такі додаткові процеси, як вісбрекінг, каталітичне гідроочищення або гідрокрекінг, що повинні здійснюватися на установці або поблизу установки сухої перегонки горючих сланців. Загалом, виробництво палива з нафтових сланців задовільної якості пов'язане з глибшою переробкою і більшими витратами, ніж виробництво відповідного виду палива з нафти. На сьогодні вже розробленою та затвердженою є технологія переробки горючих сланців, що включає фракціонування, сповільнене коксування і гідрокрекінг. Ця технологія схематично зображена на рисунку 3.5.

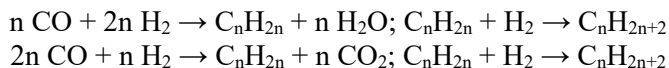
Паливо для ПРД, отримане переробкою нафтових сланців має середній вміст ароматичних вуглеводнів (10–25 %) та не викликає проблем пов'язаних зі змащувальними властивостями. Крім того воно проявляє високий рівень стабільності в процесі довготривалого зберігання. Авіаційні палива вироблені в процесі переробки сланців є погодженими для застосування як в цивільній так і військовій авіації.

Виробництво авіаційного палива синтезом Фішера-Тропша.

Однією з найбільш відомих технологій виробництва синтетичного палива є синтез або процес Фішера-Тропша (ФТ-процес). Вона є відомою ще з 20-х років XX сторіччя і широко застосовувалася під час II світової війни. Основною сировиною даної технології є кам'яне та буре вугілля. Крім того, наразі досить успішно використовується природний газ та біомаса. У основі технології полягає каталітичний процес гідрування монооксиду вуглецю з наступним утворенням різноманітних рідких вуглеводнів. ФТ-процес включає в себе чотири основні стадії. Першою є отримання синтез-газу, що представляє собою суміш водню та монооксиду вуглецю ($\text{CO} + \text{H}_2$). Якщо сировиною є природний газ, то процес може бути доповнений одним з двох методів: частковим окисненням або паровим риформінгом. Якщо як сировина використовується вугілля або біомаса, ця стадія доповнюється газифікацією, під час якої сировина реагує з насиченою водяною парою за високої температури та помірного тиску.

Синтез-газ, що виходить з вугільного газифікатора містить велику кількість вуглекислого газу та певний відсоток газоподібних речовин, утворених з домішок, що містяться в сировині, наприклад сірка. Як CO_2 , так і інші домішки спричиняють негативний вплив на перебіг ФТ-процесу. Тому другою важливою стадією є видалення небажаних речовин з потоку синтез-газу. Цей процес пов'язаний зі значними викидами CO_2 в атмосферу.

Третьою стадією є безпосередньо ФТ-синтез. Синтетичний газ проходить через залізні або кобальтові каталізатори з утворенням суміші різноманітних вуглеводнів від газів (таких як етан) до рідких вуглеводнів: алканів, олефінів, парафінів, спиртів та ін. Реакції протікають за такою умовною схемою:



Варіюючи умови перебігу реакції (каталізатори, температура, тиск, час) розподіл отримуваних вуглеводнів можливо змінювати для отримання більшої кількості, наприклад, керосинових фракцій.

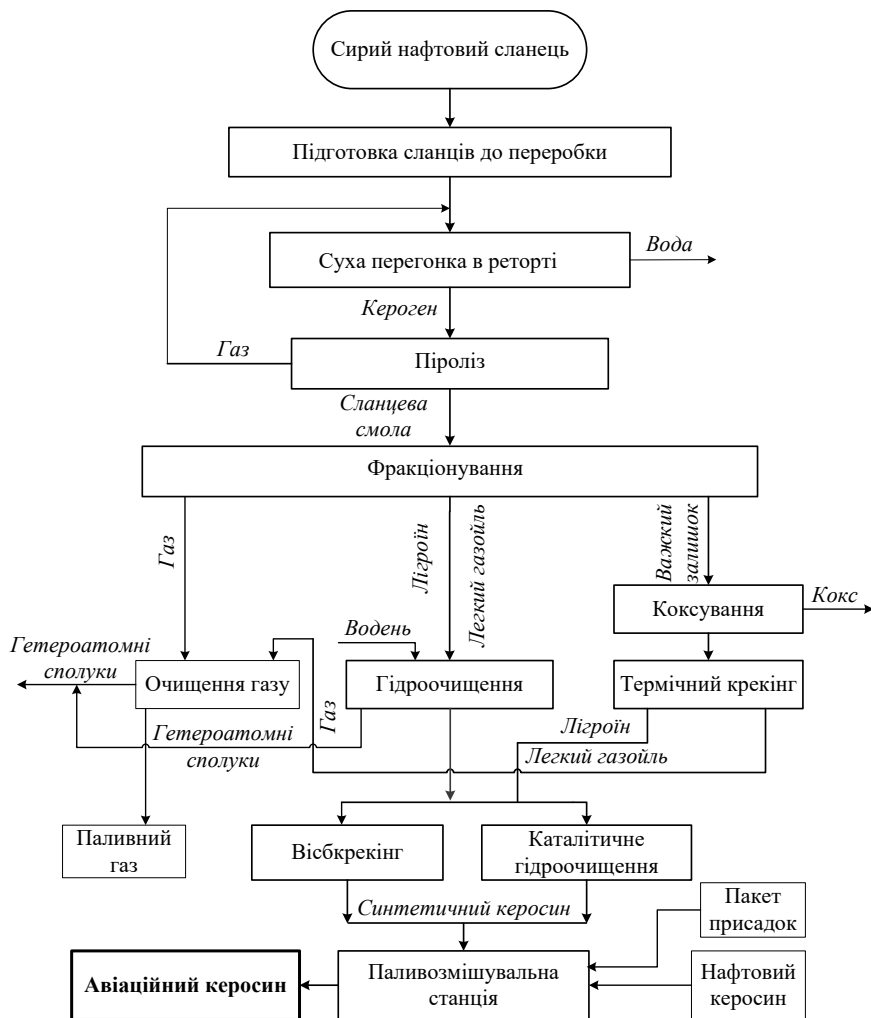


Рис. 3.5. Процес виробництва авіаційного палива переробкою сланців

Після завершення ФТ-синтезу синтезовані фракції вуглеводнів проходять процеси обробки, подібні до технологій виробництва авіаційних палив з нафтової сировини. Отримані

фракції відрізняються майже нульовим вмістом сірковмісних гетероатомних сполук. Більша частина отриманих продуктів йде на виробництво реактивних та дизельних палив. У складі палив отриманих ФТ-процесом переважають парафінові вуглеводні, в порівнянні з традиційним керосином, ароматичні вуглеводні – майже відсутні. Як наслідок, вони мають значно нижчу схильність до нагароутворення, а також є більш термостабільними. Крім того, реактивне паливо, отримане шляхом переробки вугілля має вищу теплоту згорання, отже його витрати під час польоту є меншими. Однак, результати проведених експериментів свідчать, що таке паливо має дещо гіршу змащувальну здатність, що вимагає введення присадок.

Сьогодні найбільш поширеною сировиною для отримання синтез-газу є буре та кам'яне вугілля. Технологія виробництва авіаційного керосину з вугілля відома як *CtL (coal to liquid)*. Технологія, подібна до *CtL*, але коли замість вугілля використовується природний газ відома як *GtL (gas to liquid)*. Дані технології є достатньо ефективними та продуктивними. Однак, об'єми викидів CO_2 у атмосферу під час реалізації технології *CtL* є навіть більшими у порівнянні з переробкою нафти у традиційний керосин.

Беручи до уваги світові тенденції виробництва альтернативних палив, вчені активно досліджують та розробляють можливості використання відновлюваної сировини для отримання палив для ПРД. Нова технологія *BtL (biomass to liquid)* також використовується для отримання синтез-газу ФТ-процесом. За цією технологією сировиною є біомаса (відходи деревообробної промисловості, солома, залишки рослин, що використовуються для отримання інших видів біопалив). Спочатку біомаса проходить процес піролізу, потім утворена рідка маса використовується для одержання синтез-газу і наступного ФТ-синтезу. Керосинові фракції, отримані технологією *BtL* дуже високої якості вільні від сірки та інших домішок. Однак, ця технологія ще є не досить налагодженою і потребує подальшого вивчення з метою її застосування у промисловому масштабі. На рисунку 3.6 представлено технологічну схему виробництва палив для ПРД ФТ-синтезом з використанням різних видів сировини.

Виробництво палив для ПРД процесом MtSynfuels. Найбільш об'ємним продуктом, що виробляється за технологією GtL є метанол. Він може використовуватися для подальшого синтезу бензину та багатьох інших кисневмісних сполук, наприклад естерів, що застосовують як присадки до палив. Як відомо, сьогодні в Німеччині розробляється технологія виробництва палива з метанолу в процесі MtSynfuels (Methanol to Synthetic fuels). Він включає в себе наступні процеси: Megamethanol – процес отримання синтез-газу та метанолу, MtP (Methanol to Propylene) або MtO (Methanol to Olefins) – синтез пропілену або олефінів, та олігомеризація отриманих олефінів, з їх наступним гідруванням та отриманням синтетичних палив. На рисунку 3.7 представлено технологічну схему виробництва палив для ПРД процесом MtSynfuels.

Процес MtSynfuels є альтернативою ФТ-процесу і відрізняється більш високим виходом необхідних продуктів та меншими цільовими витратами. Крім того для виробництва авіаційного палива процесом MtSynfuels аналогічно до ФТ-процесу для отримання синтез-газу застосовується технологія VTL.

Як відомо, реалізація технологій переробки як природного газу так і вугілля призводить до значних викидів CO_2 і багатьох інших шкідливих речовин. Так, у процесі виробництва синтетичного авіаційного палива з природного газу обсяг утворюваних парникових газів у 1,8 разів, а з вугілля у 2–2,4 рази вище ніж у результаті переробки нафти. Крім особливостей технологічного процесу переробки вугілля, важливе значення має також його компонентний склад. Наприклад, використання бітуминозного вугілля як сировини супроводжується викидами метану, що також є парниковим газом. Варто відзначити, що у процесі згорання палива отриманого з природного газу викиди оксидів сірки відсутні.

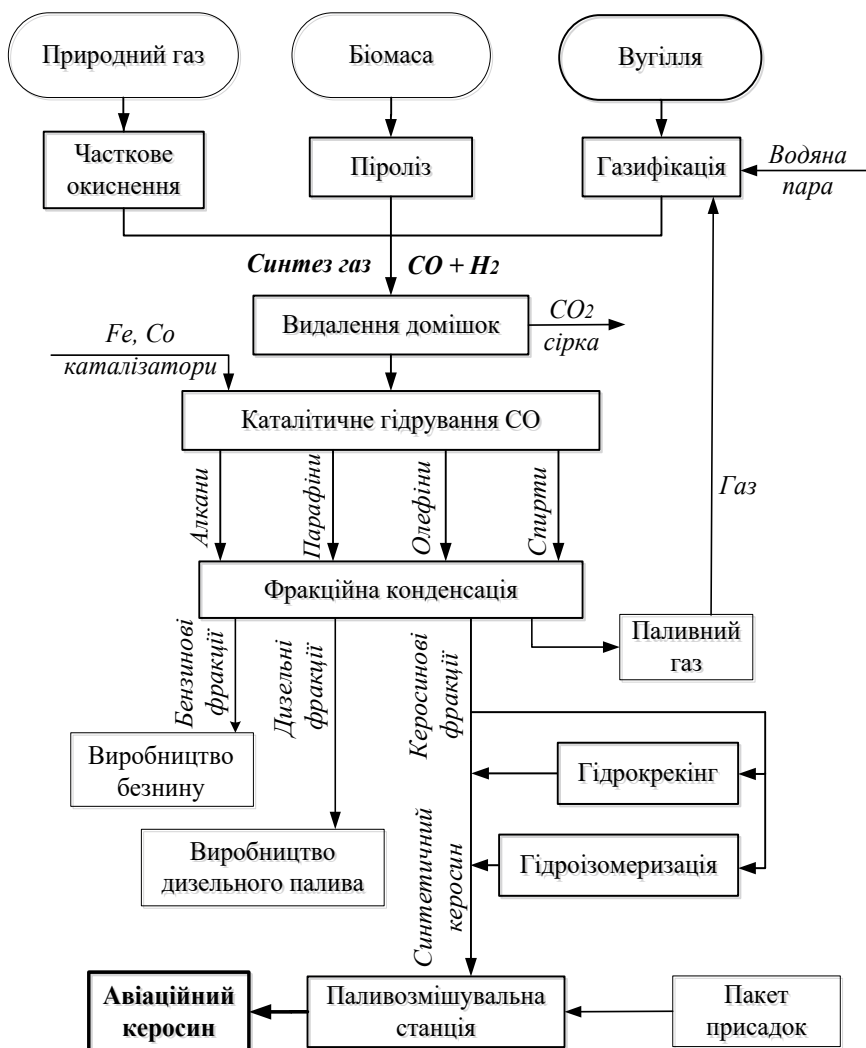


Рис. 3.6. Процес виробництва палив для ПРД ФТ-синтезом з різних видів сировини

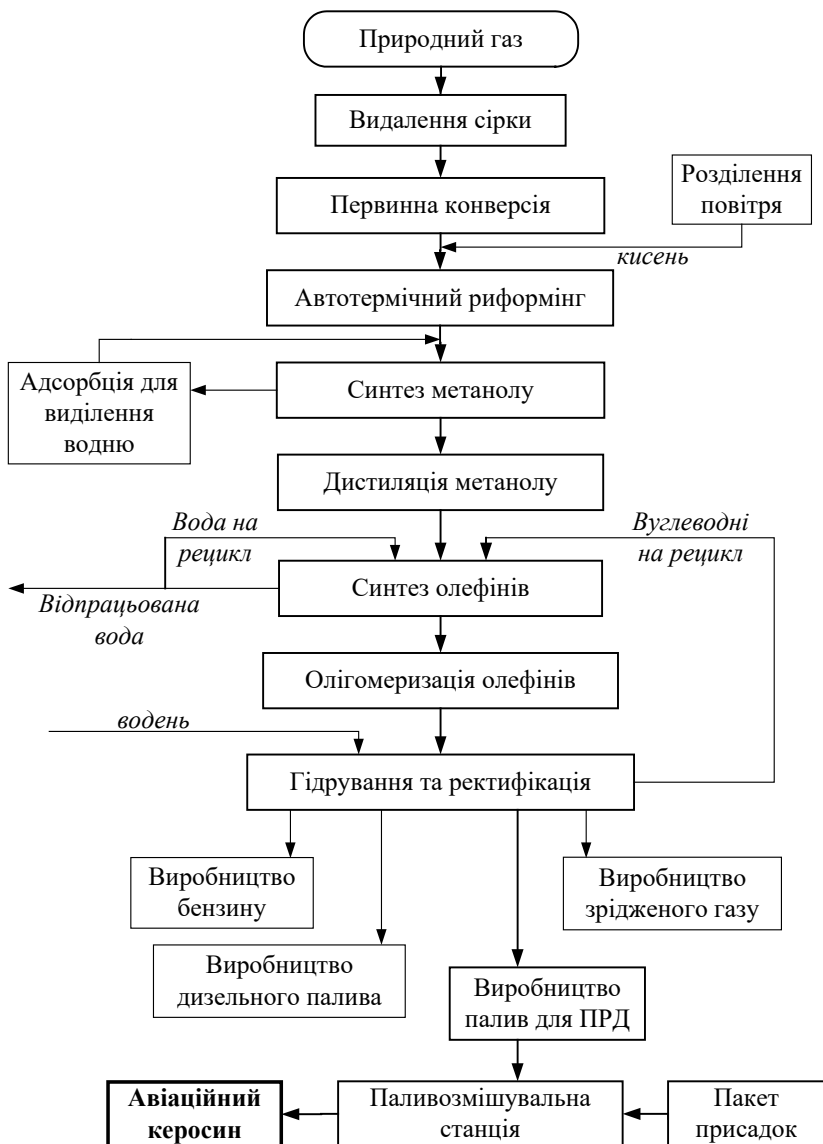


Рис. 3.7. Процес виробництва палив для ПРД «MtSynfuels»

3.5.2. Технології виробництва альтернативних авіаційних палив з відновлюваної сировини

В останні роки різноманітні відновлювані ресурси широко вивчаються з метою переробки їх на палива для ПРД. Як вже зазначалося, основними перевагами відновлюваної енергії є її природне походження, швидкість відновлення, відсутність додаткових викидів CO₂ в атмосферу, менший негативний вплив на довкілля, легкість розкладу у природному середовищі. Загалом, застосування біомаси як сировини для отримання палив має на меті дві глобальні цілі: подолання невинної зміни клімату, спричиненої викидами вуглекислого газу та зменшення залежності від нафтових ресурсів (зокрема в авіатранспортній галузі). Проте, різні види сировини значно відрізняються один від одного. Основна відмінність визначається їх хімічною природою: лігноцелюозна біомаса, біомаса з високим вмістом жирів (рослинні олії, тваринні жири), біомаса з високим вмістом цукрів та крохмалю (картопля, кукурудза, цукрові буряки, та ін.). На сьогодні існує велике різноманіття технологій переробки біомаси: деякі з них вже широко поширені, а деякі лише на стадії розробки.

Біопалива *першого* покоління, що сьогодні є широко доступними для використання, отримують з традиційних сільськогосподарських культур. Так палива на основі жировмісної сировини виготовляють естерифікацією таких традиційних олійних культур як ріпак, соняшник, соя та ін.. Етанол, виробляють ферментацією цукрів або крохмалю, які містяться у рослинній біомасі.

Біопалива *другого* покоління виготовляються переробкою рослин повністю, а саме – лігноцелюлози. Ця сировина є доступною у великих кількостях у різноманітних формах: деревина, сіно, відходи деревообробки, залишки рослин та ін. Палива другого покоління не є конкурентами харчової промисловості. Наразі вивчається два основних процеси переробки сировини: біохімічна конверсія та термохімічна.

Біопалива *третього* покоління передбачають застосування вже відомих технологій для нових видів жировмісної сировини, що не конкурують з харчовою промисловістю (ятрофа, рижій), а також для олій, що виробляються мікроводоростями. Біопалива третього покоління можуть виготовлятися за допомогою автотрофної

водоростевої біомаси (що розвивається завдяки фотосинтезу), або гетеротрофних процесів (з додаванням додаткового вуглецю, наприклад цукрів). Деякі мікроводорості здатні акумулювати CO_2 , отриманий у результаті фотосинтезу у вигляді ліпідів, що складають близько 80 % сухої маси. Однак, сьогодні низка перепон все ще стримують економічну та екологічну життєздатність технології отримання біопалив з мікроводоростей (вартість процесу виробництва, енергетичні потреби, прибуток, збирання «врожаю» та ін.).

Поділ біопалива на покоління для багатьох експертів і вчених є виключно умовним і недосконалим. Тому, на провідних ринках світу не використовується класифікація біопалива за поколіннями.

З часу перших розробок альтернативних авіаційних палив було проведено безліч експериментальних досліджень та запропоновано низку технологій, що дозволяють отримувати високоякісне паливо для ПРД біологічного походження.

Виробництво палив для ПРД гідроочищенням жировмісної сировини. Отримання біокомпонентів технологією *HEFA* (*hydroprocessed esters and fatty acids*) є достатньо складним багатостадійним процесом. Принципова схема виробництва авіаційного палива з жировмісної сировини представлена на рис. 3.8.



Рис. 3.8. Схема виробництва авіаційного палива з жировмісної сировини

На підготовчому етапі жировмісна сировина (водорості, різноманітні рослинні олії, жири тваринного походження) очищується від різноманітних домішок звичайними способами очистки олій. Надалі сировина пресується з метою виділення жирів.

На наступному етапі олії, що складені тригліцеридами та у невеликій кількості вільними жирними кислотами гідрогенізуються, завдяки чому перетворюються на коротші парафінові вуглеводні дизельної фракції. Завдяки взаємодії з воднем, відбувається деоксигенація молекул олій, а олефіни

перетворюються на парафіни. Усунення атомів кисню підвищує теплоту згорання палива, а видалення олефінів покращує його термічну та окисну стабільність.

На останній стадії отримані вуглеводні піддаються процесам гідроочищення, гідрокрекінгу, гідроізомеризації, а також полімеризації. У результаті дизельні вуглеводневі ланцюги розриваються на більш короткі та розгалужені молекули, що є типовими для кerosинових фракцій (рис. 3.9). Кінцевим продуктом є гідрогенізований синтетичний парафіновий керосин (*Bio-SPK*); він містить молекули аналогічні тим, що присутні у нафтовому паливі для ПРД. Такий керосин може додаватися до традиційного нафтового палива для ПРД у кількості до 50 %.

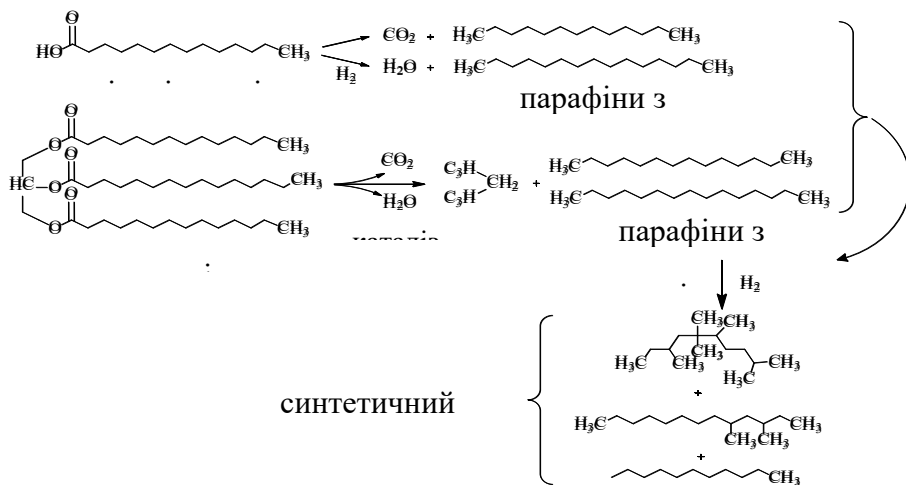


Рис. 3.9. Схема гідроконверсії жировмісної сировини

Серед переваг такого біопалива розробники технології зазначають, те що його якість не залежить від виду та якості вихідної сировини. Паливо являє собою синтетичні керосинові фракції, не містить сірки та ароматичних вуглеводнів. Його низькотемпературні властивості можуть регулюватися відповідно до місцевого клімату шляхом підвищення жорсткості режиму гідроочищення або додаткової каталітичної обробки. Загалом, такі

палива є дуже якісними, володіють властивостями, що подібні до традиційних палив для ПРД.

Ще однією з переваг розглянутої технології є можливість використання відходів виробництва. Так, тверді залишки, що утворюються на стадії первинної обробки сировини (шрот, луска, рослинне стебло) можуть слугувати для виробництва твердого органічного палива, тримання різноманітних добрив, або ж як корм для тварин.

Проте, паливо має певні недоліки. За хімічною будовою керосин є сумішшю синтетичних парафінових вуглеводнів, що містяться в традиційному нафтовому паливі для ПРД, а отже потрапляючи у навколишнє середовище, має життєвий цикл, аналогічний до традиційних нафтопродуктів, і спричиняє негативний вплив на об'єкти довкілля.

Виробництво палив для ПРД естерифікацією жиромісної сировини. Одною з перших, хто розпочав дослідження та розроблення альтернативних авіаційних палив була група вчених з Бразилії під керівництвом доктора Е. Паренте. Ще у 1980-х рр. ними було запропоновано використання біокеросину як альтернативи традиційному нафтовому паливу для ПРД. Технологія виробництва біокеросину передбачає процес переестерифікації різноманітних рослинних олій або тваринних жирів у присутності метилового спирту з наступним виділенням певної фракції естерів жирних кислот (рис. 3.10). В роботах було відмічено позитивний вплив нового палива на характеристики роботи двигунів ПС. Крім того, відзначено покращення екологічних властивостей у порівнянні з традиційними паливами для ПРД.

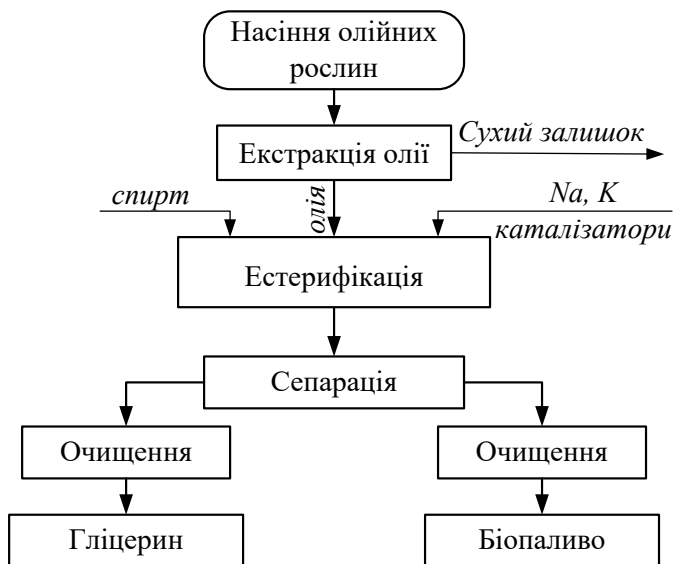


Рис. 3.10. Схема виробництва біопалива перестерифікацією жиромісної сировини

Проте згодом ця технологія була розкритикована як науковцями, так і потенційними споживачами біокеросину. В роботах вказувалося на незадовільні низькотемпературні властивості біокеросину. Пізніше вченими було висловлено думку, щодо нераціональності використання біокеросину. Перш за все, це було пов'язано з сировиною, що використовувалася для виробництва біокеросину. Так, соняшник, соя та в деякій мірі ріпак є сільськогосподарськими культурами і в майбутньому можуть становити конкуренцію харчовій промисловості. З часу перших розробок даного виду біопалива було проведено безліч експериментальних досліджень і в останні роки розглянута технологія набула нового розвитку та поширення.

Сьогодні дослідниками Національного авіаційного університету пропонується використання удосконаленої технології етерифікації жиромісної сировини, що передбачає додаткову стадію очистки. Було використано класичний метод термічної

перегонки, що широко та ефективно застосовується у сучасній хімічній технології. На сьогодні найбільш м'якими методами термічної перегонки вважаються перегонка під вакуумом молекулярна дистиляція та перегонка на тонких плівках. Перегонка під вакуумом або вакуумне фракціонування є найпростішим у реалізації. Принципом фракціонування є розділення суміші завдяки різним температурам кипіння її компонентів. Суть даного методу полягає у дистиляції (розділенні) рідини на установці вакуумної перегонки за пониженого тиску. Так як основна частина естерів олій мають температуру кипіння близько 300 °C та є схильними до термічної деструкції за більш високих температур, процес вакуумного фракціонування проводиться на установці для вакуумної перегонки за тиску 0,4 – 0,7 кПа. Такі умови дозволяють уникнути термічної деструкції молекул естерів жирних кислот, що має місце при атмосферній перегонці. Таким чином досягається кращий ступінь очистки біокомпонентів (рис. 3.11).

Загалом можна виділити три основні етапи процесу вакуумного фракціонування:

- відділення етилового спирту, на початковій стадії перегонки;

- відділення естерів жирних кислот. Так як вони є сполуками одного класу, основна їх маса википає у досить вузькому діапазоні температур, що становить 355–380 °C.

- відділення нетекучого залишку, що залишається після завершення процесу перегонки.

Основний продукт, що отримується у результаті вакуумного фракціонування, тобто біокомпонент, додатково фільтрується. Продукт після очищення практично не містить таких небажаних компонентів як спирт, гліцерин, моно-, дигліцериди, вільні жирні кислоти та інших супутніх речовин, а отже суттєво підвищується якість кінцевого продукту. Удосконалена технологія отримання біокомпонентів вакуумним фракціонуванням дозволяє використовувати їх як компоненти палив для ПРД у кількості до 30 %. Даний спосіб має низку переваг у порівнянні з іншими відомими способами. Він є досить простим у реалізації, крім того не потребує застосування додаткових реагентів, що підвищують собівартість продукту.

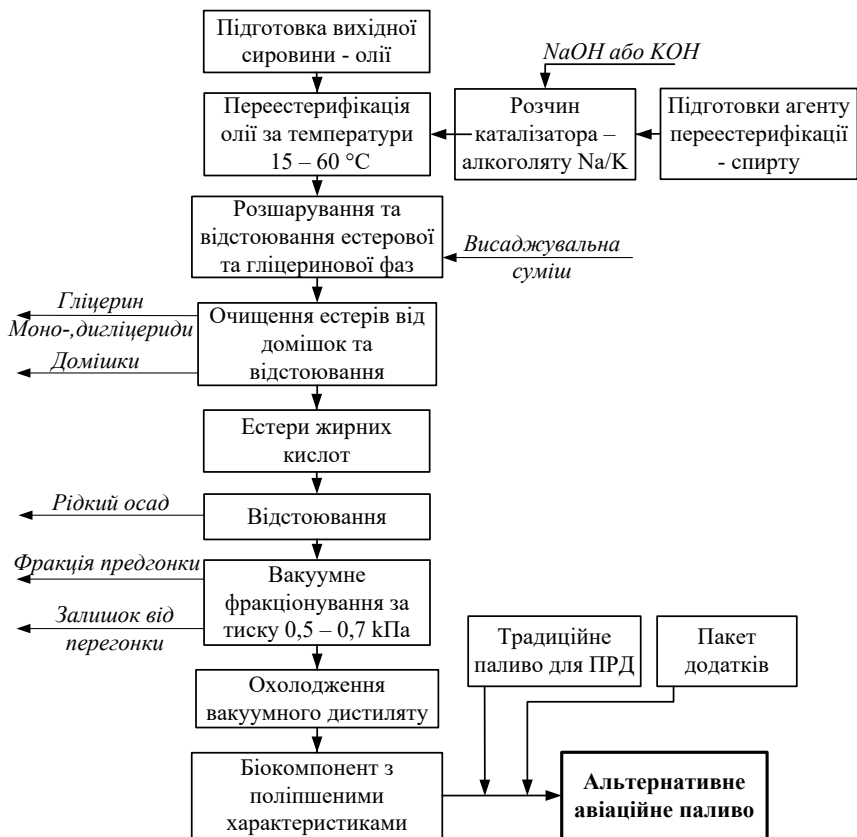


Рис. 3.11. Схема способу отримання біокомпонентів альтернативних авіаційних палив

Як сировину для виробництва біокомпонентів використовують різноманітні високоолійні сорти рослин. Так, у залежності від регіональних та кліматичних умов країни-виробника у якості сировини можуть використовуватися такі культури як ріпак, ятрофа, пальма, ріжій та багато інших рослин. Крім того, сировиною для біокомпонентів можуть слугувати мікроводорості, а також різноманітні тваринні жири, що є відходами тваринництва та харчової промисловості.

Результати експериментальних досліджень показали, що палива для ПРД, що містять у своєму складі біокомпоненти володіють високими протизношувальними властивостями, що позитивно впливає на конструктивні деталі ПРД.

Біокеросин володіє виключно низьким вмістом сірки, що забезпечує кращу якість відпрацьованих газів літаків. Крім того може бути значно знижено викиди CO_2 та покращено загальний баланс вуглекислого газу в атмосфері. Компоненти палив для ПРД, отримані естерифікацією жировмісної сировини є екологічно безпечними: не становлять шкоди здоров'ю людини та довкіллю.

Виробництво палив для ПРД газифікацією біомаси. Як згадувалося раніше, технологія *BtL* використовується для отримання альтернативного авіаційного палива. Як сировина можуть використовуватися різноманітні види біомаси, такі як відходи деревини, солому, залишки рослин, тощо. На початковій стадії сировина піддається розщепленню за високих температур – піролізу. Надалі з отриманої рідкої маси отримують синтез-газ, що є основою ФТ-процесу. Паливо для ПРД, одержане технологією *BtL* є повністю синтетичним і за своїми властивостями подібне до палива, отриманого з вугілля.

Безперечно, основною перевагою такої технології є її невибагливість до сировини. Для виготовлення палива може використовуватися практично будь-яка рослинна біомаса. Завдяки такому природному походженню, наприкінці повного життєвого циклу палив для ПРД з біомаси сумарна кількість викинутого в повітря вуглекислого газу буде знижуватися.

Виробництво палив для ПРД конверсією спиртів. Одна з нових технологій *Alcohol-to-jet* (авіаційне паливо зі спиртів) передбачає процес ферментації целюлози та цукрів. Відходи сільськогосподарської промисловості (солома, трава, залишки деревини, та ін.) перероблюються різноманітними мікробами, дріжджами або бактеріями у паливо для ПРД безпосередньо або через низку реакцій конверсії спиртів. На думку авторів, така технологія потенційно є дешевшою ніж розглянуті вище. По-перше, сировина для виробництва є легко доступною та недорогою, а по-друге, процес виробництва не потребує великих затрат енергії.

Виробництво палив для ПРД піролізом відходів. Ще однією новою технологією є піроліз біомаси (промислових, побутових або сільськогосподарських відходів), що передбачає її нагрівання до високих температур з подальшим отриманням жиромісної сировини. Надалі вона переробляється у паливо для ПРД. Окрім отримання біопалива, перевагою цієї технології є вирішення проблеми поводження з відходами, що у разі звичайного розкладання є додаткових викидів CO₂ в атмосферу.

Сьогодні більшість вчених сходяться на думці, що найперспективнішими серед існуючих технологій виробництва палив для ПРД з відновлюваної сировини є дві:

- *biomass to liquid (BtL)* – паливо з біомаси;
- *hydroprocessed esters and fatty acids (HEFA)* – гідроочищені естери та жирні кислоти.

Слід відзначити, що наразі описані вище технології було визнано не лише вченими, а й виробниками та експлуатантами авіаційної техніки. Американською спілкою випробувань матеріалів – *American Society for Test Material (ASTM)* їх визнано поки що єдиними технологіями за якими можуть виготовлятися компоненти палив для ПРД з нетрадиційної сировини. Ці компоненти відповідають вимогам міжнародного стандарту ASTM D7566, Наразі палива отримані за даними технологіями відносять до альтернативних палив другого покоління.

Стандарт ASTM D7566 охоплює виробництво палива для ПРД що складається з сумішей традиційних та синтетичних компонентів. Він визначає окремі види палива для ПРД для цивільної авіації, що містить синтезовані вуглеводні, а також описує палива, що є задовільними для застосування на повітряних суднах. Стандарт призначений для визначення якості палив для ПРД та його синтетичних компонентів для контрактного продажу на усіх стадіях їх транспортування. Даним стандартом передбачено дві марки палива для ПРД: Jet A та Jet A-1 – дистильатні палива типу керосину з відносно високою температурою спалаху. Відповідно до цього стандарту паливо для ПРД має складатися з: традиційного палива Jet A або Jet A-1, що відповідають стандарту D1655, та до 50 % об'єму синтетичного компоненту, визначеного даним стандартом. Стандартом ASTM D7566 передбачено лише дві технології, за якими отримуються синтетичні компоненти.

1. Гідрогенізований синтетичний парафіновий керосин, що повністю отриманий із синтетичного газу синтезом Фішера–Тропша з використанням залізних або кобальтових каталізаторів. Подальша обробка продуктів має включати гідроочистку, гідрокрекінг або гідроізомеризацію; крім того, можуть застосовуватися інші традиційні процеси переробки, такі як полімеризація, ізомеризація, або фракціонування.

2. Гідрогенізований синтетичний парафіновий керосин, що повністю отриманий гідрогенізацією та деоксигенацією ефірів жирних кислот та вільних жирних кислот. Подальша обробка продуктів має включати гідрокрекінг, гідроізомеризацію, ізомеризацію або фракціонування, або їх комбінацію чи інші традиційні процеси переробки.

Аналізуючи сучасний стан нафтопереробної галузі та екологічну ситуацію у світі, що постійно погіршується, перехід на альтернативні авіаційні палива є необхідним та очевидним. Як було сказано, сьогодні існує велике різноманіття технологій та сировинних ресурсів для отримання синтетичних та біопалив. Наразі деякі з них вже отримали нормативну базу, що регулює їх виробництво та застосування у цивільній авіації. У кінцевому рахунку, незалежно від виду сировини та технології, що застосовується, альтернативні авіаційні палива мають володіти наступними характеристиками:

- світове поширення з метою забезпечення міжконтинентальних польотів. Це потребує впровадження вимог до виробництва альтернативних палив відповідної якості на міжнародному рівні;

- значний термін служби ПС (у середньому понад 30 років) потребує сумісності альтернативних палив та традиційних без необхідності внесення кардинальних змін у конструкції двигунів або ПС;

- альтернативні палива мають пройти жорсткі процедури сертифікації для демонстрації їх повної сумісності з усіма деталями двигунів та матеріалами під час контакту з паливом (від транспортування та розподілу до згорання);

- альтернативні палива мають забезпечувати жорсткі режими роботи, адже ПС працюють у широкому діапазоні зовнішніх умов, таких як тиск та температура.

3.5. Водневе паливо

Водень – один з найбільш поширених елементів на Землі. У земній корі з кожних 100 атомів 17 – атомів водню. Він становить приблизно 0,88 % від маси земної кулі (включаючи атмосферу, літосферу і гідросферу). Якщо згадати, що води на земній поверхні більше $1,5 \cdot 10^{18} \text{ м}^3$ і що масова частка водню у воді становить 11,19 %, то стає ясно, що сировини для одержання водню на Землі – необмежена кількість. Водень входить до складу нафти (10,9–13,8 %), деревини (6 %), вугілля (буре вугілля – 5,5 %), природного газу (25,13 %). Водень входить до складу всіх тваринних і рослинних організмів. Він міститься і у вулканічних газах. Основна маса водню потрапляє в атмосферу в результаті біологічних процесів.

Перехід транспорту, промисловості, побуту на спалювання водню – це шлях до радикального вирішення проблеми охорони атмосферного повітря від забруднення оксидами вуглецю, азоту, сірки, вуглеводнями.

Водень як паливо і хімічна сировина володіє і рядом інших найцінніших якостей. Універсальність водню полягає в тому, що він може замінити будь-який вид палива в самих різних галузях енергетики, транспорту, промисловості, у побуті. Він здатний замінити бензин в автомобільних двигунах, гас в реактивних авіаційних двигунах, ацетилен в процесах зварювання та різання металів, природний газ для побутових та інших цілей, метан у паливних елементах, кокс у металургійних процесах (пряме відновлення руд), вуглеводні в ряді мікробіологічних процесів. Водень легко транспортується по трубах і розподіляється по дрібним споживачам, його можна отримувати і зберігати в будь-яких кількостях. У той же час водень є сировиною для ряду найважливіших хімічних синтезів (аміаку, метанолу, гідразину), для одержання синтетичних вуглеводнів.

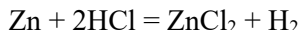
Водень практично не зустрічається в природі в чистій формі і його необхідно вилучати з інших сполук за допомогою різноманітних хімічних методів. Різноманітність способів отримання водню є однією з головних переваг водневої енергетики, так як підвищує енергетичну безпеку і знижує

залежність від окремих видів сировини. До таких способів відносяться: парова конверсія метану і природного газу, газифікація вугілля, електроліз води, піроліз, часткове окислення, біотехнології.

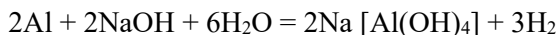
Всі методи отримання водню можна розділити на лабораторні та промислові.

У лабораторних умовах в даний час застосовується:

– взаємодія активних металів з кислотами-неокисниками:

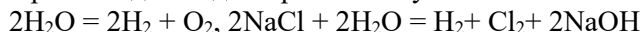


– взаємодія алюмінію (або цинку) з водними розчинами лугів:

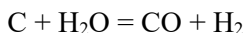


У промисловості застосовується:

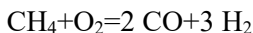
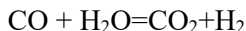
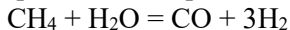
– електроліз води і водних розчинів лугів і солей:



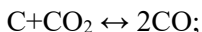
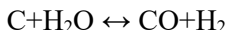
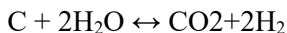
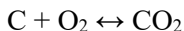
– пропускання парів води над розпеченим вугіллям при 1000 °С:



– парова і парокислородної конверсія метану:



– газифікація вугілля:



– використання ядерної енергетики;

– використання альтернативних джерел енергії.

З розвитком виробництва водню у великих масштабах зазнали змін і методи його отримання. Так, залізо-паровий процес, газифікація твердого палива і виділення водню з коксового газу, що утворюється, поступилися місцем більш економічним новим способам. Однак старі методи і в даний час ще продовжують застосовуватися в промисловості в невеликих масштабах.

До теперішнього часу технології великомасштабного виробництва і переробки водню є добре освоєними (рис. 3.11) і становлять 50 млн т (щорічно збільшується на 10 %). Слід

зазначити, що тільки 62 % водню виробляють як цільовий продукт, решта 38 % є побічним продуктом інших виробництв (нафтопереробка, коксохімія та інші). До останніх також відноситься майже весь водень, що в даний час одержують електролізом (виробництво хлору, хлоратів, перекису водню і каустичної соди).

При світовому виробництві хлору близько 25 млн т на рік як побічний продукт отримують $\sim 0,7$ млн т водню (~ 7 млрд м^3) в рік. Попутний водень від виробництва хлору і інших електрохімічних виробництв частково використовується в промисловості, а частково спалюється в котельнях або викидається в атмосферу.

Розглядається можливість використання отриманого таким чином водню не тільки як хімічної сировини для задоволення потреб традиційних споживачів водню, але і для заміни природного газу або нафтових фракцій, що використовуються як енергетична сировина. Ще одним джерелом водню може бути його емісія із земних надр. В Ісландії водень в деяких місцях виринає з-під землі просто зі свистом; ще одна із зон близького залягання шарів металогідратів – в Ізраїлі, і ще одна – штат Невада в США. Тобто, на думку геологів, в атмосферу Землі безперервно виділяється величезна кількість газоподібного водню без будь-якого антропогенного втручання.

У випадку використання в подальшому водню як енергоносія, отримання енергії було б пов'язано з окисненням водню до води без виділення екологічно шкідливих речовин.

Структура споживання водню показана на рис. 3.12. Як видно з діаграми, основними споживачами водню (95 %) є хімічна промисловість та нафтопереробка. Водень є ключовим елементом у виробництві мінеральних добрив (отримання аміаку). Визначальне значення має використання водню в численних процесах органічного синтезу, як у вигляді метанолу, так і безпосереднього реагенту. Особливе місце водень займає в нафтопереробці (гідрокрекінг, гідроочищення), сприяючи збільшенню глибини переробки сирової нафти і покращенню якості кінцевих продуктів – вуглеводневих палив з підвищеною теплотворною здатністю і нижчими шкідливими викидами від їх спалювання.

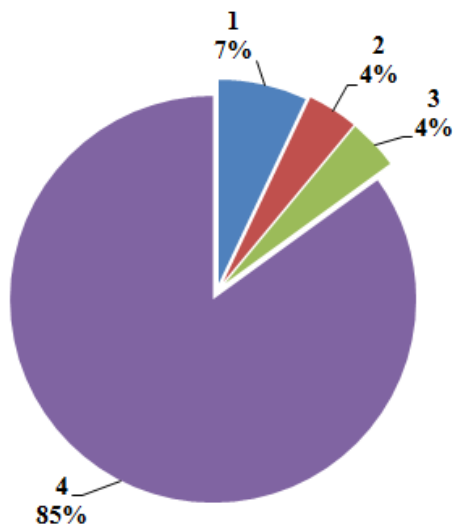


Рис. 3.11. Структура світового виробництва водню:
 1 – нафта, 2 – вугілля, 3 – електроліз, 4 – природний газ

Більше половини споживаного в світі водню на сьогоднішній день використовується як хімічна сировина. Непряме використання іншої частини в енергетичних цілях головним чином відноситься до забезпечення нагріву для проведення технологічних процесів, як правило, з одночасною участю водню в хімічних реакціях (гідрування, відновлення та інші). Відновлюючу дію водню широко застосовують в порошковій металургії, металообробці, виробництві скла, синтетичних рубінів та інших (загалом близько 2 % від загального споживання водню). Застосування водню в мікроелектроніці головним чином пов'язано з отриманням кремнію через відновлення SiCl_4 .

Основним споживачем водню як палива є космонавтика. Комбінація «рідкий водень (паливо) – рідкий кисень (окиснювач)» забезпечує максимальне виділення енергії на одиницю ваги, що є визначальним критерієм для аерокосмічних програм.

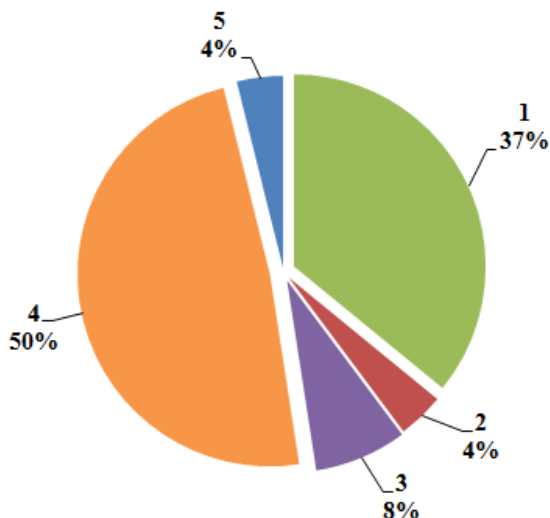


Рис. 3.12. Структура світового споживання водню:
 1 – нафтопереробка, 2 – космос, 3 – метанол, 4 – аміак, 5 – інші.

Слід відмітити, що зі значного обсягу виробленого водню, тільки 5 % в даний час є комерційним продуктом, що продається від виробників споживачам. Як правило, великі споживачі водню самі виробляють його для власних потреб, що викликано економічними факторами (високі ціни на товарний водень), а також технічними труднощами забезпечення зберігання і транспортування великих кількостей водню. Світова торгівля воднем ведеться в обмежених масштабах. Вона найбільш активна в Західній Європі, де є невелика, але розвинена мережа трубопроводів для перекачування водню між підприємствами з його виробництва і споживання. Водень не є біржовим товаром, і говорити про його світові ціни важко, оскільки ціни під час поставок є контрактними і залежать від багатьох умов, у тому числі – від необхідної чистоти водню як продукту.

Удосконалення водневих технологій пов'язане з рішенням трьох груп проблем, пов'язаних з розробкою ефективних, економічно вигідних і безпечних процесів і обладнання, які забезпечують виробництво водню, його використання, а також – компактне зберігання. Відповідно, роботи в області водневих

технологій розвиваються переважно за трьома напрямками: виробництво водню, зберігання і транспортування водню, використання водню.

Розглянемо докладніше основні методи промислового отримання водню. Для виробництва водню необхідно розірвати його хімічні зв'язки в вуглеводнях або воді і виділити його з реакційної суміші.

3.5.1. Отримання водню за допомогою альтернативних джерел енергії

Сонячна теплова енергія. Вода розпадається на водень і кисень при температурі 2730 °С. Досягти цієї температури можна за допомогою параболічного відбивача або лінзи, яка фокусує сонячні промені. За словами президента американської Водневої Асоціації, 31000 км² в сонячному кліматі може забезпечити достатньо сонячного світла для забезпечення енергією всіх США.

Однак кількість води, необхідна щороку, дорівнювала б об'єму озера Мід позаду Дамби Ховер. Морської води було б достатньо. При спалюванні однієї тонни водню виробляється 9 т води. 50 % сонячного світла перебувають в високотемпературному інфрачервоному спектрі. Тепловий розпад води видається найпростішим методом отримання водню з води.

Параболічна тарілка може бути легко і досить дешево виготовлена. Сонячне випромінювання зосереджено в точці, що розташовується вище центру тарілки. Її називають «точкою фокусування» сонячного концентратора. Тарілка зроблена з термостійкого матеріалу. Нагрівається рідина, що циркулює, та повертає турбіну для виробництва електроенергії. Чим більше діаметр тарілки, тим більше кількість виробленої енергії.

Проект сонячного концентратора, що складається з параболічної тарілки, парової турбіни (двигуна Стирлінга) і електрогенератора успішно реалізовано в США. Параболічний концентратор діаметром 3 м виробляє 4–5 кВт; 6,4 м – 25–30 кВт. ККД таких установок складає 28–30 %. У штаті Арізона влітку можна отримати за допомогою таких установок 1,2 кВт год/м²; взимку – 0,62 кВт год/м². Експлуатаційні витрати – 5,00 дол/кВт. На думку вчених, це – «доведений та ефективний спосіб отримати сонячну електрику, розроблену спеціально для промисловості».

За допомогою сонячних концентраторів можна забезпечувати необхідним теплом термохімічні цикли та інші високотемпературні методи отримання водню. Теоретично сонячний концентратор дозволяє здійснювати прямий термічний розклад води – термоліз.

Такі відновлювані енергоресурси, як енергія вітру, теплота верхніх шарів океану, гідроенергія, геотермальна енергія і енергія припливів можуть бути використані для отримання водню після перетворення енергії первинних джерел в електроенергію.

Енергія вітру. Департамент енергетики США (DOE) та Національна дослідницька енергетична лабораторія (NREL) з 2006 р. проводить дослідницькі роботи «Водень з вітру». Побудовано водневу заправну станцію з вітрогенератором потужністю 100 кВт. Дослідження мають на меті порівняння методів виробництва водню гідролізом з енергії вітру, а також з енергії, отриманої з промислової електромережі. Вітро-гідролізну систему встановлено в Національному вітряному технологічному центрі, що належить NREL. Буде порівняно різноманітні технології гідролізу води, зберігання, їх вартості.

Згідно з розрахунками NREL в найближчому майбутньому собівартість виробництва водню з енергії вітру складе 4,03 дол./кг водню. У довгостроковій перспективі собівартість водню знизиться до 2,33 дол./кг водню. США зможуть щорічно виробляти з енергії вітру 4 класу та вище 154 млрд кг водню.

Отримання водню з відходів. Наразі розробляються різноманітні нові технології виробництва водню. Наприклад, у жовтні 2006 р. Лондонське водневе партнерство опублікувало дослідження щодо можливості виробництва водню з муніципальних та комерційних відходів. Згідно з дослідженнями, в Лондоні є можливість щодня виробляти 141 т водню як піролізом, так і анаеробним зброджуванням відходів. З муніципальних відходів можна виробляти 68 т водню. 141-ї т водню досить для роботи 13750 автобусів з двигунами внутрішнього згорання, що працюють на водні. У Лондоні в даний час експлуатується більше 8000 автобусів.

Отримання водню хімічною реакцією води з металами. У 2007 р Університет Purdue (США) розробив метод виробництва водню з води за допомогою алюмінієвого сплаву. Сплав алюмінію

з галієм формується в пелети. Пелети поміщаються в бак з водою. В результаті хімічної реакції виробляється водень. Галій створює навколо алюмінію плівку, що запобігає окисненню алюмінію. У результаті реакції утворюється водень та оксид алюмінію. З одного фунта алюмінію можна отримувати більше 2 кВт год енергії від спалювання водню та більше 2 кВт год теплової енергії під час реакції алюмінію з водою. В майбутньому, за використання електроенергії атомних реакторів 4-го покоління, собівартість водню, що одержуватимуть під час реакції, стане еквівалентною ціні бензину – близько 3 дол./галон. Автомобіль середнього розміру з двигуном внутрішнього згорання зі 158 кг алюмінію на борту може проїхати 560 км. У майбутньому вартість поїздки складатиме 63 дол., включаючи вартість відновлення оксиду алюмінію на атомній електростанції 4-го покоління.

Із біомаси водень отримують термохімічним або біохімічним способами. За термохімічного методу біомасу нагрівають без доступу кисню до температури 500–800 °С (для відходів деревини), що набагато нижче температури процесу газифікації вугілля. У результаті процесу виділяються водень, моноксид вуглецю та метан.

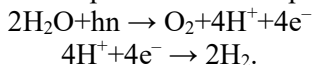
Собівартість процесу становить 5–7 дол./кг водню. У майбутньому можливе зниження до 1,0–3,0 дол. У біохімічному процесі водень виробляється різноманітними бактеріями, наприклад роду *Rodobacter speriodes*. Можливе застосування різноманітних ензимів для прискорення виробництва водню з полісахаридів (крохмалю, целюлози), що містяться в біомасі. Процес проходить при температурі 30 °С за нормального тиску. Собівартість водню, отриманого таким способом становить близько 2 дол./кг.

Біохімічне виробництво водню. Багатообіцяючою та перспективною альтернативою промисловим процесам отримання водню є розкладання води з використанням сонячної енергії в процесах фотосинтезу та біоконверсії.

Під час процесу фотосинтезу зелені рослини та морські водорості (мікроскопічні одноклітинні рослини) перетворюють вуглекислий газ, воду та сонячне світло (зелене світло з довжиною хвилі 500 нм) на вуглеводи, воду і кисень.



Сонячне світло поглинається світлочутливим пігментом, наприклад білком хлорофілу. За допомогою активних центрів цього білка енергія передається електронам, джерелом яких служить деяка донорна речовина. Потім, як і під час фотосинтезу, електрони через проміжну сполуку феродоксин постачаються до іонів водню, відновлення яких до молекулярного стану відбувається під дією каталізатора біологічної природи:



Дослідження в галузі біологічних методів отримання водню носять поки що пошуковий характер. Вчені Каліфорнійського університету в Берклі 1999 р. виявили, що якщо водоростям не вистачає кисню і сірки, то процеси фотосинтезу у них різко слабшають, і починається бурхливе вироблення водню. Водень може вироблятися групою зелених водоростей, наприклад *Chlamydomonas reinhardtii*. Водорості можуть виробляти водень із морської води або каналізаційних стоків. Фахівці, проводячи експерименти з синьо-зеленими водоростями, дійшли висновку, що для забезпечення теплових потреб міста з населенням в 1 млн чоловік і витратою 10 кВт на душу населення потрібна плантація площею 17,5 км². Така оцінка є надто оптимістичною, хоча майбутнє біохімічного виробництва водню обіцяє бути успішним. У випадку вирощування морських водоростей як «енергетичного врожаю» необхідно підтримувати високу температуру. Непотрібне тепло від градирень ядерного реактора на 100 МВт здатне підтримувати 4047 га водойми з морськими водоростями. Така водойма здатна виробляти до 4,5 кг органічної речовини на квадратний метр. Забезпечення подачі додаткового вуглекислого газу збільшує норму на 50 %, 22680 кг морських водоростей можуть бути розумно перетворені на 10 кВт год метану.

Фотохімічні процеси, засновані на використанні енергії сонячного світла, дають найбільш довготривале рішення проблеми постачання нашої планети вторинними формами енергії в найбільш екологічно прийнятному вигляді і практично без обмежень за масштабом, і тому заслуговують найпильнішої уваги.

3.5.2. Використання водню

1. Двигуни внутрішнього згорання на водні

Широкі межі займання водню 4–75 % (об.) проти 1,5–7,6 % (об.) для бензину роблять його ідеальним паливом для двигунів внутрішнього згорання. Швидкість згорання воднево-повітряної суміші в двигуні в 3 рази більше, ніж ізооктаново-повітряної суміші, при цьому досягається значно вищий термічний ККД. Двигун на водні може бути сконструйований з дуже великою вихідною потужністю, без радикальних змін відомих інженерних рішень як і в конструкції, так і в системі запалювання. Двигун внутрішнього згорання на водневому паливі дозволяє використовувати запалювання за допомогою напруги замість дорогого іскрового запалювання. Водневе паливо має ще й ту перевагу, що не спричиняє у двигунах вуглецевих або свинцевих відкладень, продукти згорання хімічно неагресивні, при цьому знос двигуна та витрата мастила в процесі експлуатації помітно знижується.

Варто відзначити, що водневий двигун легше запускається, леткість водню в поєднанні з його здатністю до спалахування роблять його незамінним паливом в умовах низьких температур. Термічний ККД під час роботи двигунів внутрішнього згорання на водні зростає за збільшення ступеню стиснення (при $\epsilon = 5,45$ $\eta = 37,5$ % та при $\epsilon = 7$ $\eta = 43$ %). Реалізація будь-якої схеми використання водню в двигунах внутрішнього згорання залежить від створення економічної, гнучкої у використанні системи зберігання водню.

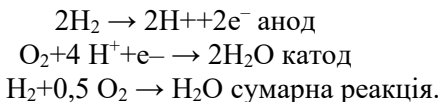
2. Паливні елементи

Перша електрична енергія була отримана за допомогою паливного елемента ще в 1839 р.. Однак бум навколо водневої енергетики виник тоді, коли розпочався процес освоєння космосу. В 60-ті роки ХХ ст. було створено паливні елементи (ПЕ) потужністю до 1 кВт для програм «Джемін» і «Аполлон», в 70-ті, 80-ті роки – 10-кіловатні ПЕ для «Шаттла». У ті ж роки побудовано електростанції потужністю близько 100 кВт на фосфорнокислих паливних елементах. В Японії та США наразі є дослідні 10-мегаватні електростанції.

ПЕ – гальванічна комірка, що виробляє електроенергію завдяки окисно-відновним перетворенням реагентів, що надходять ззовні. При роботі ПЕ електроліт і електроди не витрачаються,

завдяки тому, що не зазнають ніяких змін. У ньому хімічна енергія палива безпосередньо перетворюється в електроенергію.

У найпростішому ПЕ, де використовуються чистий водень і чистий кисень, на аноді відбувається розкладання водню і його іонізація:



ПЕ складається з іонного провідника (електроліту) і двох електронних провідників (електродів), що знаходяться в контакті з електролітом, який здійснює перенесення заряду іонами водню. В інших ПЕ носіями заряду можуть виступати іон кисню, радикал ОН або CO_3^{2-} , окисниками можуть бути кисень або повітря.

Класифікація ПЕ

За *типом електроліту* ПЕ класифікують на:

- лужні;
- твердо-полімерні;
- фосфорнокислі;
- розплавкарбонатні та твердо оксидні.

За *робочою температурою* ПЕ класифікують на:

- низькотемпературні;
- середньо температурні;
- високотемпературні.

Паливо і окиснювач безперервно підводяться до електродів – анода і катода, продукти (інертні компоненти і залишки окисника, а також продукти окиснення) безперервно відводяться від них. З молекули водню утворюються два іони водню і два електрони. На катоді водень поєднується з киснем і утворюється вода. Фактично в цьому і полягає головний екологічний вигравш: в атмосферу викидається водяна пара замість величезної кількості вуглекислого газу, що утворюється під час роботи традиційних теплових електростанцій.

Лужні, твердополімерні та фосфорнокислі електроліти дуже чутливі до СО. У карбонатних і твердооксидних ПЕ СО є паливом. Чутливість до CO_2 лужних елементів теж дуже висока, але CO_2 не впливає на роботу інших ПЕ. Досить велику чутливість до таких домішок, як H_2S і COS, показують всі ПЕ. Домішки відносяться до

отруйних, якщо їх присутність приводить до виходу з ладу ПЕ через отруєння електродів або електролітів. В кінцевому рахунку, домішки до водню скорочують термін служби ПЕ.

Лужний ПЕ (ЛПЕ, AFC). Використовують 35–50 % водний розчин лугу (KOH або NaOH) як електроліт та експлуатують за температур до 270 – 300 К (ПЕ на концентрованих до 85 % розчинах лугів використовуються за температур до 520 К). ПЕ даного типу є найбільш розробленими, зокрема, вони широко застосовуються в автономних енергосистемах, що використовуються в космонавтиці та у військово-морському флоті. Їх основним недоліком є неприпустимість наявності CO₂ як в паливі, так і в окиснювачі.

ПЕ на протонообмінній мембрані (ППТЕ, PEMFC). Як електроліт використовується тверда полімерна мембрана (тонка пластмасова плівка), яка проводить водневі іони (протони) з аноду на катод. Вони забезпечують високу густину струму, що дозволяє зменшувати їх вагу, вартість, обсяг, а також покращувати якість роботи. Нерухомий твердий електроліт спрощує герметизацію в процесі виробництва, зменшує корозію, і забезпечує довший термін служби ПЕ. Ці ПЕ працюють за низьких температур, що прискорює запуск, а також реакцію на зміни потреб в електриці. Вони якнайкраще підходять для транспорту і стаціонарних установок невеликого розміру.

ПЕ на фосфорній кислоті (ФКПЕ, PAFC). Електролітом є паперова матриця, що насичується фосфорною кислотою, яка також проводить протони. Це найбільш розроблені та комерційно розвинені ПЕ. Вони застосовуються в стаціонарних електрогенераторних пристроях в будівлях, готелях, лікарнях, аеропортах та електростанціях. ПЕ на фосфорній кислоті виробляють електрику з ККД більше 40 % або близько 85 %, якщо пар, що виробляється цим ПЕ, використовується для спільного виробництва тепла та електрики (в порівнянні з 30 % ККД найбільш ефективного ДВЗ).

ПЕ на розплаві карбонату (РКПЕ, MCFC). Використовується розплавлена суміш літію/калію (або літію/натрію) для проведення іонів карбонату від катода до анода. Робоча температура – приблизно 920 К, що дозволяє використовувати паливо безпосередньо, без будь-якої додаткової

його підготовки, а також нікель як каталізатор. Їх конструкція складніша, ніж конструкція ПЕ на фосфорній кислоті, через їх більш високі робочі температури і використання розплаву електроліту. Їм потрібна значна кількість часу для того, щоб вони досягли робочої температури і змогли реагувати на зміни в потребі електрики, і тому найкраще вони підходять для умов, де необхідна постійна подача великої кількості електроенергії. Найбільша кількість подібних установок побудовано в США і Японії. У США є демонстраційна досліджна електростанція потужністю 1,8 МВт.

ПЕ на твердих оксидах (ТОПЕ, SOFC). Як електроліт використовується твердий керамічний матеріал (стабілізований ітрієм окис цирконію), який проводить атоми кисню від катода до анода за надзвичайно високих температур – понад 1300 К. Це дозволяє їм використовувати відносно забруднені види палива, наприклад, ті, що одержують під час газифікації вугілля. Енергетичний ККД – близько 60 %. Їх відносно проста конструкція (обумовлена використанням твердого електроліту і найрізноманітніших видів палива) в поєднанні з істотною кількістю часу, необхідною для того, щоб вони досягли робочої температури і змогли реагувати на зміни в потребах в електриці, робить їх придатними для великих і дуже великих стаціонарних електрогенераторних установок і електростанцій.

Галузі застосування ПЕ

Ринок ПЕ є найбільш прогресуючою областю використання водневого палива. З початку 1970-х рр. вироблено понад 11 тисяч ПЕ, причому більше 10 тисяч – в останні 10 років. Можна виділити чотири основні сектори ринку ПЕ: транспорт, невеликі і великі стаціонарні установки, портативні пристрої. За умови успішного вирішення технічних проблем частка електромобілів з ПЕ в загальному обсязі продажів до 2030 р. досягне 7–10 %.

Стаціонарні ПЕ поширені в більшій мірі, ніж автомобільні джерела живлення. В даний час в світі діють близько 600 енергоустановок, що мають потужність більше 10 кВт. Переважна більшість цих систем працюють на природному газі. В останні роки спостерігається спад на ринку великих стаціонарних енергоустановок на базі ПЕ, разом з тим виріс обсяг продажів систем з потужністю менше 10 кВт, які можуть використовуватися в домашніх умовах або як резервне джерело живлення.

Розширення ринку ПЕ відбувається в основному за рахунок найбільш перспективної області – створення джерел живлення для портативних електронних приладів – мобільних телефонів, мінікомп'ютерів, відеокамер. Розроблено понад 1700 портативних систем на основі ПЕ. Крупнотаціональні системи більш досконалі, і їх поширення, можливо, буде поступово зростати.

Щорічно на дослідження ПЕ та супутніх технологій західні країни витрачають близько 1 млрд дол. державних коштів. Половина цієї суми спрямовується на розробки ПЕ, решта коштів – на створення систем отримання, зберігання і транспортування водню.

Малі стаціонарні установки. Домашні енергетичні установки потужністю 0,75–10 кВт призначені для обігріву приміщень і виробництва електроенергії та гарячої води 24 години на добу. Установки потужністю 5 кВт можуть обслуговувати кілька котеджів. Популярність малих домашніх комбінованих (електрика + тепло) установок обумовлена високим ККД, а також малими викидами CO₂. Вони легко можуть бути вбудовані в існуючу інфраструктуру. Така енергетична установка має розмір не більше домашнього бойлера і може працювати на природному газі.

У 2005 р. в усьому світі було встановлено більше 900 нових малих стаціонарних водневих енергетичних установок, в 2006 р. – близько 1500, і загальна кількість досягла приблизно 5000, в 2007 р. було введено приблизно 3000 нових стаціонарних установок потужністю до 10 кВт. У малих енергетичних установках домінують дві технології ПЕ: протонообмінні (PEMFC) і твердооксидні (SOFC). У 2005 р. близько 75 % установок було виготовлено по PEMFC-технології, близько 25 % – по технології SOFC.

Крупногабаритні стаціонарні установки. До кінця 2006-го в усьому світі діяло понад 800 стаціонарних енергетичних установок на ПЕ потужністю понад 10 кВт. Їх сумарна потужність – близько 100 МВт. За 2006 р. було побудовано більше 50 установок загальною потужністю понад 18 МВт. У 2005 р. серед нових установок переважали ПЕ на розплавах карбонатів (MCFC) і фосфорнокислих ПЕ (PAFC). Незважаючи на те, що велика частина стаціонарних ПЕ в даний час працює на природному газі, все більша кількість установок призначається для використання

альтернативних видів палива. У 2005 р посилилася тенденція застосування синтез-газу і біогазу. За обсягом споживання як сировини біогаз вийшов на друге місце після природного газу. У 2005 р. в Японії та Німеччині були побудовані електростанції, що працюють на біогазі, що отримується з деревних відходів, пластику, муніципальних стічних вод.

Гібридні установки: паливний елемент/газова турбіна. Для підвищення ефективності, зниження собівартості енергії та для утилізації теплової енергії застосовуються установки, що поєднують паливні елементи та газові турбіни. Компанія FuelCell Energy (США) розробила гібридну установку на основі ПЕ типу SOFC та газової турбіни. У цій схемі ПЕ забезпечує 4/5 енергії, а інша частина виробляється за рахунок газової турбіни. ККД даної схеми наближається до 70 %. Наразі випробовується електростанція потужністю 40 МВт, що складається з 10 паливних елементів і однієї турбіни потужністю 10 МВт. У США і Японії планують будівництво великих теплоелектростанцій потужністю 40–700 МВт подвійного і потрійного циклу із загальним ККД більше 80 %. Викиди CO₂ повинні бути на 30 % менше, ніж на традиційних вугільних електростанціях.

Автомобільний транспорт. У 2005 р. в експлуатацію було введено близько 100 нових автомобілів, автобусів, мотоциклів і т.д. на ПЕ. До кінця 2006-го в світі експлуатували 620–650 транспортних засобів з ПЕ. В автомобільних джерелах живлення переважають PEMFC технології. У 2005 р. було випущено всього один автомобіль з ПЕ-PAFC. Вартість автомобільних водневих ПЕ знизилася з 275 дол./кВт потужності в 2002 р до 110 дол./кВт в 2005. До 2020 р. міністерство енергетики США планує знизити вартість ПЕ до 30 дол./кВт. Основні автомобілебудівні фірми вже активно ведуть комерційне виробництво (десятки тисяч) автомобілів з ПЕ.

Заправні станції. До кінця 2006 р. в усьому світі функціонувало понад 140 водневих автомобільних заправних станцій. Із загальної кількості заправних станцій, побудованих протягом 2004–2005 рр., всього лише 8 % працюють з рідким воднем, інші – з газоподібним. Відсутність водневої інфраструктури є одним з основних перешкод для розвитку водневого транспорту. Рішенням проблеми стало застосування

водню як палива для ДВЗ або сумішей палива з воднем. У січні 2006 р. компанія Mazda почала продажі біпаливного автомобіля Mazda RX-8 з роторним двигуном, який може споживати як бензин, так і водень.

Повітряний транспорт. Корпорація Boeing прогнозує, що ПЕ поступово замінять в авіації допоміжні енергетичні установки. Вони зможуть виробляти електроенергію, коли літак знаходиться на землі, і бути джерелами безперебійного живлення в повітрі. ПЕ поступово почали встановлюватися на новому поколінні Boeing 747 починаючи з 2008 р.

Залізничний транспорт. Для застосування ПЕ в залізничному транспорті потрібна висока потужність, при цьому розміри силової установки не мають великого значення. Залізничний дослідний технологічний інститут (Японія) у 2010 р. випустив в експлуатацію потяг на водневих ПЕ. Потяг може розвивати швидкість 120 км/год і проїжджати 300–400 км без заправки. У США з 2003 р. розробляють локомотив масою 109 т з водневим ПЕ потужністю 1 МВт.

Водний транспорт. У Німеччині компанія Siemens виробляє підводні човни класу U-209 з двома ПЕ потужністю по 120 кВт кожен. Ці човни призначені для військово-морських сил Німеччини, надійшли також на замовлення з Греції, Італії, Кореї, Ізраїлю. Під водою човен працює на водні і є практично безшумним. У США поставки ПЕ-SOFC для підводних човнів передбачалося почати в 2006 р. Компанія FuelCell Energy розробляє ПЕ потужністю 625 кВт для військових кораблів. У серпні 2003 р. було випробувано японський підводний човен Urashima з ПЕ-PEMFC виробництва компанії Mitsubishi Heavy Industries.

Складські навантажувачі. Трохи менше половини нових ПЕ, що використовувалися в 2006 р. на транспортних засобах, були встановлені на складських навантажувачах. Заміна акумуляторних батарей на ПЕ дозволила значно скоротити площі, що займаються акумуляторними цехами.

Паливні елементи для портативних пристроїв. У 2006 р. в усьому світі було виготовлено близько 3000 шт. джерел живлення на основі ПЕ для мобільних пристроїв: мобільних телефонів, ноутбуків і т.д. Одним з основних споживачів була армія США. Армії потрібні легкі, ємні, безшумні джерела енергії. Завдяки

попиту з боку військових США посіли перше місце в світі за кількістю розробок портативних пристроїв. На Японію в 2005 р. приходилося всього 13 % нових розробок. Найбільш активними були компанії-виробники електроніки: Casio, Fujitsu, Hitachi, Nec, Sanyo і Toshiba. У портативних і електронних додатках домінують ПЕ типу PEMFC і з прямою конверсією метанолу (DMFC).

Перспективи використання водню та паливних елементів

Перевагою використання водню в довгостроковій перспективі є заміна рідких видів палива та природного газу. Однак, зрозуміло, що ринок буде розвиватися поступово. Спочатку водень, ймовірно, будуть використовувати великі споживачі в тих областях, де його унікальні характеристики забезпечать додаткові переваги. Три області застосування відкривають можливості споживання великих кількостей водню на декількох майданчиках, що зводить до мінімуму потреби в системі трубопроводів для розподілу водню. Першим ринком водню може стати парк муніципальних автобусів і вантажних автомобілів. Їх заправляють централізовано, і тому немає необхідності у великій кількості заправних станцій. В умовах міського середовища існують потужні стимули для скорочення забруднення атмосфери. На вантажних автомобілях можна знайти вільний простір, тому технічні вимоги, що висувуються до зберігання водню, менш жорсткі, ніж для пасажирського транспорту. Поїздки автотранспорту в місті пов'язані з постійними зупинками, при цьому гібридні транспортні засоби з ПЕ є економічнішими з точки зору витрат палива, в порівнянні з ДВЗ. Використання водневого палива в авіації має унікальні переваги – дуже низька маса водню в порівнянні з паливом для ПРД дозволяє збільшити вантажопідйомність. У цій області немає будь-яких технічних бар'єрів, важливі тільки міркування економічності.

До переваг використання ПЕ слід відносити: високий ККД, низьку токсичність, безшумність, модульні конструкції (маючи, скажімо, кіловатні паливні елементи, можна збирати з них установки великої потужності), різноманіття первинних видів палива, широкий інтервал потужності. Проникнення ПЕ на ринок стримується, насамперед, високою собівартістю електроенергії і малим ресурсом. Найбільший ресурс у твердополімерних паливних

елементів, що складає 2–5 тис. год. роботи, а необхідний термін експлуатації зазвичай 20–30 тис. год.

Що стосується комерціалізації електрохімічних генераторів на ПЕ, то близько 100 компаній бере участь в їх демонстраційних випробуваннях, досягнуто встановлену потужність в 50 МВт. Потреба децентралізованої стаціонарної енергетики (з потужністю електрохімічних генераторів від 5 кВт до 10 МВт) – 100 тис. МВт за 10 років. Зараз 1 кВт встановленої потужності коштує більше 3 тис. дол., прийнятна ціна – 1 тис. дол. Потреби автотранспорту в електрохімічних генераторах на ПЕ (з потужністю 15–100 кВт) – 500 тис. шт. на рік.

Наразі вартість одного такого генератора більше 3 тис. дол., прийнятна ціна 50–100 дол. Таким чином, необхідно багаторазове зниження вартості стаціонарних ПЕ і десятикратне – вартості ПЕ для транспорту. З огляду на потреби ринку, програма бюджетних інвестицій США передбачає в найближчі 10 років вкласти 5,5 млрд дол. в розвиток технологій паливної енергетики, промислові компанії – майже в 10 разів більше.

3. Нікель-водневі акумулятори

Металоводневі акумулятори, до яких відноситься нікель-водневий акумулятор (НВА), срібно-водневий акумулятор (СВА) і свинцево-водневий акумулятор (СвВА), представляють комбінацію класичного акумулятора і регенеративного паливного елемента. Вони складаються з водневого і метал-оксидного електродів в розчині лугу (НВА і СВА) або кислоти (СвВА). Під час зарядки на водневому електроді генерується водень, який накопичується під тиском в герметичному корпусі. Тиск при цьому пов'язаний зі ступенем заряду лінійним співвідношенням.

Твердофазний електрод поводить себе так само, як в нікель-кадмієвому (у разі НВА), в срібно-кадмієвому (в разі СВА) або свинцево-кислотному (в разі СвВА) акумуляторах. Під час розряду водень споживається на водневому електроді, і при повному розряді тиск стає рівним вихідному, відповідному початку заряду. Специфічним для металоводневих акумуляторів є можливість не відокремлювати водневе паливо від твердофазного окислювача через малу швидкість реакції безпосередньої хімічної взаємодії водню з металоксидними електродами. Це дозволяє не приймати спеціальних заходів захисту твердофазного електрода від водню,

що допускає просте конструктивне оформлення метало-водневих акумуляторів і є джерелом досить високої питомою енергії.

Нікель-водневий акумулятор (NiH_2 або Ni-H_2) – це оборотне хімічне джерело струму, що складається з нікелевого та водневого електродів. Він відрізняється від нікель-метал-гідридного акумулятора використанням водню в газоподібній формі, що зберігається в стислому стані в комірці за тиску 82,7 бар. NiH_2 комірки з використанням 26 % розчину KOH як електроліту досягають терміну експлуатації в 15 років і більше при 80 % глибині розряду. Густина енергії становить 75 Вт год/кг, 60 Вт год/дм. Напруга на контактах складає 1,55 В, середня напруга протягом розряду – 1,25 В.

Незважаючи на те, що густина енергії становить лише близько однієї третини від аналогічного показника літєвої батареї, специфічною властивістю нікель-водневого акумулятора є тривалість терміну експлуатації: комірки витримують більш ніж 20000 циклів розряду при 85 % ефективності.

Загалом же варто відзначити, що незважаючи на особливості економічного розвитку різних держав, тенденція зростання пріоритету досліджень і розробок в області водневих енерготехнологій в даний час характерна для більшості країн світу. Основними мотивами, які зумовлюють зростання до даної тематики інтересу національних урядів, великих міжнародних організацій та комерційних компаній, є прагнення до енергетичної безпеки, стурбованість глобальним погіршенням екологічної ситуації та клімату, пошук загальнодоступних джерел енергії, необхідність інвестицій в сучасну інфраструктуру енергозабезпечення.

Вирішення цих завдань пов'язане з необхідністю, по-перше, виділення особливого пріоритету розробці та впровадженню енергозберігаючих технологій і, по-друге, структурними змінами в енергетиці, спрямованими на збільшення частки вироблення енергії, виробництво якої не пов'язане зі споживанням вуглеводневих палив і викидами CO_2 в атмосферу. Реалізація концепції водневих енергосистем є основним шляхом зміни енергетичної інфраструктури в бажаному напрямку. На рис. 3.13 показаний один з можливих прогнозів зміни розміру і структури ринку водню у XXI сторіччі. Прогноз передбачає збільшення

споживання водню в порівнянні з 2000 р. у 16–20 разів, причому більша частина цього збільшення (до 80 %) пов'язана з використанням водню як палива та енергоносія, з якого близько 70 % буде використовуватися на потреби автотранспорту.

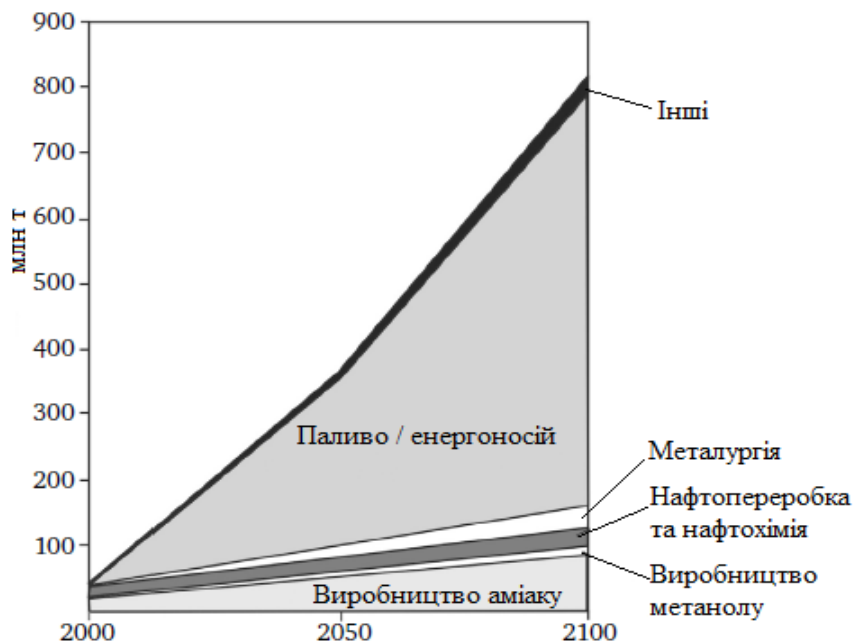


Рис. 3.13. Прогнози використання водню у XXI сторіччі

Для успішної реалізації зазначеного підходу водневій енерготехнології повинні бути вдосконалені до такої міри, щоб стати конкурентоспроможними в технічному та економічному аспектах, пройшовши шлях від досліджень і розробок до створення нової водневої інфраструктури: виробничих потужностей для отримання водню, систем його зберігання, транспортування, розподілу, високоефективних стаціонарних і транспортних енергоустановок і т. п.

Роботи в даному напрямку вимагають як ретельного планування і координації, так і великих інвестицій в національному та міжнародному масштабах. На думку експертів, в найближчі 30–

50 років інвестиції в створення водневої економіки складуть від 1 до 10 трлн дол. США.

3.6. Електричні двигуни та паливні елементи – перспектива традиційним джередом живлення автомобілів

Електромобіль – транспортний засіб, колеса якого приводяться в рух від електромотора живленого електробатареею, з'явився вперше у 1838 р. у Англії. Історія розвитку електромобілів значно довша за історію автомобілів з ДВЗ. Спочатку він випереджав автомобіль за швидкістю й обсягом випуску, але з часом не зміг стати серйозним конкурентом автомобілю.

В більшості екологічних автомобілів, таких як електромобілі, гібриди і автомобілі на паливних елементах, головною руховою силою є *електричні двигуни*. В основі роботи сучасного електричного двигуна лежить принцип електромагнітної індукції – явище, пов'язане з виникненням електрорушійної сили в замкнутому контурі при зміні магнітного потоку.

Наявність тісного зв'язку між магнітними і електричними явищами відкрила перед вченими нові можливості. Історія електричного транспорту і всіх електродвигунів починається з закону електромагнітної індукції, відкритого М. Фарадеєм в 1831 р., і правила Е. Ленца, згідно з яким індукційний струм завжди направлений таким чином, щоб протидіяти причині, яка його викликає. Саме праці цих двох вчених лягли в основу першого електричного двигуна Бориса Якобі.

Хоча сучасні електричні двигуни і засновані на тому ж законі, що і електромеханічний перетворювач Якобі, суттєві відмінності в них наявні. З часом електродвигуни стали більш потужними, компактними та суттєво збільшили свій ККД: у сучасного електричного двигуна він досягає 85–95 %. Для порівняння, максимальний ККД бензинового чи дизельного двигуна (та і ДВЗ в цілому) без допоміжних систем ледве досягає 45 %.

Види сучасних електричних двигунів

Електричні двигуни поділяються за *родом напруги*, яка їх живить:

– двигун змінного струму;

– двигун постійного струму.

За числом фаз мережі, яка їх живить:

– однофазний електричний двигун. З однією робочою обмоткою, підключається до однофазної мережі змінного струму;

– двофазний електричний двигун. Має дві обмотки, зміщені в просторі на 90° ;

– трифазний електричний двигун. Підключається до трифазної мережі змінного струму, має 3 обмотки, чий магнітний поле розташовані через 120° .

За конструктивним виконанням:

– колекторний. Перемикачем струму в обмотках і датчиком положення ротора є той же самий пристрій – електротехнічний комутатор. Працює переважно на постійному струмі, проте сучасні електродвигуни, так звані універсальні колекторні двигуни, можуть одночасно працювати на постійному і змінному струмі;

– безколекторний. Вентильні двигуни постійного струму виконані у вигляді замкнутої системи з датчиком положення ротора, інвертором та перетворювачем координат.

За принципом роботи:

– синхронний електричний двигун. Електромеханічна машина, в якій ротор обертається синхронно з магнітним полем змінного струму;

– асинхронний електричний двигун. Частота обертання ротора асинхронного двигуна змінного струму не співпадає з частотою обертання магнітного поля, яке створюється струмом обмотки статора.

За способом збудження :

– зі збудженням від постійних магнітів;

– з паралельним збудженням;

– з послідовним збудженням;

– з послідовно-паралельним.

Електричні двигуни для електромобілів

В сучасних електромобілях може використовуватися як електродвигун постійного, так і змінного струму. Його основним завданням є передача обертового моменту на рушій електромобіля.

Основними відмінностями сучасного електричного двигуна для автомобіля від традиційної електромеханічної машини є велика потужність і компактні розміри, зумовлені обмеженістю доступного простору. Характеризуються сучасні електричні двигуни потужністю, максимальним обертовим моментом, напругою, струмом, а також частотою обертання.

Переваги і недоліки електричних двигунів

Серед переваг електродвигунів над ДВЗ узазначають:

- мала вага і досить компактні розміри;
- довговічність, проста експлуатація;
- екологічність;
- максимальний обертовий момент доступний вже з 0 об/хв;
- високий ККД;
- відсутність необхідності в коробках передач;
- можливість рекуперації.

Суттєвих недоліків у самого електричного двигуна немає. Однак, поки що в електромобілях є складності із живлення електродвигуна. Через недосконалість джерел струму електричні двигуни досі не набули масовості в автомобілебудівництві. Однак, розробки вчених у сфері акумуляування енергії обіцяють вже найближчим часом виправити ситуацію.

Широкий розвиток електротранспорту призведе до істотного збільшення споживаної електрики. Відповідно, постане питанням про забезпечення необхідної кількості електрики. Необхідно буде споруджувати нові ТЕС і АЕС, діяльність яких наносить шкоду навколишньому середовищу. З часом постане питання про утилізацію відпрацьованих акумуляторів. Наразі проблема їх утилізації теж поки не вирішена. Таким чином екологічна чистота електромобіля ставиться під сумнів.

3.7. Відходи як сировина для отримання альтернативних палив

Відходи в енергію або *енергії з відходів* є процесом отримання енергії у вигляді електрики та / або тепла під час спалювання відходів. Отримання *енергії з відходів* є формою відновлення енергії. Більшість процесів *переробки відходів* у

електроенергію та / або тепло реалізуються безпосередньо через їх спалювання. Іншим способом переробки відходів є виробництво горючих паливних продуктів, таких як метан, метанол, етанол або синтетичних палив.

Крім того, існує велика кількість нових технологій, що дозволяють виробляти енергію з відходів та іншої сировини без її прямого спалювання. Багато технологій мають потенціал, виробляти з тієї ж кількості сировини електроенергії більше, ніж це можливо під час її безпосереднього згорання. Головним чином, це досягається відділенням агресивних компонентів (золи) з перероблюваної сировини, тим самим дозволяючи досягати більш високих температур горіння, наприклад, в котлах, газових турбінах, двигунах внутрішнього згорання, паливних елементах. Деякі з цих технологій здатні ефективно перетворювати енергію відходів на рідке чи газоподібне паливо. До основних таких технологій належать:

Технології термічного перероблення:

- газифікація (вироблення горючого газу, водню, синтетичних палив);
- теплова деполімеризація (вироблення синтетичної нафти, що може перероблятися у подальшому);
- піроліз (вироблення горючої смоли / біонафти та вугілля);
- газифікація в плазменних дугах або процес газифікації плазми (вироблення багатого синтез-газу, що містить у собі водень та монооксид вуглецю, які використовуються у паливних елементах або для генерації електроенергії).

Технології нетермічного перероблення:

- анаеробна переробка (біогаз з високим вмістом метану)
- ферментація (прикладами є етанол, молочна кислота, водень)
- механічна біологічна очистка (МБО)
- МБО + анаеробна переробка;

Використання палив з відходів

Палива з відходів становлять близька 30 % від всього об'єму вироблених та спожитих в США палив. Палива отримані з відходів, як правило, є побічними продуктами багатьох виробничих процесів. Більшість з них практично не мають економічної цінності і, як правило, не можуть бути раціонально використаними.

Палива з відходів, як правило, використовуються там, де вони виробляються, тому що вони добре придатні до забезпечення потреб у тепловій та електричній енергії. Більшість таких видів палива в основному отримуються під час виробничих процесів і мають дуже низку ціну. Це дозволяє знизити загальні витрати на паливо, що необхідно закуповувати підприємству. Використання твердих палив з відходів також зменшує обсяг відходів, що підлягають утилізації, що у свою чергу дозволяє виробникам знизити загальні витрати на утилізацію відпрацьованих матеріалів.

Як правило, більшість підприємств, що виробляють палива з відходів є дуже енергоємними та можуть легко їх використовувати, витрачаючи менше коштів на транспортування їх до покупця. Проте, слід зазначити, що не усі галузі промисловості можуть використовувати деякі палива з відходів, такі як, наприклад, нафтовий кокс. Нафтовий кокс отримують на нафтопереробних заводах як побічний продукт, який продають цементним заводам та паперовим фабрикам, що використовують його як паливо, а також заводам з виплавки алюмінію, що використовують кокс для анодів, під час ергоємних процесів плавлення.

Загалом, відходи, що використовуються як палива є вельми різноманітними. Деревообробна та паперова промисловість, виробництво хімічної продукції, нафти, вугілля, пластмаси, цементу використовують відходи власних виробничих процесів. До них належать відпрацьовані мастила, макулатура та інші матеріали, що можуть бути джерелом теплової та електричної енергії для промислових установок. Наприклад, цементна промисловість використовує різноманітні відходи, такі як старі шини, тверді побутові відходи, тканини, будівельні та друкарські фарби. Через низьку якість та теплотворну здатність відходів, вони не можуть забезпечувати більш ніж 10–30 % теплових потреб цементних печей (рис. 3.14.).

У нафтовій та вугільній промисловостях палива з відходів у більшості використовуються для власного споживання. Аналогічно, паперова та деревообробна промисловість використовують наявну біомасу, а саме відходи обробки деревини та їх похідних, наприклад чорного лугу. Хімічні виробництва використовують наявний відпрацьований газ. Залізообробна та

сталеливарна промисловості, в основному, використовують доменний газ – менше, проте вагоме джерело додаткової енергії.

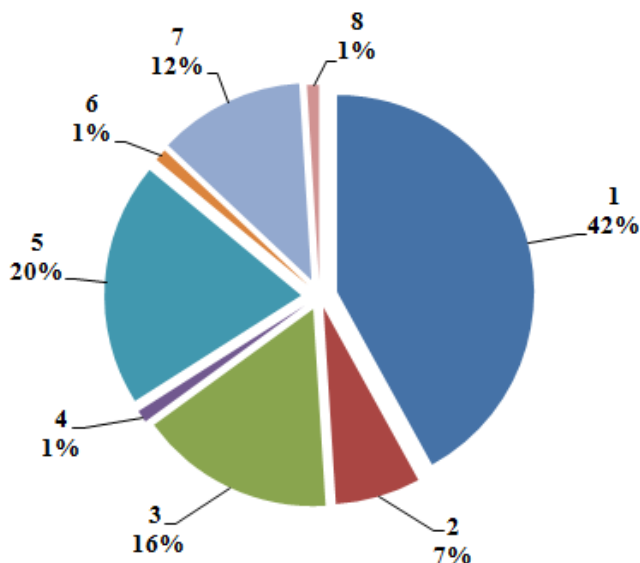


Рис. 3.14. Джерела відходів для отримання палив:

1 – відпрацьований газ, 2 – коксовий газ та газ доменних печей, 3 – нафтовий кокс, 4 – відпрацьовані смоли/мастила, 5 – відходи варіння целюлози, 6 – залишки деревини від деревообробної галузі, 7 – залишки біомаси, 8 – сільськогосподарські відходи

Відпрацьований газ, що складає найбільшу частку серед усіх палив з відходів, видобувається в основному з нафти та вугілля, під час їх переробки та виробництва хімічних речовин. Невелику кількість відпрацьованого газу отримують під час виробництва харчових продуктів та напоїв. У нафтопереробній промисловості, відпрацьований газ, являє собою суміш очищених вуглеводнів, таких як етан, пропан, н-бутан та деякі інші. Нафтова та вугільна промисловості (в основному заводи) забезпечують до 59 % своїх власних потреб у паливі завдяки паливам з відходів. Доменні печі та коксові гази підключають до об'єктів металургійної промисловості, тим самим забезпечуючи паливом з

відходів на 23 %. Тепло від доменних печей та коксового газу іноді використовується для вироблення енергії на ТЕС комбінованого типу (виробництво теплової та електричної енергії).

Інший вагомий вид палив з відходів – продукти біомаси, в основному використовується в паперовій та деревообробній промисловостях. Завдяки таким паливам паперова промисловість забезпечує власні потреби у паливі на 58 %.

Ще одним видом паливної сировини є тверді побутові відходи. До них відносять газ зі звалищ відходів, відходи життєдіяльності людини, скошену траву та багато інших. У багатьох випадках усім цим джерелам енергії просто дозволили стати відходами. Хоча вони і не настільки екологічно чисті, як енергія сонця та вітру, проте викиди CO₂ від цих видів палива набагато менші, ніж у порівнянні з традиційними викопними паливами. Тверді побутові відходи часто використовується як паливо на ТЕС комбінованого типу з метою отримання теплової та електричної енергії.

3.8. Моторні палива з полімерної сировини

3.8.1. Ресурси полімерів, як сировини для отримання альтернативних палив

Полімерні відходи прийнято класифікувати відповідно до джерел їх утворення, що сформувало основні поняття в системі утилізації відходів, прийнятті міжнародними класифікаційними організаціями.

Відходи виробництва – це залишки полімерної сировини, напівфабрикатів і матеріалів, що утворюються у процесі виробництва з них готової продукції, що втратили свої споживчі якості і не відповідають стандартам.

Відходи поводження – це залишки полімерної сировини, напівфабрикатів, матеріалів і готової продукції, що в процесі руху від місць виробництва до споживача втратили свої споживчі якості і не відповідають стандартам.

Відходи споживання – це бувша у вжитку полімерна тара і упаковка, різні вироби з полімерних матеріалів, що в результаті фізичного або морального зносу втратили свої споживчі якості і не можуть використовуватися за прямим призначенням.

Полімерні відходи споживання поділяються на відходи, що утворюються в результаті використання готової продукції виробничо-технічного призначення і відходи, що утворюються в результаті використання готової продукції культурно-побутового призначення.

Ресурси полімерних відходів, придатні для збору і використання – це відходи, для яких існує технологія переробки і їх утилізація економічно доцільна. Вторинні ресурси – це весь обсяг полімерних відходів, що утворюються в результаті функціонування економіки.

Крім понять «відходи», і «відходи, придатні для збору і використання», важливими є поняття «вторинні ресурси» та «вторинна сировина». Обумовлено це тим, що для існуючих технологій утилізації відходів останні повинні відповідати чинним ДСТУ, розробленим для вторинної сировини. Переведення відходів у вторинну сировину здійснюється в джерелах утворення відходів, системі заготовки і на переробних підприємствах через облагородження, збагачення або інших необхідних технологічних операцій.

Ресурси вторинних полімерів

Вторинні полімери є частиною вторинних ресурсів, які утворюються в компактних джерелах їх накопичення (ринки, супермаркети, школи та ін.) та в населення. Структура виробництва, переробки полімерів і використання готової продукції з них включає наступні етапи:

- виробництво полімерів;
- переробка полімерів в готову продукцію;
- розподіл готової продукції з полімерів за напрямками використання;
- використання виробів з полімерів в народному господарстві.

На всіх етапах від виробництва полімерів до використання готової продукції утворюються відходи. Виробництво полімерів і переробка їх в готову продукцію здійснюються на промислових підприємствах (компактних джерелах відходів). Для виконання технологічних процесів виробництва і переробки також може використовуватися готова продукція з полімерів.

Приблизна схема утворення, переміщення, накопичення та доставки полімерних відходів з метою утилізації у промислових масштабах представлена на рис. 3.15. Основні технічні характеристики полімерних відходів мають відповідати вимогам, наведеним у таблиці 3.9. Вологість таких відходів не повинна перевищувати 0,1 %.

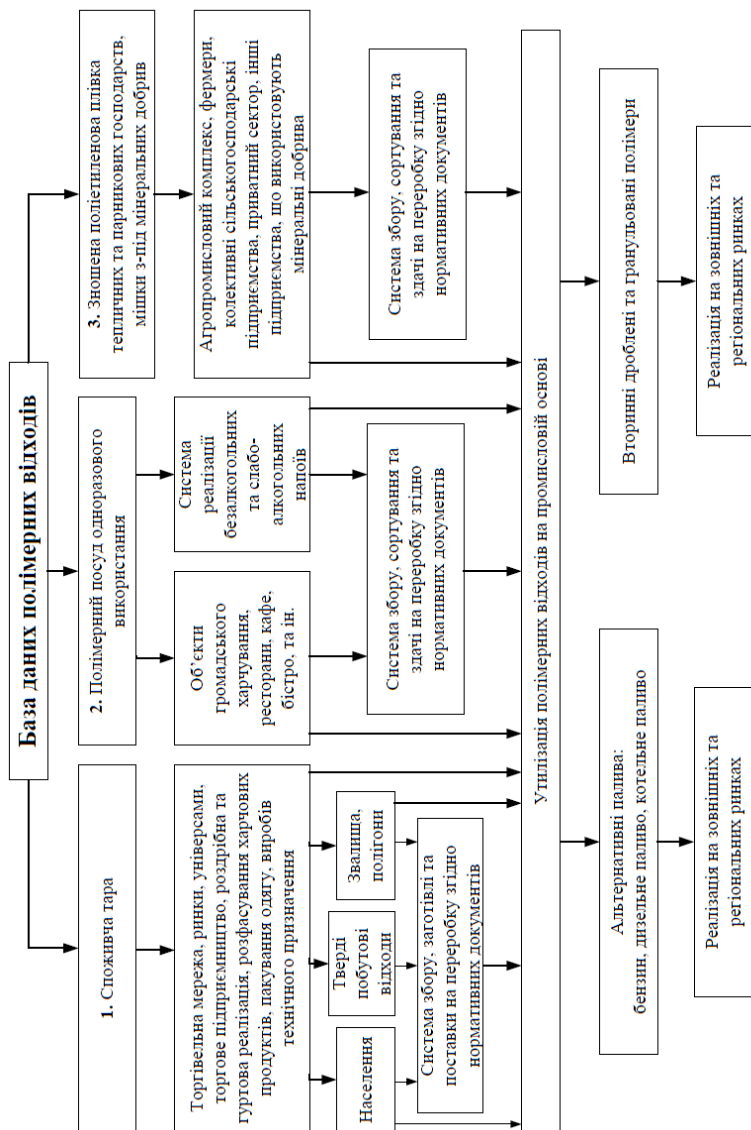


Рис. 3.15. Приблизна схема утворення, руху, накопичення та поставки полімерних відходів для утилізації в промислових масштабах

Таблиця 3.9.

Основні технічні показники відходів поліетилену

№ з/п	Найменування пливкової сировини	Фізичний стан	Випробування в полум'ї				Вид обгорілого залишку
			Поведінка в полум'ї	Горючість	Вид полум'я	Запах пари і диму, що виділяються	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Поліетиленова плівка	Жирна на дотик, добре розтягується, може бути прозорою, матовою і чорною	При внесенні в полум'я відразу загоряється	При видаленні з полум'я продовжує горіти. Горить повільно, плавиться, стікаючи краплями, полум'я спокійне	Полум'я з білою верхівкою і блакитною облямівкою біля основи	Палаючого парафіну	Оплавлений, злегка потемнілий
2	Полівінілхлоридна плівка	Відносно жорстка, розтягується, може бути прозорою і матовою	При внесенні в полум'я загоряється важко	При видаленні з полум'я швидко гасне	Полум'я помаранчове біле з зеленою облямівкою біля основи, закінчується	Різкий, гострий, хлористого водню, паленої гуми	Жорсткий

Продовження таблиці 3.9.

№ з/п	Найменування плівкової сировини	Фізичний стан	Випробування в полум'ї				Вид обгорілого залишку
			Поведінка в полум'ї	Горючість	Вид полум'я	Запах пари і диму, що виділяються	
1	2	3	4	5	6	7	8
3	Лавсанова плівка	Прозора, малорозтяжна, при згинанні видає шелестячий звук	При внесенні в полум'я негайно загоряється	При видаленні з полум'ям продовжує горіти, плавиться	Полум'я закіптюжене, швидко зникає	Без специфічного запаху	Оплавлений, потемнілий
4	Полістирольна плівка	Прозора, не розтяжна, при згинанні видає металевий звук	Легко загоряється в полум'ї	Горить самостійно	Жовто-помаранчеве з ледь помітною синьою облямовкою біля основи, сильно закіптюжене	Запах специфічний, солодкуватий квітковий	Оплавлений, потемнілий
5	Целофанова плівка	На дотик – сухий папір, прозора, малорозтяжна,	При внесенні в полум'я відразу загоряється	Горить яскравим полум'ям	Горить яскравим полум'ям	Запах обгорілого паперу	Залишок – попіл

Загальна характеристика полімерних відходів

Полімери – це сполуки з високою молекулярною масою, молекули яких складені великою кількістю ланок, що повторюються та поєднані між собою ковалентними зв'язками. Число вихідних молекул – мономерів, що утворюють молекулу, може становити тисячі і, навіть, мільйони.

Перехід від низькомолекулярних сполук до високомолекулярних пов'язаний з якісною зміною властивостей, що зумовлена кількісними змінами молекулярної маси. Однак, за числом атомів, що входять до складу макромолекули або за величиною молекулярної маси не можна провести чітку межу між низько- та високомолекулярними сполуками. Адже для сполук різних класів якісні зміни спостерігаються при різній молекулярній масі. Наприклад, китайський танін, що має молекулярну масу 1000, є класичною низькомолекулярною сполукою, у той час як парафін з молекулярною масою 1000 володіє усіма властивостями високомолекулярних сполук. У зв'язку з цим сьогодні до числа макромолекул прийнято відносити сполуки з молекулярною масою не менше 1000.

Сьогодні технологія полімерів йде шляхом створення полімерних композиційних матеріалів, для одержання яких до складу полімерних складових вводяться різноманітні добавки (наповнювачі, стабілізатори, пігменти, барвники, структуроутворювачі, антипірени та ін.).

В основу класифікації полімерів можна покласти різноманітні ознаки.

Класифікація за властивостями. За цією класифікацією полімери класифікують наступним чином:

- пластмаси;
- еластомери;
- еластопласти;
- пластики;
- наповнені;
- ненаповнені;
- армовані;
- шаруваті.

За походженням:

–синтетичні, отримані синтезом з низькомолекулярних сполук;

–природні, виділені з природних матеріалів;

–штучні, отримані хімічною модифікацією природних полімерів.

В останні роки природні полімери, що володіють біологічною активністю (білки, нуклеїнові кислоти, полісахариди та ін.) виділяють в окрему групу – біополімери.

За відношенням до нагрівання всі полімери поділяються на три класи:

–термопластичні – характеризуються оборотними змінами властивостей при нагріванні – можуть багатократно переходити у рідкий стан та знову тверднути (поліолефіни, полістирольні пластики, поліетилентерефталат, та ін.).

–термореактивні – характеризуються незворотніми змінами властивостей під час нагрівання. Під час нагрівання вони розм'якшуються, у подальшому переходять у твердий стан (структуруються) та переходять у неплавкий та нерозчинний стан (фенолальдегідні, аміноальдегідні, ненасичені полієфіри та ін.);

–елементореактивні – характеризуються незворотними змінами властивостей під час нагрівання з деякими елементами. Зазвичай, це полімери, що зберігають кратні зв'язки у ланцюгах – полібутадієн, ізопрен, та ін.

За способом отримання синтетичні полімери поділяють на:

–полімеризаційні – отримані реакцією полімеризації;

–поліконденсаційні – отримані реакцією поліконденсації.

Кожна з перелічених класифікацій має свої недоліки, пов'язані з неповним обсягом всього різноманіття полімерів.

Найбільш раціональною класифікацією та прийнятною з точки зору переробки полімерних відходів на альтернативні синтетичні палива є *хімічна класифікація*, в основу якої покладено будову головного ланцюга. За цією ознакою полімери поділяють на три великі класи.

1. Гомоланцюгові – головний ланцюг полімерів побудований з однакових атомів, наприклад, з атомів вуглецю – карболанцюгові. До карболанцюгових полімерів відносяться природні – каучук, а з неорганічних – всі модифікації елементарного вуглецю – аморфний вуглець, графіт, алмаз. До

синтетичних карбовуглецевих полімерів відносяться всі високомолекулярні насичені, ненасичені та ароматичні вуглеводні (поліетилен, поліпропілен, поліетилентерефталат, полібутадієн, поліфеніліни, та ін.).

2. Полімери, основний ланцюг яких складається з двох, або більше різних елементів, наприклад, вуглецю та кисню, вуглецю та сірки, вуглецю та азоту, кисню та кремнію та утворюють гетерогенні ланцюги. У залежності від гетероатома, що входить до складу основного ланцюга, гетероланцюгові полімери поділяють на:
 - кисневмісні (прості поліефіри, поліацетали, складні поліефіри, полікарбонати та ін.);
 - азотовмісні (поліаміди, білки, поліуретани та ін.);
 - сірковмісні (полісульфіди, полісульфони);
 - елементорганічні полімери (полісилоксани, поліалюмоксани, політитаноксани та ін.). Варто приймати до уваги, що гетероланцюгові полімери можуть бути як органічними та і неорганічними.
3. Полімери з системою спряжених ланцюгів. До цієї групи можуть входити як карболанцюгові так і гетероланцюгові полімери. Якщо макромолекула побудована з однакових структурних одиниць, то такі полімери називаються гомополімерами, а якщо з різних – сополімерами.

Ланки різних типів можуть бути сполучені між собою випадково або чергуватися в однаковій послідовності. Якщо основний ланцюг побудований з одних ланок, а бічні ланцюги з інших, то такі сополімери називаються *привитими* або *графтсополімерами*. У деяких сополімерів ланки мономерів можуть утворювати достатньо довгі послідовності. Такі сополімери називаються *блок-сополімерами*.

3.8.2. Загальна характеристика процесів термічної і каталітичної деструкції полімерних відходів та виробництва альтернативних палив

Дослідженню процесів термічної і каталітичної деструкції полімерів і виробництву з цієї сировини альтернативних моторних палив присвячено достатньо велику кількість робіт, які були виконані в світових провідних хіміко-технологічних центрах.

Основні фактори, що впливають на розподіл продуктів деструкції полімерних відходів, наведені в табл. 3.10.

Таблиця 3.10

Основні фактори, що впливають на розподіл продуктів деструкції полімерних відходів

№ з/п	Фактори	Вплив
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
1	Хімічний склад полімерів	Склад первинних продуктів термічної деструкції безпосередньо пов'язаний з хімічним складом і структурою полімерів, а також з механізмом деструкції (тепловою та каталітичною)
2	Температура деструкції і швидкість нагрівання	Більш високі температури і високі швидкості нагрівання прискорюють розрив зв'язків і підвищують вихід коротких молекул (легких вуглеводнів)
3	Час деструкції	Більш тривале перебування полімерів в реакційній зоні стимулюють вторинні реакції продуктів деструкції, приводячи до більшого виходу коксу, дьогтю, і також термічно більш стійких важких продуктів
4	Тип ректора	Визначає головним чином якість теплопередачі, перемішування, продуктивність процесу, час перебування газоподібної і рідкої фаз в реакційній зоні, а також втрати (витоку) полімерної сировини
5	Робочий тиск	Низький тиск знижує конденсацію реакційних з'єднань, формування коксу і важких вуглеводнів

1	2	3
6	Присутність активних газів: кисню або водню	Присутність цих газів призводять до екзотермічних реакцій і підвищення температури в реакторі, змінює склад продуктів деструкції і впливає на рівноважні процеси, кінетику та обладнання апаратного забезпечення процесу (корозія і т.п.)
7	Використання каталізаторів	Використання каталізаторів впливає на кінетику і механізм процесу деструкції, а, отже, на розподіл кінцевих продуктів деструкції
8	Використання присадок	Присадки, додані до вихідної сировини, схильні до деструкції і втрати цільових властивостей. Деякі з них, можуть впливати на механізм кінетики і обладнання апаратного забезпечення процесу
9	Фаза процесу: газоподібна або рідка	Термічна деструкція в рідкій фазі уповільнює рекомбінацію утворення продуктів, таким чином, підвищуючи вихід цільових продуктів

Хімічний склад полімерних відходів відіграє подвійну роль.

1. Продукти деструкції складаються з тих же самих елементів при збереженні їх відносної кількості. При цьому продукти деструкції складаються з трьох фаз: газ, рідина і тверда субстанція. У той же час спостерігається перерозподіл елементів протягом деструкції, утворення сполук з воднем і хлором, збагачує газову фазу, і вуглець у вигляді коксу.

2. Існує прямий зв'язок між структурою полімеру і первинними продуктами деструкції, що впливає з руйнування зв'язків, що супроводжується деякими молекулярними перегрупуваннями або перегрупуваннями вільних радикалів. Відбуваються також побічні реакції, які поступово перетворюють

первинні продукти деструкції в більш стійкі, менш активні альтернативні сполуки. Отже, дійсний розподіл продуктів деструкції залежить від часу і відносних коефіцієнтів руйнування зв'язків в молекулах і послідовності процесу. Як правило, деструктивні процеси в полімерній сировині протікають значно швидше при високій температурі.

Температура – найважливіша функціональна змінна, адже вона визначає рівень термічної деструкції і стабільності вихідної сировини, а також склад продуктів реакції. Висока температура ($> 600\text{ }^{\circ}\text{C}$), вакуум і розчинення полімерних відходів підвищує вихід простих газоподібних вуглеводнів, низька температура ($< 400\text{ }^{\circ}\text{C}$) і підвищений тиск сприяють більшому виходу в'язких рідких вуглеводнів. Більш високі температури термічної деструкції призводять також до підвищеного утворення коксу і вторинних продуктів, більшої дегідрогенізації вторинних продуктів.

Термічна деструкція більшості полімерів починається приблизно з $300\text{ }^{\circ}\text{C}$, а для деяких термочутливих смол – ще раніше, наприклад, для полімерів на основі вінілу. Початок реакції деструкції істотно залежить від присутності присадок, типу стабілізаторів, пом'якшувачів і пігментів. У більшості процесів використовується середня ($400\text{--}500\text{ }^{\circ}\text{C}$) температура термічної деструкції, а полімери знаходяться в розплавленому стані.

Необхідний *час реакції* визначається переважно температурою реакції. Формування первинних продуктів, наприклад, мономерів, поліпшується при короткому часі перебування сировини в реакційній зоні, формування більш стійких продуктів (водню, метану, ароматики, вуглецю) вимагає більш тривалого часу перебування в реакційній зоні. Низький тиск (вакуум або інертне середовище) збільшує вихід первинних продуктів, включаючи мономери, а високий тиск сприяє утворенню складних сполук, рідкої фракції.

Тип реактора вибирається виходячи з технічних міркувань і технологічності конструкції. Конструкція реактора повинна забезпечувати безперервну подачу розплавленої полімерної сировини, високу теплопередачу від поверхонь нагріву до розплаву полімерної сировини і видалення твердого залишку (коксу). У багатьох процесах пропонується спочатку тверду полімерну сировину розчиняти в уже розплавленому полімері, поліолефіні

або солях, щоб знизити в'язкість розплаву. В інших процесах пропонується використання високої теплопередачі і змішуючі властивості термічних або каталітичних реакторів псевдозрідженого шару.

Збільшення температур істотно впливає на хімічну термодинаміку процесу, тобто відносну стійкість продуктів деструкції, так само як на кінетику і фізичний стан реагуючої суміші полімерів. Високі температури і швидкості нагрівання, низький тиск і час перебування збільшують вихід первинних продуктів – рідких вуглеводнів, за своїми властивостями відповідних альтернативним моторним паливам. Навпаки, тривалий час перебування сировини в реакційній зоні призводить до переважання більш стійких вуглеводнів.

У присутності кисню частина сировини окиснюється в моноокис і двоокис вуглецю – це є неминучими продуктами в таких умовах. У цих умовах також окиснюється і органіка, утворюючи побічні продукти. Процес деструкції полімерної сировини прийнято вважати газифікацією, якщо вихід газоподібних продуктів процесу переважає над рідкими продуктами. Газифікація – високотемпературний процес і повністю руйнує початкову хімічну будову полімерів. Однак отриманий в результаті цього процесу газ відповідає вимогам, які висуваються до такого виду сировини для відомих великомасштабних технологій виробництва палив або іншої хімічної продукції.

Теоретично полімерні відходи мають високу теплотворну здатність, що може бути співставлена з газойлем (якщо рахувати тільки олефіни). Введення гетероатомних сполук, типу кисню, азоту або хлору знижує теплотворну здатність. Крім того, хлор діє як уповільнювач та слугує компонентом та джерелом хлористого водню (соляної кислоти). Гідрогенізація призводить до усунення гетероатомних сполук та утворення насичених вуглеводневих продуктів.

Однак, на практиці полімери погано спалахують та згорають не ефективно, адже коефіцієнт надлишку кисню не піддається контролю, локально призводячи до дефіциту кисню та утворенню продуктів неповного згорання.

Каталізатори процесів деструкції полімерів – клас сполук, спеціально розроблених та оптимізованих для впливу на механізм

реакції з метою підвищення швидкості реакції та отримання цільових продуктів. Головна мета каталізаторів – ініціація процесу деструкції у пароподібній фазі, що забезпечуватиме одержання більш високооктанового бензину. Інша мета – підвищення кінетики деструкції, використовуючи кислотні та основні сполуки для ефективної декомпозиції поліамідів та поліефірів. Каталітичний крекінг є потенційно одним з найважливіших процесів для виробництва вуглеводневих палив високої якості з полімерних відходів у промислових масштабах.

Деякі добавки можуть також впливати на розподіл продуктів термічної деструкції, модифікуючи механізм крекінгу. В даний час ефект від введення присадок вивчений вкрай недостатньо, проте не слід очікувати, що цей ефект буде більшим, ніж при використанні каталізаторів.

Типи термічної деструкції

Як правило, термічна деструкція полімерів протікає за надзвичайно складною схемою і не може бути описана одним або декількома хімічними реакціями. Ці процеси до теперішнього часу недостатньо добре вивчені. Емпіричні залежності, що відображають фракційні стехіометричні коефіцієнти або універсальні системи елементарних реакцій, не завжди добре корелюють з експериментальними даними.

Типи деструкції прийнято поділяти відповідно до переважаючих типів реакцій, що головним чином продиктовані молекулярною будовою та наявністю каталізаторів:

1. Деструкція в мономерні ланцюги. Цей спосіб деструкції представляє великий практичний інтерес, так як мономери багатьох сполук є високоліквідними продуктами, вартість яких в декілька разів перевищує відповідний паливний еквівалент. Деструкція поліметилметакрилату широко використовується у промислових масштабах та є економічно ефективною. Вартість поставки відходів цього матеріалу становить 300–400 євро/т, а мономер реалізується за ціною до 1500 євро/т. Відповідно, відходи поліметилметакрилату не доцільно перероблювати на альтернативні палива. Одержаний мономер не обов'язково використовується для повторної полімеризації, а часто використовується як присадка, що зменшує залежність в'язкості

мастильних матеріалів від температури; у акрилових лаках значно частіше у вигляді мономеру.

2. *Випадкова фрагментація полімерного ланцюга* (поліетилен, поліпропілен) на фрагменти змінної і проміжної довжини. Розподіл по довжині ланцюгів утворюваних фрагментів в значній мірі відповідає Гауссовому, із середньою молекулярною масою, що безперервно знижується з підвищенням температури і часу деструкції. Таким чином, поліолефіни можуть бути перетворені в парафіни поліетиленового ряду та рідкі вуглеводні широкого фракційного складу з високим вмістом α -олефінів і відсутністю сірки. Ці рідкі вуглеводні за своїми термохімічними властивостями дуже близькі до легкого дизельного палива високою якістю. Навпаки, продукти деструкції поліпропілену містять більше розгалужених з'єднань типу алканів.

3. *Комбінована деструкція* протікає за обома попередніми схемами (полістирол і поліізобутилен). У виробництві полістиролу відходи цього продукту можуть бути перетворені в мономер. Для цього продукт деструкції направляється в ділильні колони, де відразу можуть бути отримані стирол і його олігомери, етилбензол, толуол, бензол і т.п. Однак, великомасштабні виробництва поліпропілену, як правило, не мають, достатньої кількості відходів виробництва для постачання навіть установки малої продуктивності. Слід зазначити, що останнє положення відноситься до сучасних високоефективних хімічних виробництв полістиролу. В даний час в експлуатації знаходиться досить велика кількість виробництв полістиролу, що працюють за застарілими технологіями, де відходи виробництва мають помітні обсяги і підлягають утилізації.

4. *Виділення простих, стійких молекул від суміжних атомів*: деструкція полівінілхлориду призводить до утворення хлористого водню, полівінілацетату до оцтової кислоти; полівінілового спирту до утворення води. Такі продукти термічної деструкції утворюють ненасичені вуглеводні і коксові залишки.

5. *Видалення бічних ланцюгів*, що супроводжується зшиванням і утворенням обвугленого пористого залишку, включаючи нелеткі добавки. Ця схема характерна для термореактивних матеріалів та інших зшитих полімерів.

Полімери і їх можливі продукти деструкції представлені в табл. 3.11.

Таблиця 3.11

Полімери і їх головні можливі продукти деструкції

№ з/п	Полімери	Тип термічної деструкції	Продукти високотемпературної деструкції	Продукти високотемпературної деструкції
1	2	3	4	5
1	Поліетилен	Випадкове руйнування ланцюгів	Воски вуглеводневі, парафінові вуглеводні, а-олефіни	Гази і легкі рідкі вуглеводні
2	Поліпропілен	Випадкове руйнування ланцюгів	Рідкі парафіни (вазелін) олефіни	Гази і легкі рідкі вуглеводні
3	Полівінілхлорид	Видалення хлористого водню, ланцюгова дегідрогенізація і циклізація	Хлористий водень (> 300 °C), бензол	Толуол (> 300 °C)
4	Полістирол	Комбінація деполімеризації і руйнування ланцюгів, формування олігомерів	Стирол і його олігомери	Стирол і його олігомери
5	Поліметил-метакрилат	Деполімеризація	Метилметакрилат	Більш короткі мономери
6	Політетрафторетилен	Деполімеризація	Мономер	Тетрафтор-тілен
7	Поліетилен-терефталат	В-перенесення водню, перестановка атомів і декарбоксилювання	Бензойна кислота і вініловий терефталат	-
8	Поліамід ПА-6	Деполімеризація	Капролактam	-

Типи реакторів і процеси деструкції

Основні процеси газифікації та термічної деструкції класифікуються на основі вивчення їх масових і енергетичних балансів, а також умов експлуатації. Тип реактора дуже впливає на перебіг процесу переробки змішаних полімерних відходів під час газифікації та термічної деструкції, а також якість та кількість альтернативних палив, вироблених в цьому процесі. Працездатність реакторів, остаточний конструктивний вигляд, їх ефективність і продуктивність може бути визначено виключно в результаті експериментальних досліджень і доведення апаратів в реальних умовах експлуатації. Підхід до масштабування реакторів повинен бути вкрай зваженим і враховувати весь комплекс параметрів і характеристик, якими буде володіти новостворюваний реактор. Як показує досвід, просте масштабування не дозволяє створювати ефективні реактори для переробки полімерних відходів. При простому масштабуванні реактори, як правило, не забезпечують необхідних параметрів і характеристик, а найчастіше непрацездатні.

Екструдери. Для переробки полімерних відходів як реактор можливе використання екструдерів, що застосовуються для отримання фасонних виробів з полімерних матеріалів. Однак ці екструдери не відповідають вимогам, які повинні задовольняти термічну деструкцію полімерних матеріалів. Вони є надмірно енерговитратними, оскільки процес екструзії передбачає подачу розм'якшеного полімерного матеріалу під досить великим тиском, що і визначає велику потужність приводу. Крім того, використання стандартних екструдерів для переробки сумішей полімерів, в яких присутні хлорвмісні матеріали, що призводить до передчасного відщеплення хлору від відповідних молекул. Це призводить до порушення технологічного процесу.

Трубчасті реактори. Реактори з нерухомим шаром для термокаталітичної деструкції є традиційними в хімічній технології і забезпечують досить хороші умови процесу, але мають істотні недоліки, що пов'язані з великими розмірами, недостатнім перемішуванням і пластифікацією полімерної сировини подібно реакторам екструдерного типу з одно- або двохгвинтовими шнеками. Використання таких реакторів обмежено.

Оберткові реактори були запропоновані для термічної деструкції відходів гумовотехнічних виробів. Реактор являє собою обертovu піч, подібну на піч для випалення клінкеру. Ці реактори використовувалися для переробки відходів полімерних смол і гуми, а в даний для утилізації полівінілхлориду.

Реактори об'ємного типу з перемішуванням. Ці реактори часто обладнуються системами зовнішнього обігріву та холодильниками флегми, широко використовуються для термічної деструкції рідкої фази полімерів.

Сьогодні використовується каскад таких реакторів з хорошим перемішуванням розплаву для багатоступінчастої термічної деструкції сумішей полімерних відходів. Необхідна теплота реакції для промислових установок забезпечується зовнішнім обігрівом реактора через попутні гази та частину рідких вуглеводнів, а для лабораторних і пілотних установок – електричним обігрівом. Реактори повнорозмірних установок з переробки полімерних відходів мають також безпосередній газовий обігрів, що забезпечується зовнішньою трубчастою піччю, а також обігрів циркулюючої високотемпературної рідини, яка нагрівається в окремому утилізаційному трубчатому теплообміннику. У деяких процесах для підведення тепла реакції використовується циркулюючий теплоносіє у вигляді перегрітої пари, розплаву солей, піску або гальки.

Відомий також процес, де використовуються діелектричні втрати, що є результатами високочастотних коливань електрично-поляризованих молекул. Проблема теплопередачі може бути вирішена неповним окисненням продуктів у реакторі. У цьому випадку до полімерів додають горючі компоненти, згорання яких і часткове окислення полімерів забезпечує нагрів решти полімерних відходів до необхідної температури термічної деструкції. Цей процес представляється недостатньо ефективним через складність забезпечення необхідних температурних режимів, зниження теплотворення кінцевих продуктів і підвищення собівартості через додаткові витрати на горючі компоненти.

У багатьох рідкофазних процесах використовують реактори об'ємного типу, що містять резервуар з розплавом полімерів. Як теплоносіє використовуються розплави свинцю, олова або солей. Такий резервуар має зовнішній нагрів завдяки гарячим газам зі

спеціального топкового пристрою. Вміст резервуара ретельно перемішується з метою отримання гомогенних умов термічної деструкції поліпшення теплопередачі і виключення утворення коксу на перегрітих поверхнях. Можливою альтернативою перемішування за допомогою механічних пристроїв є струйне перемішування, що забезпечується насосами, що перекачують вміст реактора через зовнішню піч або теплообмінник

У процесі по переробці поліетиленів низької густини та атактичного поліпропілену були отримані наступні продукти:

- 4–5 % – газоподібні вуглеводні, головним чином C_1 – C_4 ;
- 90 % – рідкі вуглеводні, що складаються головним чином з n-парафінів, α -олефінів та їх ізомерів;
- 5–6 % – твердий залишок (кокс, залишки наповнювачів, стабілізаторів, пігментів, і т. д.);

Необхідно відзначити потенційні проблеми, які можуть виникнути при реалізації цієї технології:

- закупорювання трубопроводів, особливо, в місцях установки арматури, колін, поворотів потоку і т. п. на лініях подачі розплаву нерозплавленими частинками полімерів, парафінами та коксом.

- на переробних, підприємствах така причина призводила до нерегульованого підвищення тиску в реакторі, виплескуючи частину вмісту реактора через систему живильника і, в решті, до пожежі;

- забруднення і коксування поверхонь теплопередачі;
- недосконала система регулювання рівня розплаву полімерів у реакторі, що призводить до коливань продуктивності та підвищеного утворення коксу через місцевий перегрів теплопередавальної поверхні

Основні типи реакторів, деякі їх характеристики та застосування, наведені в таблиці 3.12.

Таблиця 3.12

Основні типи реакторів, деякі характеристики і застосування

№ з/п	Тип реактора	Характеристика	Застосування
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
1	Екструдний реактор	Обмежена робоча температура. Передчасна дегазація і деструкція полімерів.	Виробництво парафінів з відходів поліетилену
2	Трубчастий реактор	Простота конструктивного виконання апарату.	Плавлення поліолефінів
3	Реактор об'ємного типу з перемішуванням, зовнішнім обігрівом та охолоджувачем флегми.	Традиційний реактор для рідкофазної деструкції полімерів. Перемішування істотно покращує теплопередачу. Виключає закупорювання труб низхідних потоків розплаву.	Змішані відходи. Використовується BASF, Ludwigshafen Chiyoda Engineering Niigata
4	Реактор, що обертається	Самоплив потоку розплаву полімерів	Термічна деструкція поліметіл-метакрилата

Продовження таблиці 3.12

1	2	3	4
5	Реактор псевдо зріженого шару	Псевдо зріжений шар забезпечує високу тепловіддачу, диспергує плавкі півмірки в тонкі шари. Тверді залишки змішані з продуктами деструкції та вимагають тонкої фільтрація дрібнодисперсних частинок (пігменти, наповнювачі, кокс)	
6	Обертова піч-кельн	Простота конструкції апарату, перемішування полімерних відходів і самоплив. Складність ущільнення.	Термічна деструкція полівінілхлориду. Використовується NKK Corporation, Fukuyama, Hiroshima, Japan
7	Автоклав	Реактор для роботи під високим тиском в циклічному режимі	Гідрогенізація

Рідкофазна термічна деструкція часто призводить до отримання рідких фракцій з проміжною точкою кипіння щодо

стандартних палив. Коли як сировину використовують поліолефіни, продуктом термічної деструкції є рідкі вуглеводневі фракції, інтервал кипіння яких зменшується з підвищенням температури деструкції.

Так як більш легкі фракції мають більшу цінність, ніж висококиплячі, представляється доцільним об'єднати термічну деструкцію з дистиляцією, тобто повторно крекувати більш важкі фракції в реакторі. Інша причина того, щоб відокремлювати важкі фракції на ранній стадії процесу – виключити закупорювання апаратів і трубопроводів при стіканні донизу за течією продуктів з високою молекулярною масою (парафінів і т. п.).

Як уже зазначалося, найкращим способом переробки полімерних відходів є відновлення полімерів з вихідними властивостями та виробництво з них вторинної полімерної продукції. Причиною використання термічної деструкції полімерних відходів та отримання альтернативних палив є вимушеним виходом з положення, при якому значна частина полімерних відходів не може бути відновлена до вихідного стану. Це пояснюється складністю сортування за типами полімерів, а також частковою або повною втратою фізико-хімічних властивостей полімерів в результаті багаторазової переробки.

Газифікація - інший шлях, потенційно важливий в переробці відходів вторинної полімерної сировини в промисловості. У цьому процесі полімерні відходи переробляються при подачі нестехіометричної кількості кисню або повітря, а також пари. В результаті процесу конверсії утворюється синтез-газ, який може бути перетворений в аміак, метанол, оксо-спирти (н-бутанол, 2-етилгексанол, ізобутиловий та ізодециловий спирти) або водень. Експериментальні теплогенеруючі установки використовували процеси, в яких звичайні рідкі або розпилювані вугільні палива були замінені розплавами полімерних відходів. Альтернативою є процес переробки змішаних, але з малим вмістом хлору, полімерних відходів в горючий газ, що використовується в доменному виробництві з метою скорочення споживання природного газу під час плавки залізної руди та отримання чавунних чушок.

Гідрування при переробці полімерних відходів широко використовується у промислових масштабах. Деякі із

застосовуваних технологій можуть також використовувати як сировину полімерні відходи з середньою або високою молекулярною масою типу каучуку, пластирів і клеїв, лаків, барвників або покриттів. Термічна деструкція використовувалася також для видалення полімерів з металевих виробів, наприклад, полімерних фарб, полімерних покриттів і т.п. Так як такі виробництва є дрібномасштабними, представляється економічно недоцільним використання складних технологічних процесів отримання альтернативних палив. Отримані вуглеводні продукти піддаються термічній деструкції та каталітичному допалюванню.

Технологічні характеристики полімерних відходів як сировини для отримання альтернативних палив

Виробництво бензину, керосину та дизельного палива з відходів полімерів є ефективним технологічним рішенням економічно доцільним утилізації великих обсягів полімерів, що не можуть повторно використовуватися (регенеруватися) в результаті відомих фізичних процесів.

Процеси піролізу і крекінгу відходів полімерів передбачають термічну деструкцію цих відходів без доступу повітря або інших окиснювачів. Такі процеси забезпечують утилізацію полімерних відходів з отриманням бензину, дизельних та котельних палив. У процесі піролізу, полімерні матеріали нагріваються до високої температури, такої, що їх макромoleкулярні структури стають нестабільними і розщеплюються на більш короткі молекули, приводячи до утворення вуглеводнів широкого хімічного та фракційного складу. Ці вуглеводні можуть бути розділені на неконденсовану газову, конденсовану рідку фракції (що складається з парафінів, олефінів, нафтенів та ароматичних) та твердий залишок (кокс).

Термічна деструкція полімерних відходів, здається простою та зрозумілою. Однак термічний крекінг часто призводить до утворення вуглеводневих палив низької якості, має дуже широкий композиційний склад, що іноді варіюється від легких газів алканового ряду до коксу. Тому необхідно дуже ретельно визначати параметри процесів термічної деструкції, раціональне апаратне оформлення цих процесів з метою отримання товарних продуктів (бензинів, дизельних і котельних палив) високої якості.

Каталітична деструкція призводить до утворення вуглеводневих палив набагато вужчого хімічного та фракційного складу, що забезпечує більш високу якість палив, що можуть бути отримані в цьому процесі.

Піролітична переробка сумішей відходів різних полімерів у палива для транспортних і стаціонарних енергетичних установок відзначається багатьма дослідниками як ефективна альтернатива захоронення таких відходів на полігонах з використанням великих земельних площ і забруднення навколишнього середовища.

На сьогоднішній день каталітична переробка полімерних відходів знайшла комерційне застосування, однак масштаби такої переробки досить обмежені. Розвиток в удосконаленні технології процесів піролізу полімерів, апаратного оформлення цих процесів, а також впровадження енергозберігаючих заходів, привели до того, що в останні роки визначився великий комерційний потенціал такого напрямку утилізації полімерних відходів.

Піроліз

Під час використання низькотемпературного вакуумного піролізу та застосування каталізаторів, вихід рідких вуглеводнів може досягати 80–85 %, при цьому як товарний продукт можуть бути отримані композиції, близькі за властивостями до дизельного палива, керосину, бензину або інші корисні рідкі вуглеводні. В даний час розроблений ряд ефективних каталітичних процесів переробки відходів полімерів, які дозволяють отримувати високооктанові бензини і низькосірчасті легкі дизельні палива. При цьому легке дизельне паливо відповідає або перевищує за екологічними якостями Європейські стандарти. Принциповою особливістю таких технологій є можливість утилізації полімерних відходів, що не можуть бути використані як вторинна сировина для виготовлення товарної продукції і можуть бути тільки захоронені на полігонах.

Важливою перевагою піролізного процесу переробки полімерних відходів в паливо являється наявність принципової можливості перероблювати несортовані суміші забруднених полімерних відходів. Остання обставина є особливо важливою, оскільки відходи полімерів часто змішуються і забруднюються

супутніми матеріалами, на кшталт ґрунту, бруду, алюмінієвої фольги, паперових ярликів і залишків їжі.

Безумовно, ці забруднення технічно можуть бути легко видалені із полімерних відходів, проте ця операція є затратною та призводить до вторинних потоків відходів, таких як стічні води. Таким чином, піролізна технологія переробки змішаних відходів полімерів має великі потенціальні переваги для утилізації відходів, які не можуть бути відсортовані економічно вигідним способом.

Переваги піролізу як технологічного процесу переробки полімерних відходів в рідке паливо полягають в наступному:

- дозволяє переробляти суміші відходів полімерів, що не можуть бути ефективно перероблені в альтернативні товарні продукти;

- дозволяє адаптувати процес для переважаючого отримання певного виду палива (бензину, дизельного чи котельного палива);

- допускає переробку забруднених полімерних відходів (наприклад полімерних виробів побутового, промислового і сільськогосподарського призначення, включаючи пластикові труби для зрошування і т.п.);

- допускає переробку ламінованих і шарових пластиків, багатошарової пакувальної плівки, особливо з шарами алюмінієвої або іншої фольги, які важко й дорого перероблювати традиційними технологіями переробки.

Необхідно зазначити, що більшість товарних полімерів на основі вуглецю і водню добре піддаються піролізу. Це можна пояснити тим, що більшість полімерів містять достатню кількість бічних ланцюгів, що легко руйнуються під час піролізу і, таким чином, будь-які термопластичні полімери можуть бути піддані деструкції. В порядку збільшення розміру бічних ланцюгів можна виділити наступні полімери:

поліетилен —————> поліпропілен —————> поліхлорвініл
пінопласт.

Для відомих технологій деструкції полімерних відходів характерні наступні проблеми:

- циклічність процесів, які являються термодинамічно не ефективними і комерційно не життєдіяльними;

– коксування і нагар на теплопровідній поверхні реакторів за високої температури призводить до швидкого зниження виробництва та необхідності частого зупинення обладнання для виконання регламентних робіт;

– спеченість частинок проміжного теплоносія (піску чи іншого матеріалу) в процесах з використанням псевдозрідженого шару;

– незадовільна якість одержуваних палив;

– відносно високий вміст сірки (100–700 ppm) в кінцевому продукті.

За останні роки розроблено обмежене число ефективних технологічних процесів піролізу, що дозволили подолати ці проблеми.

Термодинамічний крекінг

Технології засновані на термодинамічному крекінгу часто призводять до отримання рідких вугленевих палив низької якості з дуже широким компонентним складом, який може варіюватися від водню до коксу. Тому важливо визначити оптимальні параметри процесу піролізу і використовувати найбільш вигідний каталізатор, щоб отримати товарні продукти (наприклад, бензин чи легке дизельне паливо) із змішаних полімерних залишків.

Вихід продуктів піролізу і склад регулюється не лише температурою процесу, але також і тривалістю перебування сировини в реакторі. Як правило, вища температура піролізу приводить до виходу газоподібних вуглеводнів, що не конденсуються, і зниження виходу рідких палив (бензину і дизельного палива). Оптимальний діапазон температур для виробництва дизельних палив з полімерних відходів лежить в діапазоні 390–425 °С. Дослідження на трубчастому реакторі висунули на перший план важливість короткого часу перебування сировини під час високотемпературного процесу піролізу з метою отримання високого виходу легких олефінів.

Необхідно відзначити, що існує небезпека збільшення виходу газів, що не конденсуються, із збільшенням температури піролізу. В той час, як сумарний вихід продуктів піролізу полімерних відходів збільшується з підвищенням температури процесу (в основному завдяки газам, що не конденсуються), вихід

рідких фракцій виявляється вищим при нижчих температурах піролізу. Склад рідких продуктів піролізу також змінюється з температурою процесу. У загальному випадку вміст аліфатичних з'єднань збільшується при більш низьких температурах піролізу, а при більш високих температурах процесу – домінують ароматичні сполуки.

Каталітичний крекінг

Слабка селективність процесу термічного розкладу поліолефінів дала поштовх розвитку каталітичного крекнігу. При каталітичному крекінгу знижується температура процесу деструкції та знижується діапазон температур кипіння рідких продуктів, що утворюються в результаті цього процесу. В даний час досить добре розроблені і досліджені аморфні каталізatori на основі алюмосилікатів (глинозему) та молекулярних фільтрів для крекніга полімерних відходів із отриманням вуглеводнів широкого фракційного складу.

Каталітичний крекніг має багато переваг перед термічним крекінгом: знижена температура процесу, збільшена швидкість реакції, збільшення виходу ізоалканів і ароматичних вуглеводнів, що характерно для дизельного палива. Вибір відповідних каталізаторів крекніга дозволяє істотно понизити температуру крекніга і керувати виходом бажаних продуктів процесу. Використання каталізаторів не лише знижує енергію активації, зменшує споживання енергії і підвищує ефективність процесу, але може також поліпшити селективність і якість продуктів крекінгу.

Каталізatori, що володіють поверхневими кислотними властивостями і водневими донорами іонів, сприяють ізомеризації продуктів і таким чином збільшують вихід ізомерних вуглеводнів, які позитивно впливають на цетанове число, яким оцінюється якість дизельного палива. Каталізatori, що мають сильніші кислотні властивості, і вищу густину, є ефективнішими в плані деструкції поліолефінів. Проте сильна кислотність і велика пористість приводять до швидшої дезактивації каталізаторів. Каталізatori, що мають помірну кислотність і стійкість до отруєння, є найбільш оптимальними для крекінгу поліолефінів.

Головна проблема використання каталізаторів у процесях крекінгу суміші полімерних відходів – це коксоутворення.

Утворення коксу досить швидко блокує каталізатор і знижує швидкість процесу крекінгу, а отже і якість отриманого палива. Вартість каталізаторів і їх стійкість до отруєння також впливають на їх вибір. Кількість каталізатора, що буде використаний у процесі переробки відходів полімерів у процесі каталітичного крекінгу, як правило, не перевищує 5 % по масі.

Можна виділити наступні проблеми, пов'язані з використанням каталізаторів в процесах крекінгу:

- каталізатор є витратним матеріалом і тому збільшує експлуатаційні витрати;

- каталізатор може мати короткий життєвий цикл через отруєння і дезактивацію;

- каталізатор приводить до збільшених рівнів виходу твердого осаду, який вимагає утилізації.

Сировина для переробки і одержання альтернативних палив

Склад пластмасової сировини для переробки в процесах піролізу та крекінгу має прямий вплив на якість вироблюваних палив, особливо на температуру спалаху, цетанове число, низькотемпературні властивості і вміст гетероатомних сполук (наприклад, сірки, хлору, азоту).

У той час, як полімери типу поліетелентерефталата і поліамідів, отримані методом конденсації, можуть крекінгуватися в мономери у результаті процесу термічної деполімеризації, полімери типу поліетилену, поліпропілену та вінілові полімери дуже важко розкласти на мономери. Ось чому при деполімеризації цих матеріалів домінують випадкові процеси утворення вуглеводневих ланцюгів полімерів і мономерів, які визначають широко номенклатуру компонентів кінцевого продукту крекінгу.

Поліетилен (ПЕ)

Відома велика кількість досліджень процесів термічної і каталітичної деструкції поліетилену високої густини (ПЕВГ або відповідно до іноземної класифікації – HDPE), оскільки це один з головних полімерів в муніципальних твердих відходах.

Деполімеризація і крекінг поліетилену дозволяє отримати переважно дизельне паливо з дуже високим цетановим числом і

дуже високим вмістом парафінів і олефінів. Парафінові вуглеводні – це прямі ланцюги вуглеводнів, що зазвичай присутні в дизельному паливі. Це перші компоненти, які утворюються при конденсації продуктів крекінгу. Схильність парафінових вуглеводнів до кристалізації за низьких температур призводить до утворення желеподібних конгломератів, що може спричиняти блокування паливного фільтру і, кінець кінцем, до переривання подачі палива до двигуна. Кристали парафінів, що утворилися в паливі, призводять до утворення желеподібних суспензій, що також збільшує опір трубопроводів і фільтрів. Ці частки, потрапляючи в елемент, що фільтрує, роблять його мікропористу поверхню непронижною для основного об'єму палива.

Через високу концентрацію лінійних вуглеводнів типу *n*-парафіну в паливі, отриманому з поліетілена, його бажано піддавати ізомеризації з метою зниження температури початку утворення парафінів та з точки зору застигання палива. Розгалужені ізомери не виявляють такої ж самої схильності до кристалізації, як лінійні парафіни та кристали воскоподібних сполук, що утворюються за нижчих температур.

Поліпропілен (ПП)

Рідкі продукти піролізу і крекінгу ПП (або відповідно до іноземної класифікації – РР), містять, олефіни, що нагадують молекулярний скелет ПП (тобто розгалужені вуглеводні). Особливістю крекінгу ПП є переважання утворення специфічного олефіну C_9 в продуктах крекінгу. Кількість фракції C_9 , ідентифікованої як 2,4-диметилгептан, може досягати 25 %. У цих продуктах також присутні олефіни C_5 , C_6 , декілька олефінів типу C_{15} , а також деякі олефіни C_{21} .

Третинні вуглецеві ланцюги в ПП допускають розрив цих ланцюгів і при їх формуванні згідно з механізмом крекінгу по Rice–Kossiakoff, що проілюстроване на рис. 3.16. Газ піролізу ПП, що не конденсується, містить підвищені кількості пропілену, ізобутану та *n*-пентану.

У порівнянні з ПЕ, ПП дає менше коксового залишку і більше рідких продуктів але з підвищеним вмістом легких фракцій. У процесі піролізу ПП переважно відбувається внутрішньо молекулярне, а не міжмолекулярне перенесення радикалів і, таким

чином, переважає невелике утворення олігомерів, що змінює розподіл вуглеводнів у складі дистиляту.

Отже, піроліз ПП дає набагато більше легких вуглеводневих фракцій у порівнянні з ПЕ, розкладаючись головним чином через розриви міжмолекулярних зв'язків радикалів. Відмінності в основі структури цих полімерів важливіші з точки зору техніко-хімічних властивостей палива, які виходять під час піролізу.

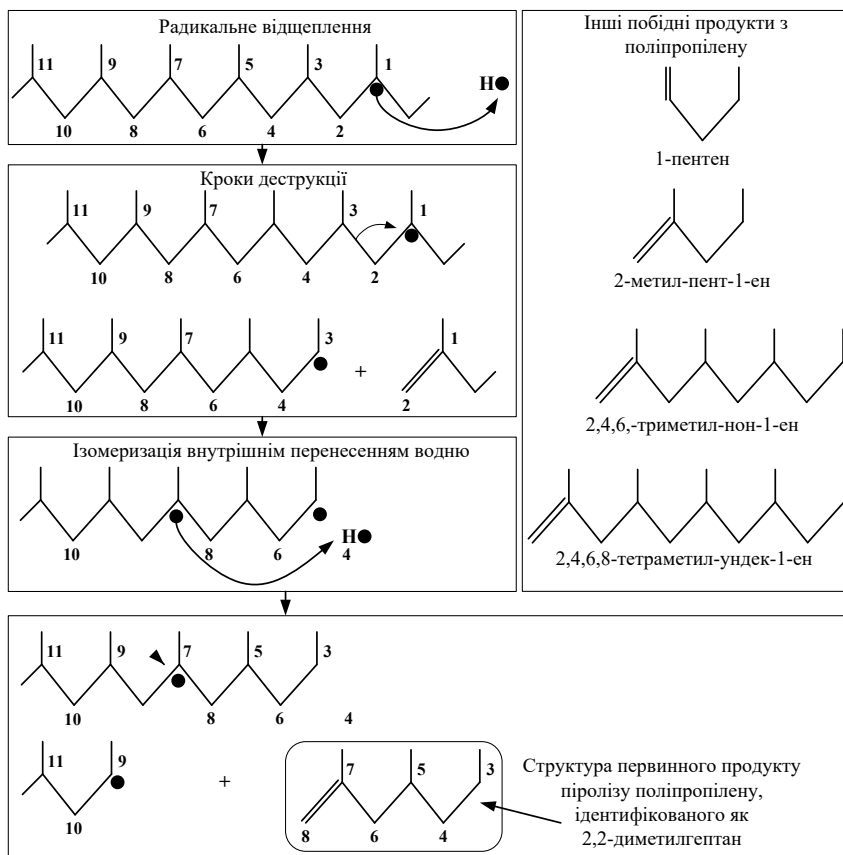


Рис. 3.16. Механізм крекінгу для поліпропілену, що демонструє, що продукти піролізу поліпропілену мають розгалужену структуру

Полістирол (ПС)

Чистий ПС може бути досить ефективно деполімеризований у процесі піролізу в мономер стиролу, що дозволяє отримати рідке паливо з високою енергоємністю. Для досягнення ступеня розкладання полістиролу 0,97 оптимальна температура процесу має становити 395 °С. При цьому з 1 т полістиролу можна отримати до 950 кг рідких мономерів і близько 5 % твердого залишку у вигляді коксу.

Паливо, отримане таким методом з відходів полістиролу, відрізняється високим вмістом ароматичних вуглеводнів і має теплотворну здатність 50 МДж/кг з температурою втрати текучості мінус 67 °С. Проте, температура спалаху цього палива досить низька і складає 26 °С, а цетанове число оцінюється на рівні 12,6. Таке паливо не може бути використане в дизельних двигунах у чистому вигляді, і має змішуватися з паливом, одержаним з поліолефінів або зі стандартним дизельним паливом з метою підвищення температури спалаху та цетанового числа.

ПС має дещо нижчу термічну стабільність, ніж поліолефіни і його піроліз може бути здійснений в діапазоні температур 380–420 °С, з метою збільшення виходу рідких вуглеводнів, зниження виходу газів, що не конденсуються, і коксового залишку. Під час деструкції ПС основними продуктами є етилбензол, толуол, триметилбензол і деякі інші похідні бензолу. Не дивлячись на те, що в цьому полімері більшість атомів вуглецю утворюють фенільні групи, при зазначених температурах утворюється незначна кількість бензолу (1–3 %). Причиною є те, що зв'язки фенільної групи цього полімеру типу арил–алкіл виявляються значно міцнішими, ніж зв'язки алкіл–вуглець в цьому ланцюзі.

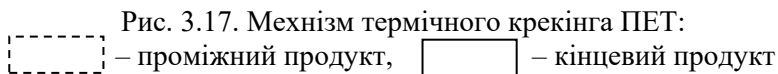
Домінуючими компонентами в продуктах піролізу ПС є: у бензинових фракціях – стирол з температурою кипіння 145 °С, у дизельних фракціях – димер стиролу і тример стиролу з температурою кипіння 400 °С. Такий розподіл складу продуктів піролізу передбачає, що міжмолекулярне перенесення радикалів в полістиролі незначне. Піроліз полістиролу дозволяє отримати дизельне паливо з високим вмістом ароматичних сполук та низькою стабільністю під час зберігання. Високий вміст ароматичних сполук у похідних полістиролу компенсує низьке

цетанове число продуктів піролізу поліетилену під час їх спільної переробки.

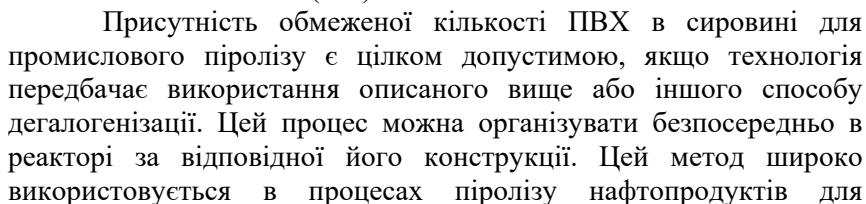
Поліетилентерефталат (ПЕТ)

Піроліз ПЕТ за помірних температур дає переважне утворення тетрафталієвої кислоти (відповідно до іноземної класифікації – ТРА). Оскільки тетрафталієва кислота легко переганяється, її часто знаходять в конденсаційних установках піролізних підприємств. Висока агресивність цього продукту частково компенсується невеликим його виходом. Це пояснюється тим, що за більш високих температур тетрафталієва кислота розкладається на бензол, вуглекислий газ та бензойну кислоту (рис. 3.17).

Піроліз ПЕТ не дозволяє отримувати рідкі продукти. Експериментально встановлено, що продукти піролізу ПЕТ в умовах процесу піддаються сублімації. Тетрафталієва кислота, а також бензойна кислота, отримані в результаті термічного розкладання ПЕТ, викликають серйозні проблеми з технологічним обладнанням. Додавання гідроокису кальцію Ca(OH)_2 дає високий вихід бензолу без утворення продуктів сублімації типу тетрафталієвої кислоти. Вихід бензолу складає приблизно 35 % (мас.) за температури 700 °С з молярним співвідношенням $\text{Ca(OH)}_2/\text{ПЕТ}$ рівним 10.



ПВХ не може бути рекомендований як сировина для промислового виробництва альтернативних палив методом піролізу. Причиною цьому є великий масовий вміст хлору (приблизно 57 %), що негативно впливає на якість дизельного паливата може бути джерелом діоксину, а також соляної кислоти HCl, яка є корозійно агресивною та екологічно небезпечною речовиною. Присутність в полімерній сировині 1–3 % ПВХ призводить до загального рівня хлоридів у паливі на рівні 5000–10000 ppm. Однак, за тих же самих рівнів ПВХ, загальна концентрація хлориду в дизельному паливу може бути зменшена до 10 ppm. Завдяки додаванню $\text{Ca}(\text{OH})_2$ за наступною реакцією:



зниження вмісту хлору з метою мінімізації проблем корозії в елементах двигунів. У процесах піролізу полімерних сумішей, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ може додаватися до сировини на вході в реактор, а вміст ПВХ може бути зменшеним до 2–3 % з метою уникнення відкладень CaCl_2 в трубопроводах установки. Вміст хлору в дизельному паливі не перевищує 10 ppm, що відповідає сучасним стандартам. Головною перешкодою на шляху одержання палива з відходів полімерних матеріалів з відносно високим вмістом ПВХ методом термічного кренінгу, є вартість такого палива. Це пояснюється необхідністю великої кількості $\text{Ca}(\text{OH})_2$ для нейтралізації HCl . У таблиці 3.13 приведені дані, які ілюструють ефект зниження вмісту хлору в паливі залежно від кількості $\text{Ca}(\text{OH})_2$, що використовувався для його нейтралізації. Як сировина використовувалася суміш, що складається з ПЕ (55 % мас.), ПП (28 % мас.) і ПС (17% мас.) за температури деструкції 420 °С.

Таблиця 3.13

Вміст хлору в паливі в залежності від використаної кількості $\text{Ca}(\text{OH})_2$

№ з/п	Вміст $\text{Ca}(\text{OH})_2$, %	Загальний вміст хлору в паливі, мг/л	Вміст HCl у паливі, мг/л
1	2	3	4
1	0	1139,3	490
2	1,2	72,5	26
3	2,0	54,2	20

Як видно з таблиці 3.13 за додавання 1–2 % $\text{Ca}(\text{OH})_2$ можна отримати бажаний рівень вмісту хлору у паливі, що дозволяє використовувати його як дизельне.

Галогенвмісні полімери

Піролізна переробка відходів полімерних матеріалів, що містять атоми галогенів, таких як хлор, фтор, бром, вимагає включення в технологічний процес піролізу спеціального устаткування для попереднього видалення цих елементів методом дегалогенізації. Хлористий водень, що утворився при термічній обробці ПВХ може бути зв'язаний оксидами металів (наприклад

СаО). Полімерні відходи електроніки містять достатньо велику кількість галогенвмісних матеріалів, а також різних металів та наповнювачів, що вимагає вельми великих затрат на нейтралізацію шкідливих компонентів, які утворюються під час технологічного процесу.

3.8.3. Технікохімічні показники палив з полімерної сировини

Дослідженням показників технологічних процесів, що лежать в основі отримання рідких палив з альтернативних ПЕР, присвячена велика кількість публікацій. До моменту початку досліджень більшість з них належали іноземним авторам, та були проведені на зразках вуглеводневої сировини масою одиниці або десятки грамів. В роботах, присвячених ефективності переробки більш значущої кількості сировини, розглядались економічні та організаційні аспекти проблеми отримання альтернативних палив. Технохімічні властивості отриманих палив, а тим більш їх взаємозв'язок з параметрами технологічного процесу його отримання, не приводились, що пояснюється, комерційними та конкурентними міркуваннями. Проведення комплексу досліджень показників альтернативних палив, отриманих з полімерної сировини у складі енергетичної установки та їх взаємозв'язок з параметрами технологічної підсистеми направлено на вироблення вихідних даних для проектування. Це визначило необхідність створення кількох поколінь експериментальних установок для дослідження технологічних процесів підготовки та отримання рідких альтернативних палив з полімерної сировини. В процесі досліджень характеристики отриманих палив послідовно наближались до таких, що типові для моторних палив нафтового походження.

Показники альтернативного палива АП-1, отриманого на експериментальній установці першого покоління – УПП-6, наведено у таблиці 3.14 у порівнянні з такими для палива для ПРД марки ТС-1 згідно з ГСТУ 320.00149943.011 та дизельного палива для автомобільних двигунів ДСТУ 7688:2015.

Таблиця 3.14

**Технохімічний аналіз альтернативного палива, отриманого на
установці першого покоління (УПП-6)**

№ з/п	Показник	Альтер- нативне паливо АП-1	ТС-1 ГСТУ 320.00149 943.011	ДСТУ 7688:2015 Марка Л
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
1	Густина: - за 20 °С, кг/м ³ , не менше - за 15 °С, кг/м ³ , у межах	803	775	860 820— 845
2	Фракційний склад: - $t_{\text{поч. кип.}}$, °С, не вище - 10% відганяється за t , °С, не вище - 20% - 30% - 40% - 50% - 60% - 70% - 80% - 90% - 96% - $t_{\text{кін. кип.}}$, °С, не вище	64 114 136 153 167 186 199 235 272 308 310 (розклад) —	Визнача- ється 175 — — — 225 — — — 270 — 280	— — — — — 280 — — — — 360 —
3	Кінематична в'язкість, мм ² /с: - за 20 °С, не менше - за 40 °С, мм ² /с, у межах	1,7	1,25	— 2 00—4,50

Продовження таблиці 3.14

1	2	3	4	5
4	Кислотність, мг КОН/100 см ³ палива, не вище	40	0,7	н/в*
5	Температура спалаху, °С, не менше	18	28	55
6	Температура помутніння, °С, не вище	мінус 15	—	—
7	Температура застигання, °С, не вище	мінус 18	—	—
8	Масова частка води, %, не більше	0,05	відсутність	0,02
9	Вміст механічних домішок, %, не більше	0,016 (сажа)	відсутність	24 мг/кг
10	Масова частка загальної сірки, % не більше	відсутність	0,25	10 мг/кг
11	Коксівність 10%-го залишку, % не більше	0,054	—	0,3
12	Вміст водорозчинних кислот та лугів	відсутність	відсутність	відсутність
13	Зольність, % не більше	0,022	0,003	0,01

Продовження таблиці 3.14

1	2	3	4	5
14	Вміст металів, % мас.: - Натрій (Na) - Залізо (Fe) - Мідь (Cu) - Кальцій (Ca) - Магній (Mg) - Свинець (Pb) - Алюміній (Al) - Ванадій (V)	$3,0 \cdot 10^{-4}$ $38 \cdot 10^{-4}$ $1,25 \cdot 10^{-4}$ $5,5 \cdot 10^{-4}$ $12,5 \cdot 10^{-4}$ сліди сліди відсутність	— — — — — — —	н/в
15	Коефіцієнт фільтрованості, після 10 замірів, не більше	5,5 (після 5 замірів)	—	н/в
16	Взаємодія з водою: а) стан поверхні розділу б) час деемільсації; с) вміст води в продукті після деемільгу- вання, % д) вміст води в шарі емульсії, %	3 шари: 1 – чисте паливо, 2 – стійка емульсія, 3 – вода 60 0,06 96	1 (бал) — —	н/в

Закінчення таблиці 3.14

1	2	3	4	5
17	Термоокиснювальна стабільність в статичних умовах при 80 °С: - протягом 4 годин, концентрація осаду, мг/100 см ³ палива - кислотне число окисненого продукту, мг КОН/100 см ³	100 67,2	(при 150 – 180 °С, не більше) 18 –	н/в
18	Змішуваність з дизельним паливом: кількість утвореного осаду в суміші, мг/100 см ³	повна 0,22	– –	н/в

* н/в – даний показник не визначається

Як видно з наведених даних, якість палива АП-1 відповідає вимогам до якості суміші бензинокеросинових фракцій нафти, що містить до 10 % важких фракцій з середньою температурою застигання –36 °С. Температура розкладу даного палива в умовах атмосферного тиску є нижчою за температуру перегонки ряду фракцій. Специфічний запах та висока кислотність опосередковано вказують на наявність значної кількості кисневмісних сполук. Порівняно з товарними нафтовими паливами (дизельним паливом і паливом для ПРД) паливо АП-1 володіє невисокою термічною стабільністю, схильністю до утворення стійкого емульсійного шару

на межі паливо-вода, низькою фільтрованістю через фільтр тонкої очистки (5–6 мкм).

Аналіз групового та елементного складу альтернативного палива, отриманого на установці УПП-6 (табл. 3.15), показав, що воно складається в основному з трьох груп вуглеводнів: парафінових, ненасичених та кисневмісних (кислоти, феноли, оксикислоти, альдегіди, кетони, ефіри, спирти).

Таблиця 3.15

**Груповий та елементарний склад альтернативного палива,
отриманого на установці першого покоління (УПП-6)**

№ з/п	Найменування показників	Значення	Метод визначення
1	2	3	4
1	Вміст суми парафінових вуглеводнів, % мас.	45	Через комплекс з карбамідом
2	Вміст суми ненасичених вуглеводнів, % мас.	29,6	ГОСТ 2070
3	Вміст суми кисневмісних сполук, % мас.	13	Через визначення функціональних груп
4	Вміст суми ароматичних вуглеводнів, % мас.	6,3	ГОСТ 6994
5	Вміст суми нафтових вуглеводнів, % мас.	6,1	По різниці з балансу
6	Вміст водню, % мас.	12	Мікровизначення згоранням
7	Вміст вуглецю, % мас.	86	
8	Вміст азоту, % мас.	0,8	
9	Вміст кисню, % мас.	2,1	
10	Середня молекулярна маса	161,5	Кріоскопія
11	Розрахункове цетанове число	38,6	
12	Розрахункова теплотворна здатність, кДж/кг: - вища теплота згорання - нижча теплота згорання	44011 41422	За формулою Менделєєва

Відмінність від товарних палив полягає у підвищеному вмісті ненасичених та кисневмісних сполук, що визначає його низьку термічну стабільність. Вміст водню досягає 12 %, що на 2,0–2,5 % нижче, ніж у товарних бензино-керосинових фракціях, внаслідок чого теплота згорання нижче, ніж у товарних бензинів та палив для ПРД. Це пов'язано з вмістом кисневмісних сполук (13 %). Розрахунок по газовому аналізу виявив присутність до 0,8 % азоту, що також впливає на зменшення теплоти згорання. Порівняно з товарним дизельним паливом, цетанове число альтернативного палива, отриманого на установці УПП-6 нижче на 7–10 од.. Середня молекулярна маса приблизно 161,5 свідчить, що воно містить, в основному, вуглеводні з числом вуглецевих атомів до C_{11-13} . Паливо АП-1 характеризується задовільними експлуатаційними властивостями, а саме вмістом сірки, низькою температурою застигання, невисокою зольністю, достатньою випаровуваністю, відсутністю ванадію та володіє високими енергетичними властивостями.

При обробці технологічних прийомів очищення, виявленні токсикологічного впливу на обслуговуючий персонал та проведенні комплексу класифікаційної оцінки моторних властивостей розглянутий зразок АП може бути використаний як альтернативне паливо для газотурбінних двигунів та ДВЗ.

Аналіз наведених даних виявив необхідність поліпшення показників альтернативного палива, отриманого з відходів полімерної сировини. Це зробило актуальним розроблення нових технологічних рішень та створення стендів другого та третього поколінь для отримання рідких альтернативних вуглеводневих палив. Зразки палив, отриманих на стенді третього покоління, було досліджено методами дистиляційної перегонки, рідинної хроматографії та хромато-мас-спектроскопії. Фізико-хімічні показники бензинової фракції (54–180 °C) визначено у відповідності до ДСТУ 4063:2001, дизельної фракції (180–324 °C) – у відповідності до ДСТУ 7688:2015 (табл. 3.16).

Зміна фракційного складу отриманого палива, залежно від температури в характерній точці системи ССПАТ-1, демонструє інструмент впливу на вихід бензинових та дизельних фракцій альтернативного палива. Слід відзначити, що масова частка важких фракцій (температура кипіння вище 353 °C) є невисокою. Фізико-

хімічний склад бензинової фракції АП отриманого на установці третього покоління, свідчить, що за більшістю кваліфікаційних (нормованих) показників вона відповідає вимогам діючих стандартів (табл. 3.17). Винятком є показник кислотності.

Таблиця 3.16

**Фракційний склад АП, отриманого на установці
третього покоління**

№ з/п	Температура (Т-273), К	Межі кипіння (Т- 273), К	Вихід фракцій, % мас.	Йодне число	Вміст ненаси- чених вугле- воднів, % мас.
1	2	3	4	5	6
1	170	51–186	57,1	9,5	3,9
		186–322	37,0	27,5	20,6
		Залишок	4,0		
		Втрати	1,9		
1	170	51–186	57,1	9,5	3,9
		186–322	37,0	27,5	20,6
		Залишок	4,0		
		Втрати	1,9		
2	190	47–186	46,1	23,3	9,4
		186–322	50,2	36,6	27,4
		Залишок	2,8		
		Втрати	0,9		
3		47–186	45,2		
		186–322	42,8		
		Залишок	10,9		
		Втрати	1,1		
4	210	47–186	37,7	27,7	11,2
		186–322	60,0	51,3	38,4
		Залишок	1,6		
		Втрати	0,7		
5		47–186	28,0		
		186–322	43,6		
		Залишок	27,1		
		Втрати	1,3		

Таблиця 3.17

**Фізико-хімічний склад бензинової фракції АП, отриманого
на установці третього покоління**

№ з/п	Найменування показника	Значення	Метод випробування, стандартне значення
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
1	Густина з температури 20 °С, кг/м ³	711,7	ГОСТ 3900 700–725
2	Фракційний склад: Температура початку перегонки, °С 10% переганяється за температури, °С 50% переганяється за температури, °С 90% переганяється за температури, °С Залишок від перегонки Втрати	47,0 80 133 191 1,4 2,5	ГОСТ 2177 30 75 120 190 1,5 4,0
3	Кислотність, мг КОН на 100 см ³ палива	8,31	ГОСТ 5985, 3,0
4	Масова частка сірки, %	0,013	ГОСТ 19121, 0,05
5	Випробування на мідній пластинці	Витримує	ГОСТ 6321
6	Йодне число, г йоду на 100 см ³ палива	78,4	ГОСТ 2070, не нормується
7	Вміст ненасичених вуглеводнів, за йодним числом	31,8	ГОСТ 2070, не нормується

Індивідуальний склад бензинової фракції досліджували з використанням хромато-мас-спектрометра HP5890/5972 (Hewlett-Packard). Бензинова фракція отриманого АП включає парафінові

вуглеводні (39–41 %), моноолефінові (38–40 %), дієнові та цикломоноолефінові (17 %), а також алкілбензоли та алкенілбензоли (табл. 3.18). Хромато-мас-спектральний аналіз показав можливість використання методик для аналізу структурно-групового та гомологічного складу фракцій палива.

Таблиця 3.18

Структурно-груповий та гомологічний склад бензинової фракції АП, отриманого на установці третього покоління

№ з/п	Найменування типів вуглеводнів	Вміст, % маси	
		Зразок 1, фракція н.к. – 180°C	Усереднений зразок, фракція 54–184°C
1	Парафіни, в тому числі:	41,20	39,40
	пропан	-	-
	бутани	2,40	0,79
	пентани	8,69	7,54
	гексани	4,66	8,00
	гептани	7,70	8,22
	октани	6,18	5,17
	нонани	6,10	4,14
	декани	5044	3,33
	ундекани	-	2,71
2	Моноолефіни	38,90	38,60
3	Дієни та цикломоноолефіни	17,40	16,90
4	Алкілбензоли	1,80	3,10
5	Алеکیلбензоли	0,70	2,0
6	Середня молекулярна маса, а.о.м.	н.о	103,0

Зіставлення складу бензинової фракції АП та бензинів нафтового походження вказує на дуже близький вміст парафінових вуглеводнів (рис. 3.18, 3.19). Однак в кількостях моноолефінових вуглеводнів та алкілбензолів виявлені суттєві розбіжності.

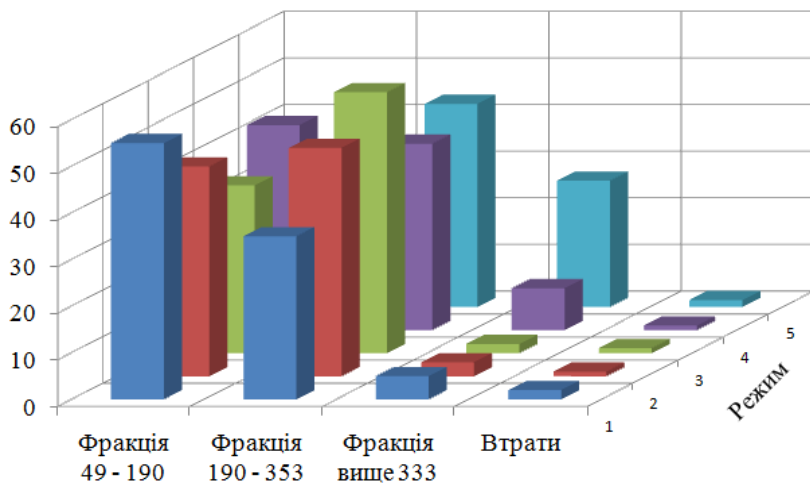


Рис. 3.18. Масова частка фракцій альтернативного рідкого вуглеводневого палива, % (режими 1–5 – див. табл. 3.16)

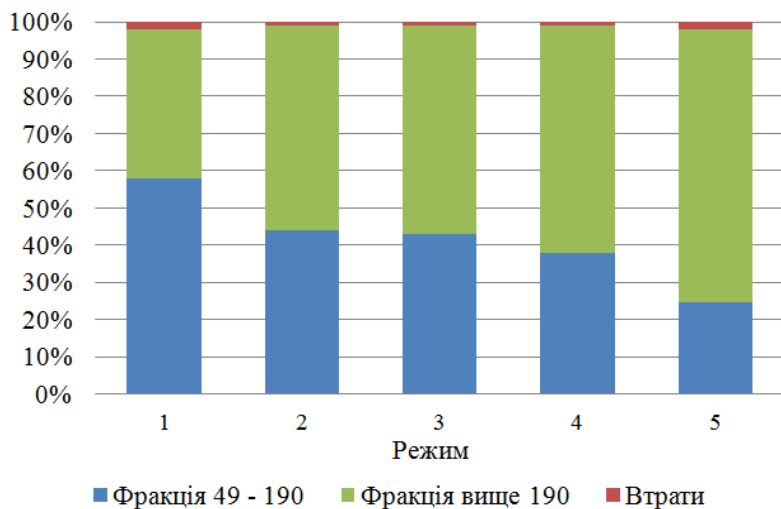


Рис. 3.19. Масова частка фракцій альтернативного рідкого вуглеводневого палива, % (режими 1–5 – див. табл. 3.16)

Фізико-хімічний склад *дизельної фракції* АП (180–324 °С), отриманого на установці третього покоління свідчить, що за більшістю кваліфікаційних (нормованих) показників даний склад відповідає вимогам діючих стандартів на літнє дизельне паливо (табл. 3.19). Винятком є показник вмісту ненасичених вуглеводнів (визначений за значенням йодного числа) та знижена величина густини за температури 20 °С.

Структурно-груповий та гомологічний склад дизельної фракції АП визначено за мас-спектральним аналізом. Фракція включає парафінові вуглеводні (36–39 %) моноолефінові та моноциклічні нафтеніві (50–51 %) дієнові та цікломоноолефінові (7 %), а також алкілбензоли та алкенілбензоли. Порівняння структурно-групового та гомологічного складу дизельної фракції АП та нафтових дизельних палив показано на рис. 3.20, 3.21. Дані свідчать про близькість складу дизельної фракції та нафтових дизельних палив. Істотна відмінність виявлена лише у вмісті ароматичних вуглеводнів.

Таблиця 3.19

**Фізико-хімічний склад дизельної фракції АП, одержаного на
установці третього покоління**

№ з/п	Найменування показника	Значення		Метод випро- бування
		АП	Дизельне паливо	
1	2	3	4	5
1	Початок кипіння, °С	180		ДСТУ 2177
2	Кінець кипіння без димності	324	370	ДСТУ 2177
3	Кінематична в'язкість за температури 20 °С, мм ² /с	2,88	3,0–6,0	ДСТУ 33
4	Масова частка сірки, %	0,026	0,05–0,5	ДСТУ19121
5	Температура застигання, °С	мінус 6	мінус 10	ДСТУ 20287
6	Температура спалаху в закритому тиглі, °С	60	40–62	ДСТУ 6356
7	Випробування на мідній пластинці	Витримує		ДСТУ 6321
8	Концентрація фактичних смол 100 мг/см ³ палива	28,0	40,0	ДСТУ 8489
9	Кислотність мг КОН/100 см ³ палива	4,51	5,0	ДСТУ 2070
10	Йодне число, г йоду/100 см ³ палива	42,4	6,0	ДСТУ 2070
11	Вміст ненасичених вуглеводнів по йодному числу, % мас	31,7	5,0 (не більше)	ДСТУ 2070
12	Густина за температури 20 °С, кг/м ³	788,8	860,0 (не більше)	ДСТУ 3900

Гексанова фракція АП (більше 324 °С) досліджена методами безпосереднього мас-спектрального аналізу. Детальний мас-спектральний аналіз показав, що розглянута фракція містить 33–34 % парафінових вуглеводнів, 37–38 % моноолефінових в

суміші з моноциклическими нафтовими, 16–17 % дієнових та циклоолефінових, а також близько 2 % ароматичних вуглеводнів.

Таким чином, проведені дослідження властивостей фракцій альтернативного палива продемонстрували можливість його використання як палива для ДВЗ та газотурбінних двигунів. Основні технохімічні показники альтернативного моторного палива, що одержують з відходів полімерів за раціонального поєднання параметрів технологічного процесу наведені в таблиці 3.20. Для порівняння наведено показники дизельного палива.

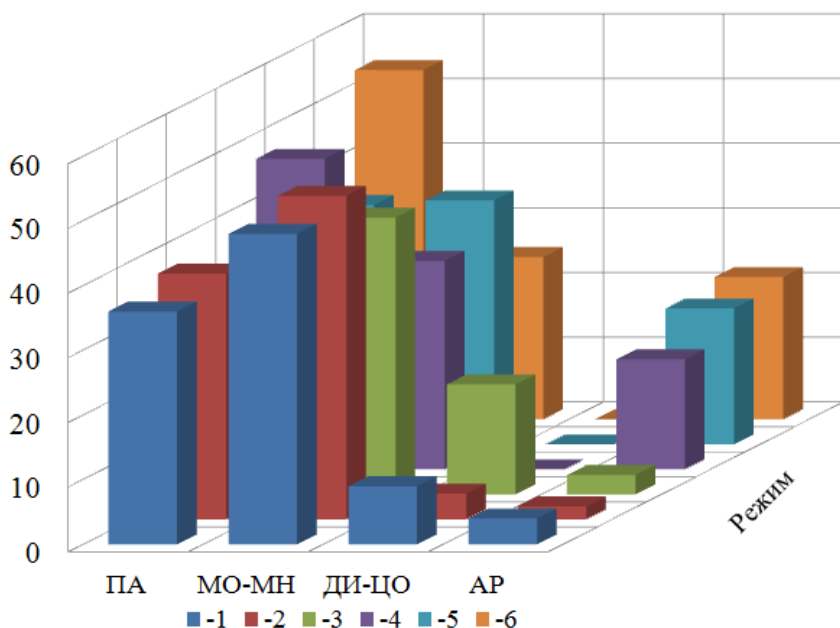


Рис. 3.20. Масова частка компонентів дизельної фракції АП, %:
1, 2, 3 – зразки АП (див. табл. 3.16), 4, 5, 6 – зразки дизельного палива за ДСТУ 3868. ПА – парфіни, МО – моноолефіни, МН – моноциклическі нафтени, ДИ – дієни, ЦО – циклоолефіни, АР – ароматичні вуглеводні

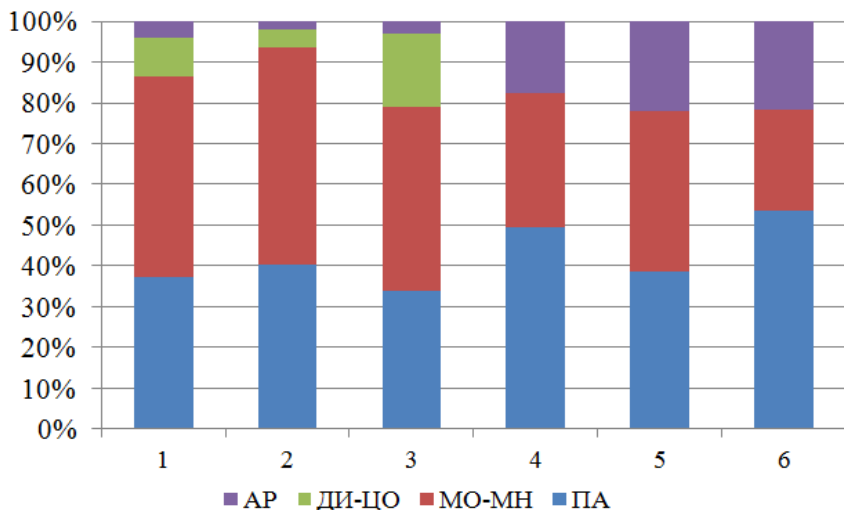


Рис. 3.21. Масова частка компонентів дизельної фракції АП, %:
 1, 2, 3 – зразки АП (див. табл. 3.16), 4, 5, 6 – зразки дизельного палива за ДСТУ 3868. ПА – парфіни, МО – моноолефіни, МН – моноциклічні нафтени, ДИ – дієни, ЦО – циклоолефіни, АР – ароматичні вуглеводні

Таблиця 3.20

Основні технікохімічні показники палива

Показники			АП	Дизельн е паливо
1	2	3	4	5
Фракційний склад, мас.%	Діапазон температур кипіння	49–190	38,9	3–4
Структурно- груповий склад, % мас.	Вуглеводні	Парафінові	40,1	49–52
		Моноолефінові	48,8	35–29
		Дієнові	11,1	14–19
Кінематична в'язкість за температури 20 °С, мм²/с			2,88	3,2

1	2	3	4	5
Густина за температури 20 °С, кг/м ³			729	840
Температура кипіння 50 %, °С			230– 240	280
Питома нижча теплота згорання, МДж/кг			43,10	42,0

3.9. Моторні палива з водоростевої сировини

Сьогодні людство є свідком нової революції в області отримання з нехарчової відновлюваної сировини палив, що за своїми властивостями практично не відрізняються від традиційних палив та здатні в майбутньому замінити їх. Використання таких палив не потребує внесення конструкційних змін до двигунів, що пристосовані до роботи на традиційних паливах нафтового походження. Іншими словами, мова йде про створення у промислових масштабах моторного палива на основі нового типу відновлюваної сировини. Як таку сировину сьогодні пропонують використання водоростей.

Сьогодні, як відомо, біопалива, що виробляють з водоростевої біомаси відносять до біопалив третього покоління. На думку вчених перероблення водоростей дасть змогу отримати різні види палива з накопиченої біомаси (рис. 3.22).

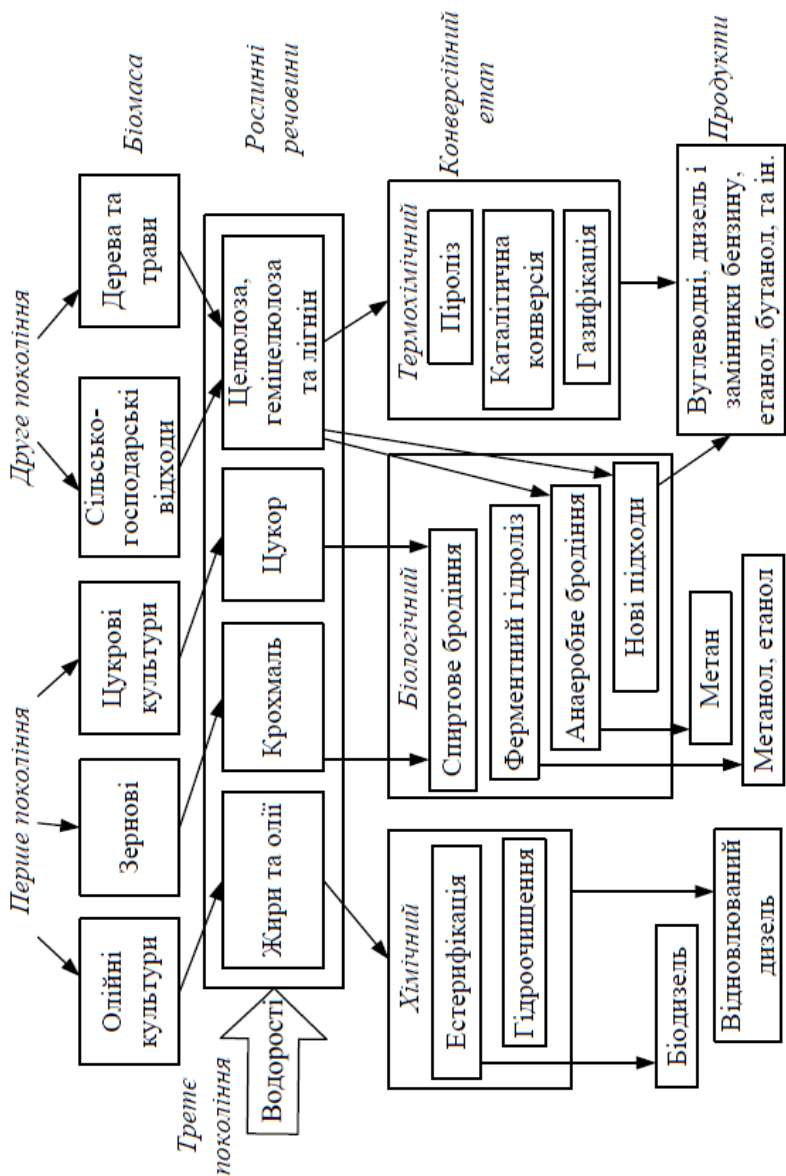


Рис. 3.22. Різноманіття біопалив, що можуть вироблятися з водоростевої сировини

Водорості – це водні організми, що можуть складатися з однієї клітини розміром з мільйонну частину метра – *мікроводорості*. Але існують і багатоклітинні водорості-гіганти, що досягають довжини 40 метрів – *макрроводорості*. Вміст в їх складі хлорофілу зумовлює можливість вироблення речовин через поглинання кисню і перетворення його в органічний вуглець, який є основною формою біологічних істот на нашій планеті. Але найбільш цінними з енергетичної точки зору, як біопаливо, є дрібні водорості, що мешкають не тільки в морі, а й в прісних водоймах. Сьогодні мікрроводорості прийнято називати одноклітинними «фабриками» з переробки сонячної енергії та вуглекислого газу в біопаливо. Особливо їх багато утворюється на болотах і в замкнутих системах. Оскільки водорості належать до класу рослин, то сонце, вода і повітря є основними компонентами, необхідними для росту. Водорості – найбільш швидкоростучі рослини у світі, вони можуть подвоювати свою масу декілька разів на день. В результаті фотохімічної реакції синтезуються біологічно активні речовини, що акумулюють в собі енергію сонця. Для живого організму головним енергетичним компонентом, крім вуглеводів, є ліпіди, тобто карбонові кислоти. Їх частка у загальній масі рослини становить від кількох до десятків відсотків. У свою чергу водорості містять рекордну кількість олії (до 80 %) та не мають аналогів в рослинному світі за цим показником. Звідси й підвищений інтерес дослідників до водоростей, як потенційного джерела енергії. Їх можуть використовувати для виробництва моторних палив, що за своїми показниками якості не відрізняються від традиційних.

Існують водорості (генетично-модифіковані), які здатні подвоювати свою масу декілька разів на день. Більше того, в деяких видах водоростей кількість тригліцеридів складає більше половини їх маси. Стає очевидним, що не один вид з існуючих наземних рослин не здатен конкурувати з водоростями за ефективністю процесу фотосинтезу, що лежить в основі їх урожайності, та за вмістом олій а, відповідно, енергії в них.

Потенціал виробництва олії з інших сільськогосподарських культур характеризується наступними показниками: кукурудзяної олії становить 172 л/га в рік, пальмової олії – 595 л/га, а олії з типових «енергетичних» водоростей – до 9500 л/га в рік за умови вирощування їх у відкритих водоймах.

Водорості у процесі виробництва енергоносіїв перетворюють вуглекислий газ з проблеми у фактор прибутку. При цьому вуглекислий газ перетворюється на найважливіший ресурс зв'язаного вуглецю – ресурс, що можна поставити на промислову основу. Вирощуючи водорості з вуглекислоти з фотосинтетичною ефективністю 5–10 % та за мінімальних затрат води, на землях, що непридатні для сільськогосподарського використання, можна отримати або біопаливо, або сировину для хімічної промисловості.

Переваги виробництва біопалив з водоростевої сировини.

До факторів, що вказують на доцільність та ефективність використання водоростей як сировини для вироблення біопалив, слід віднести.

1. Водорості є джерелом олій, протеїнів, вуглеводів, а також відмінною сировиною для виробництва замінича природного газу та інших енергетичних продуктів.

2. Енергетичний потенціал водоростей в 50–100 разів перевищує потенціал олійних культур (ріпаку, соняшнику), які є відомою сировиною для отримання біодизелю. Відомо, що на один гектар соняшник дає 0,8 т олії, ріпак – 1 т, а мікроводорість хлорелла – 79,3 т.

3. Водорості ростуть в 20–30 разів швидше наземних рослин.

4. Безвідходність виробництва – в процесі переробки сировини використовується вся біомаса водоростей.

5. Витрати на вирощування водоростей на порядки менше витрат на вирощування олійних культур, особливо якщо врахувати, що використовується теплова енергія (для підігріву води в розпліднику у разі необхідності) і вуглекислий газ є побічними продуктами основного виробництва.

6. Відсутність у водоростей твердої оболонки і лігніну робить їх переробку в рідкі палива більш простою і ефективною.

7. Можливість вирощування водоростей у всіх водах (прісній, солоній, стічній та ін.). Тут також слід відзначити здатність водоростей очищати навколишнє середовище від забруднень, оскільки вони здатні використовувати для харчування забруднені нітратами і фосфатами стічні води, поглинати оксиди азоту, якими так багаті промислові викиди. В процесі своєї

життєдіяльності водорості перетворюють шкідливі речовини, що знаходяться у воді, в корисну речовину – біомасу. При цьому забруднена стічна вода не впливає на їх ріст.

8. Можливість промислового вирощування водоростей в біореакторах та фотобіореакторах, що будуть освітлюватись штучними джерелами світла, або у відкритих ставках на непридатних для вирощування с/г культур землях, включаючи пустелі. Фотобіореактори вмонтовуються в технологічні лінії уже існуючих промислових підприємств (ТЕЦ), нафтохімічні виробництва, цементні заводи).

9. Це нехарчова біомаса, тому їх використання у такому вигляді не впливає на фактор продовольчої безпеки.

10. Екологічний ефект: водорості не тільки зменшують викиди парникових газів CO_2 (вони поглинають до 90 % вуглекислого газу), але і відновлюють склад атмосфери в процесі своєї життєдіяльності.

11. Технологічний процес виробництва моторних палив з водоростей практично безвідходний. Після отримання палива сухі відходи біомаси водоростей зберігають усі необхідні вітаміни і цінні речовини, тому можуть бути використані, як кормові добавки в рибних господарствах та тваринницьких фермах. Крім того є можливим перетворення відходів ще в один з видів енергоносіїв – паливні брикети. В результаті, при раціональному підході до цього питання виникає практично безвідходне та економічно ефективне виробництво.

Технології виробництва біопалив з водоростевої сировини.

Щодо технологій видобутку з водоростей біопалива – тут існує багато різних варіантів. Так, наприклад, вчені з Тихоокеанської національної північно-західної лабораторії Міністерства енергетики США пропонують перетворювати водорості на нафту, імітуючи природний процес за допомогою спеціалізованого реактора, в який вводять гарячу воду під тиском 20,7 МПа за температури 350 °С. Розроблена ними технологія різко прискорює процес, тому менш ніж за годину з реактору отримують нафту і невелику кількість біогазу, з якого можна отримувати метан.

В Японії, де виробляється дуже велика кількість водоростей, є досить велика проблема з утилізацією водоростей, які наминаються на берег, адже ці водорості починають гнити і виділяти специфічний запах. Утилізація таких відходів потребує додаткових затрат. Японські дослідники розробили систему бродіння біомаси, яка утилізує наміті на берег водорості для виробництва палива, що використовують на отримання електроенергії. В Японії компанія Tokyo Gas і NEDO для отримання метану запропонувала технологію бродіння біомаси морських водоростей із застосуванням мікроорганізмів. Видобутий з водоростей метан направляється в газовий двигун, що обертає електричний генератор. Розробниками заявлено, що така установка переробляє 1 т водоростей у день, з виходом метану – 20 тис. м³. Для підвищення потужності генератора до газу, отриманого від водоростей, домішують ще й природний. У результаті генераторна установка виробляє потужність у 10 кВт, якої достатньо для опалювання 20 будинків.

До більш традиційних технологій отримання біопалива з водоростей (спиртів, метану, біодизелю, водню з синтез-газом, брикетів твердої біомаси) можна віднести екстракцію (в т.ч. ультразвукову), переетерифікацію, ферментацію, анаеробну переробку, газифікацію і сушку.

Промислове виробництво біопалива потребує спеціальної організації підготовки сировини. Тобто дуже важливим в такій ситуації є саме процес вирощування біомаси водоростей. Існують 3 способи вирощування біомаси водоростей: у *відкритих басейнах*, в *закритих басейнах* та у *фотобіореакторах*.

У *відкритих басейнах* водорості вирощують в тих місцевостях, де це можливо за екологічними і кліматичними показниками (водорості потребують температури навколишнього середовища не нижче +15 °С). Такий спосіб застосовується в Болгарії, Італії, Ізраїлі, Мексиці, Чилі, Бразилії, Таїланді, Індії, Китаї, США (Каліфорнія), Середній Азії та Казахстані. Він більш економічний, але дає менше врожаю. Крім того, при такому способі дуже важко контролювати чистоту штамів мікроорганізмів.

Закриті системи культивування біомаси водоростей являють собою теплиці з фотосинтезуючими блоками, які розташовують зазвичай максимально близько до тепла і сонця.

Такий спосіб вирощування біомаси використовується здебільшого в країнах з холодним кліматом.

Фотобіореактори забезпечують велику врожайність за короткий час та можуть використовуватись будь-де, незважаючи на екологічні та кліматичні умови. Крім того, вони дозволяють впливати на якість вирощуваної біомаси, а саме – на вміст олії у сировині. Бо, хоча водорості є високоефективними перетворювачами сонячної енергії у відновлювану біомасу, більшість відомих водоростей запасає сонячну енергію у вигляді цукрів, а не у вигляді необхідних масел (жирів або ліпідів), тобто триацилгліцеридів або фосфоліпідів. За наявності світла, вуглекислого газу і деяких мікроелементів, більшість водоростей запасає у вигляді жирів всього близько 15–20% від своєї сухої ваги. Тільки за певних умов водорості здатні «перемикатися» на процес відомий як «ліпідний тригер» і запасати усередині своїх клітин продукти фотосинтезу у вигляді олій.

В фотобіореакторах є можливість створити найбільш сприятливі умови для культивування у біомасі саме тих речовин, які потрібні в тому чи іншому випадку. Вони дозволяють забезпечити водорості необхідними поживними речовинами, вуглекислим газом, стабільним значенням рН середовища, підтримкою осмотичності середовища, однорідністю складу середовища, забезпечують контроль та регулювання температури середовища.

Щоб отримати краще уявлення про переваги і недоліки водоростей, дослідницька група з Університету Вірджинії в Шарлотсвілі (США) розглянула енергетичні витрати й екологічні наслідки виробництва водоростей для отримання палива. Потім група порівняння їх з аналогічними значеннями для конкурентів водоростей – кукурудзи, ріпаку і американського проса (*switchgrass*). Аналіз життєвого циклу водоростей, в якому використовували дані з онлайнових баз даних і опублікованих наукових досліджень, показує, що в господарствах з вирощування водоростей необхідно звести до мінімуму використання добрив і прісної води, щоб конкурувати з іншими біопаливними рослинами. Один зі способів реалізації цього проекту – це розміщення операції з продукування водоростей поруч з очисними спорудами або об'єктами, які виділяють двоокис вуглецю.

Зарубіжні країни вже мають певний досвід у використанні водоростей як сировини для отримання біопалива. Зокрема, ізраїльська фірма TOB Seambiotic запропонувала технологію, яка дозволяє промислове культивування морських водоростей за допомогою діоксиду вуглецю, який виділяється разом з викидами електростанцій.

Корпорація GreenFuel Technologies (США) розробила технологію вирощування водоростей Emissions-to-Biofuels, яка працює на викидах ТЕЦ. В 2013 р. Південна Корея запровадила нову технологію, що дозволить отримувати біопаливо з водоростей ламинарії. Таких водоростей вздовж корейських кордонів є досить багато. Південнокорейські вчені проводять різні тести і працюють над вдосконаленням технології. Вони стверджують, що на даному етапі розвитку технології, вартість переробки 1 т водоростей в біопаливо складе приблизно 4300 доларів США. Але, на цьому інженери не зупиняються і прагнуть знизити вартість отримання біопалива до суми 430 доларів за тонну. За їх підрахунками, з тонни таких водоростей можна одержати приблизно 1 млн. літрів біопалива.

Наша держава має багатий досвід вирощування водоростей. Україна першою почала промислове вирощування синьо-зеленої водорості хлорели. В 70-90 рр. минулого сторіччя було збудовано глибинні установки на 70-ти тваринницьких фермах. Також Україна є 151-ою серед країн, що освоїли вирощування спіруліни. Впровадження в Україні водоростевого палива гальмується через відсутність штамів. Біологічні дослідні інститути Національної академії наук України та Української аграрної академії наук не мають, не зберігають, не колекціонують штамів водоростей. Штами промислово використовуваних водоростей коштують недешево.

Важливість розвитку виробництва біопалива третього покоління визнається в Україні і на загальнодержавному рівні. В концепції нового етапу цільової комплексної програми наукових досліджень НАН України «Біомаса як паливна сировина» («Біопалива») на 2010–2012 рр. Затвердженій постановою Президії НАН України від 23.06.2010 № 199 серед інших пріоритетних заходів зазначається формування нових штамів мікроорганізмів,

грибів та мікроводоростей, а також розвиток їх ресурсної генетичної бази для отримання рідких біопалив.

Відомо, що в Україні вже існують розробки в сфері виробництва палив з водоростевої сировини. Першими з такою ініціативою виступили фахівці ВАТ «БіодизельДніпро» (м. Дніпро), якими було розроблено свою технологію і обладнання для виробництва мікроводоростей та отримання олій для виготовлення біопалива.

У напрямку налагодження виробництва біопалива з мікроводоростей сміливі кроки вже робить ДНВК «Київський інститут автоматики». Разом із співвиконавцями завершено стадію розробки технічного завдання і технічної пропозиції. Аналіз наукових розробок та інженерних досягнень показав, що широкомасштабне виробництво водоростей і їх переробка дозволяє не тільки отримувати біодизель, а також біогаз і біоетанол. А це дасть змогу суттєво підвищити вітчизняну енергетичну незалежність і в подальшому повністю забезпечити вітчизняні енергетичні потреби за рахунок вітчизняних біологічних палив. В цілому ДНВК «Київський інститут автоматики» разом із співвиконавцями готовий терміново розпочати розробку проектно-конструкторської документації на створення дослідно-експериментального виробництва біопалива з мікроводоростей та пропонує доопрацювати Програму розвитку біопалива під вирощування мікроводоростей із залученням до цього інших підприємств Міністерства промислової політики України. Серед фірм, що діють на ринку України “EcoFuelUkraine” впроваджує технологію виробництва біопалива із водоростей.

На сьогодні, в умовах енергетичної кризи, створились реальні умови для розвитку альтернативних джерел енергії, зокрема, виробництва біопалива. Фахівці впевнені, що технологія виробництва біопалива з мікроводоростей має ряд суттєвих переваг перед виробництвом біопалива з олійних культур, ріпаку. Біопаливо з водоростей – проект, безумовно, дуже перспективний, проте поки він знаходиться на стадії експериментальної розробки.

Питання для самоперевірки

1. Охарактеризуйте основні тенденції екологізації сучасної авіаційної галузі.
2. Охарактеризуйте перспективи використання газоподібних моторних палив.
3. Порівняйте основні показники якості бензину та газоподібних палив.
4. Охарактеризуйте перспективи використання водневого палива.
5. Які ви знаєте види відновлюваної сировини для виробництва біодизельного палива?
6. У чому полягає суть процесу ацидлізу рослинних олій? На скільки даний процес є ефективним для виробництва біодизелю?
7. У чому полягає суть процесу алкоголізу рослинних олій? На скільки даний процес є ефективним для виробництва біодизелю?
8. У чому полягає суть процесу переестерифікації рослинних олій? На скільки даний процес є ефективним для виробництва біодизелю?
9. Порівняйте основні показники якості біодизельних та традиційних дизельних палив.
10. У чому полягають основні переваги та недоліки використання біодизельного палива?
11. Які ви знаєте види сировини для виробництва біоетанолу? У чому їх відмінність?
12. Сформулюйте критерії до вибору сировини для виробництва біоетанолу?
13. Наведіть основні стадії преробки крохмальвмісної сировини на біоетанол.
14. Наведіть основні стадії преробки цукровмісної сировини на біоетанол.
15. У чому полягають особливості використання метанолу як добавки до автомобільних бензинів?
16. У чому полягають основні переваги та недоліки використання біодизельного палива?
17. Як сьогодні класифікують альтернативні авіаційні палива відповідно до сировини?

18. Сформулюйте загальні технічні вимоги, що ставляться до авіаційних палив?
19. Опишіть процес отримання альтернативних авіаційних палив з нафтових сланців.
20. Опишіть процес отримання альтернативних авіаційних палив синтезом Фішера-Тропша. Яка сировина може використовуватися?
21. Опишіть процес отримання альтернативних авіаційних палив гідрогенізацією жировмісної сировини.
22. Опишіть процес отримання альтернативних авіаційних палив естерифікацією жировмісної сировини.
23. У чому полягають основні переваги та недоліки використання альтернативних авіаційних палив?
24. Які ви знаєте способи отримання водню?
25. Охарактеризуйте основні напрями використання водневого палива.
26. У чому полягає принцип дії ДВЗ на водні?
27. У чому полягає принцип дії паливних елементів?
28. У чому полягає принцип дії електричних двигунів електромобілів?
29. Охарактеризуйте основні напрями використання відходів для забезпечення потреб енергетики.
30. Які ви знаєте методи переробки відходів? Наведіть коротку характеристику.
31. Охарактеризуйте основні ресурси полімерної сировини для отримання альтернативних палив.
32. Які ви знаєте типи процесів деструкції полімерних відходів? Наведіть коротку характеристику.
33. Порівняйте основні показники якості альтернативного палива на основі полімерних відходів та традиційного палива для ПРД.
34. Порівняйте основні показники якості альтернативного палива на основі полімерних відходів та традиційного бензину.
35. Порівняйте основні показники якості альтернативного палива на основі полімерних відходів та традиційного дизельного палива.
36. Охарактеризуйте перспективи використання

альтернативних моторних палив на основі водоростевої сировини.

37. Наведіть основні переваги та недоліки використання водоростевої сировини для виробництва альтернативних моторних палив.

ЛІТЕРАТУРА

1. Адаменко О.М. Альтернативні палива та інші нетрадиційні джерела енергії: [монографія] / О.М. Адаменко. – Івано-Франківськ: ІМЕ, 2010. – 432 с.
2. Альтернативна енергетика / [М. Д. Мельничук, В. О. Дубровін, В. Г. Мироненко та ін.]. – Київ: Аграр Медіа Груп, 2012. – 244 с.
3. Альтернативні палива та інші нетрадиційні джерела енергії: підручник / О. Адаменко, В. Височанський, В. Льотко, М. Михайлів. – Івано-Франківськ: Полум'я, 2000. – 256 с.
4. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України / НАН України / [Електронний ресурс].-URL: http://www.intelcenter.com.ua/rus/library/atlas_alten_UA.htmBoichenko S. V. Aviation Fuels and Lubricants: Manual / S. V. Boichenko, M. M. Zakharchuk. – К.: НАУ, 2012. – 184 p.
5. Білоцький, С. Д. Роль міжнародного права у розвитку екологічної альтернативи сучасній енергетиці / С. Д. Білоцький // Альтернативна енергетика і енергетична безпека в міжнародному і національному праві. Тематичний додаток до Українського щорічника міжнародного права. – К.:«Фенікс», 2012. – 298 с. – С. 11–130.
6. Boichenko S., Aksionov O, Topilnytskyi P., Pushak A., Lejda K. / under the general editorship of prof. Sergii Boichenko. Selected aspects of providing the chemmotological reliability of the engineering: Monograph. – К.: Center for Educational Literature, 2019. – 342 p.
7. Бойченко С. Аналіз екологічних властивостей компонентів традиційних і альтернативних авіаційних бензинів / С. Бойченко, Л. Павлюх, І. Шкільнюк, А. Яковлева, І. Матвєєва, А. Гудзь // Наукоємні технології. – 2019. – №2(42). – С. 195–206.
8. Boichenko S. V. Aviation Fuels and Lubricants: Manual / S. V. Boichenko, M. M. Zakharchuk. – К.: НАУ, 2012. – 184 p.
9. Бойченко С.В., Іванченко О.В., Лейда К., Фролов В.Ф., Яковлева А.В. Екологістика, рециклінг і утилізація транспорту: навчальний посібник. – К.: НАУ, 2019. – 266 с.

10. Бойченко С., Пушак А., Топільницький П., Любінін Й., Лейда К. Оливи. Моторні, турбінні, гідравлічні та трансмісійні: властивості та якість: підручник. – К.: Центр учбової літератури, 2019. – 323 с.
11. Бойченко С. В. Екологічні властивості газорідних палив / С. В. Бойченко, Л. М. Черняк, О. В. Полякова, О. О. Степенко // Вісник НАУ, – №1(42)/2010. – С. 212–218.
12. Boichenko S. V. Fundamentals of Chemmotology: manual / S. V. Boichenko, A. V. Yakovlieva, O. O. Vovk, M. M. Radomska, L. M. Cherniak, I. O. Shkilniuk. K.: National Aviation University, 2019, 296 p.
13. Boychenko S. Quality and Ecological safety of motor fuels / S. Boychenko S., Vovk O., Chernyak L., Akinina K. // Chemistry & Chemical Technology. – 2007. – № 6. – С. 109–115.
14. Бойченко С. В. Мониторинг антропологической деятельности в сфере использования нефтяных источников энергии / С. В. Бойченко, О. Л. Матвеева // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1999. – № 5. – С. 54–57.
15. Бойченко С. В. Моніторинг використання палива для транспортних засобів // Проблеми загальної енергетики. – 2001. – № 5. – С. 49–51.
16. Бойченко С. В. Моторные топлива и масла для современной техники. / С. В. Бойченко, С. В. Иванов, В. Г. Бурлака. – К.: НАУ, 2005. – 216 с.
17. Бойченко С. В. Рациональное використання вуглеводневих палив. – К.: НАУ, 2001. – 216 с.
18. Boichenko S.V., Yakovlieva A.V., Vovk O.O., Radomska M.M., Cherniak L.M., Shkilniuk I.O. Fundamentals of chemmotology: manual. – Kyiv: National Aviation University, 2019. – 296 p.
19. Бородіна О. Відтворювальна енергетика – перспективи для сільського господарства / О. Бородіна // Пропозиція. – 2008. – № 10. – С. 90–94.
20. Вітроенергетика України // Енергетика, радіаційна безпека та захист довкілля від фізичних забруднень. Загальний курс: навч. посіб. / В. В. Сабадаш, І. М. Петрушка, М. С. Мальований, О. А. Нагурський. – Львів, 2014. – С. 152-155.

21. Воздействие объектов ветроэнергетики на окружающую среду / Б.А. Новаковский, А.И. Прасолова, Ю.Ю. Рафикова [и др.] // Геодезия и картография. – 2013. – № 10. – С. 39-44.
22. Гелетуха Г. Г. Аналіз енергетичних стратегій країн ЄС та світу і ролі в них відновлюваних джерел енергії / Г. Г. Гелетуха, Т. А. Железна, А. К. праховнік. // Аналітична записка БАУ. – 2015. – №13. – 35 с.
23. Гументик М. Я. Атлас високопродуктивних енергетичних культур / М.Я. Гументик // Біоенергетика. – 2015. – № 1. – С. 30–31.
24. Гелетуха Г. Г. Перспективи розвитку біоенергетики як інструмента заміщення природного газу в Україні / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железна // Екол. вісн. – 2015. – № 3. – С. 6-10.
25. Гелетуха Г. Україна: нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії / Г. Гелетуха, С. Кудря // Зелена енергетика. – 2005. № 1 – С. 8–10.
26. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. Звіт про результати Державної цільової економічної програми енергоефективності і розвитку сфери виробництва енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива у 2018 році. URL: https://sae.gov.ua/sites/default/files/Zvit_PRO_2018.ra
27. Дороніна І. І. Механізми державного регулювання розвитку відновлюваної енергетики: світові тенденції та українські реалії. // Вісник НАДУ. Серія «Державне управління», 2019. – № 4. – С. 25–32.
28. Дудюк Д.Л. Нетрадиційна енергетика: основи теорії та задачі: навч. посіб. / Д.Л. Дудюк, С.С. Мазепа, Я.М. Гнатишин. – Львів: Магнолія 2006, 2009. – 188 с.
29. Дудюк Д.Л., Мазепа С.С., Гнатишин Я.М. Нетрадиційна енергетика: основи теорії та задачі. Львів: Магнолія, – 2008. – 188 с.
30. Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі / Т. О. Бурячок, З. Ю. Буцьо, Г. Б. Варламов, С. В. Дубовської, В. А. Жовтянський; Наук. ред. В. Н. Клименко, Ю. О. Ландау, І. Я. Сігал.– 2013.– 390 с. : іл., табл.– Бібліогр.: с. 383–389.

31. Енергетика світу та України. Цифри та факти. – К.: Українські енциклопедичні знання, – 2005. – 404 с.
32. Енергоефективність та відновлювані джерела енергії / Шидловський А.К., ред.– К.: Укр. енциклопед. знання, – 2007.– 560 с.
33. Жилінська О. Україна 2030: Доктрина збалансованого розвитку. 2-ге вид. Львів: Кальварія, – 2017. – 164 с.
34. Закон України «Про альтернативні види палива» від 14.01.2000 №1391-XIV зі змінами та доповненнями / [Електронний ресурс]. -URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/main/1391-14>.
35. Запорожець О.І. Транспортна екологія. Навчальний посібник / О.І. Запропожець, С.В. Бойченко, О.Л. Матвєєва, С.Й. Шаманський, Т.І. Дмитруха, С.М. Маджд. – К.: Видавництво «Центр учбової літератури», 2017. – 508 с.
36. Захист навколишнього середовища в авіатранспортних процесах : підручник / В. М. Ісаєнко, С. В. Бойченко, К. О. Бабікова, О. О. Вовк. – К. : НАУ, 2020. – 320 с.
37. Звіт про глобальну статус поновлюваних джерел енергії 2017 року, REN21 / [Електронний ресурс]. -URL: <http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report>
38. Корендій В. М. Аналіз переваг і недоліків горизонтально-осьових вітроустановок / В.М. Корендій, Р.В. Зінбко // Вісн. Нац. ун-ту «Львівська політехніка». Оптимізація виробн. процесів і техн. контроль в машинобудуванні та приладобудуванні. – Львів, 2012. – № 729. – С. 53–58.
39. Комарницький В. М. Правові питання вико-ристання альтернативних джерел енергії / В. М. Комарницький // Науковий вісник Дніпропетровського державного університету внутрішніх справ. – 2012. – № 3. – С. 138–145.
40. Коробков В.А. Преобразование энергии океана. – Л.: Судостроение, 1986. – 280 с.
41. Кравченко В. Ф. Охорона навколишнього середовища при транспорті й зберіганні нафти й нафтопродуктів. / В. Ф. Кравченко – К.: Хімія, 1976. – 144 с.
42. Кременовська І. В. Визначення реальної вартості «зеленої» електроенергії / І.В. Кременовська, О.А. Святогор // Мат. моделювання в економіці. – 2015. – № 2. – С. 112-118.

43. Кузьміна М. Систематизація законодавства у сфері відновлювальної енергетики. Економічна теорія та право. 2016. – № 2. – С. 122-132.
44. Кузьо І. В. Обґрунтування розвитку вітроенергетичних установок малої та надмалої потужності / І.В. Кузьо, В.М. Корендій // Вісн. Нац. ун-ту «Львівська політехніка». Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль в машинобудуванні та приладобудуванні. – Львів, 2010. – № 679. – С. 61-67
45. Кулик Н. С, Аксенов А. Ф., Яновский Л. С., Бойченко С. В., Запорожец А. И. Авиационная химмотология: топлива для авиационных двигателей. Теоретические и инженерные основы применения: Підручник. / Н. С. Кулик, А. Ф. Аксенов, Л. С. Яновский, С. В. Бойченко, А. И. Запорожец. – К.: НАУ, 2015. – 560 с.
46. Куріс Ю. В. Енергетичні аспекти біогазових технологій / Ю.В. Куріс // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2013. – № 3. – С. 33-38.
47. Кучерява І.М. Відновлювана енергетика в світі та Україні станом на 2019 р. – початок 2020 р. / Кучерява І.М., Сорокіна Н.Л. // Гідроенергетика України, 2020 № 1-2. – С. 38-44.
48. Лебедь В. Г. Оценка целесообразности использования концентраторов воздушного потока в ветроэнергетических установках / В.Г. Лебедь, С.А. Калкаманов, А.Л. Сушко // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2011. – № 4. – С. 73-88.
49. Лютко В. И. Применения альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания. / В. И. Лютко, В. Н. Луканин, А. С. Хачиян. – М.: Мадии (ТУ), – 2000. – 311 с.
50. Любас Д. Ветроэнергетика Украины: потенциал и перспективы развития / Д. Любас // Электрик. – 2013. – № 7-8. – С. 26-29.
51. Маляренко В.А. Енергетика і навколишнє середовище. – Х.: Видавництво САГА, 2008. – 364 с.
52. Маркевич К. Глобальні енергетичні тренди крізь призму національних інтересів України / К. Маркевич, В.

- Омельченко // Аналітична доповідь / К. Маркевич, В. Омельченко. – Київ: Заповіт, 2016. – 118 с.
53. Михайлів М. І. Нетрадиційні джерела електроенергії та основи енергоощадності: конспект лекцій / М.І. Михайлів, Я.В. Бацала, І.І. Яремак. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2013. – 117 с.
54. Мищенко А. И. Применение водорода для автомобильных двигателей. / А. И. Мищенко – К.: Наукова Думка, 1984. – 143 с.
55. Мобільні сонячні електростанції для використання в польових умовах / В.Г. Литовченко, В.П. Мельник, Б.М. Романюк [та ін.] // Вісн. Нац. академії наук України. – 2015. – № 11. – С. 59-66.
56. Моторні палива: властивості та якість [текст] підручник / Сергій Бойченко, Андрій Пушак, Петро Топільницький, Казимір Лейда; за заг. ред. проф. С. Бойченка. – К.: «Центр учбової літератури». 2017. – 324 с.
57. Мхитарян Н.М. Гелиоэнергетика: системы, технологии, применение. – Киев:Наукова думка, 2002. – 313 с.
58. Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії: Навчальний посібник / О.І. Соловей, Ю.Г. Лега, В.П. Розен та ін. – Черкаси: ЧДТУ, 2007. – 483 с.
59. Нефедов Ю. И. О перспективах гидроударной энергетики: [возобнов. энергетика] / Ю.И. Нефедов // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2015. – № 12. – С. 20-25.
60. Низьковуглецева енергетика: стан та стратегічні пріоритети розвитку в Україні. Національний інститут стратегічних досліджень. Аналітична записка. Серія «Національна безпека». – 2019. – № 6. – 29 с.
61. Оптимизация работы солнечной установки для горячего водоснабжения и отопления зданий / Ю.А. Селихов, В.А. Коцаренко, К.А. Горбунов, О.В. Горбунова // Интегровані технології та енергозбереження. – 2015. – № 4. – С. 15-20.
62. Органическая фотовольтаика -завтрашний день солнечной энергетики / А. Грачёв // Электрик. – 2015. – № 10. – С. 44-45.

63. Орлов О. О. Проблема використання гідротермальної енергії Землі як альтернативи вуглеводневим джерелам енергоносіїв в Україні / О.О. Орлов, В.Г. Омельченко // Розвідка та розробка нафт. і газ. родовищ. – 2010. – № 1. – С. 121-131.
64. Основні переваги і недоліки геотермальної енергії // Енергетика, радіаційна безпека та захист довкілля від фізичних забруднень. Загальний курс: навч. посіб. / В. В. Сабадаш, І. М. Петрушка, М. С. Мальований, О. А. Нагурський. – Львів, 2014. – С. 142-146.
65. Оценочный расчет возможности использования системы солнечных коллекторов как альтернативного источника энергии / Ю.А. Селихов, В.А. Коцаренко, К.А. Горбунов, О.В. Горбунова // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2015. – № 4. – С. 134-138.
66. Перспективы солнечной энергетики в Украине / Д.А. Коптев // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2016. – № 1. – С. 3–6
67. Перехід України на відновлювану енергетику до 2050 року» / О. Дячук, М. Чепелєв, Р. Подолець, Г. Трипольська та ін. ; за заг. ред. Ю. Огаренко та О. Алієвої // Пред-во Фонду ім. Г. Бьоля в Україні. – Київ : Вид-во ТОВ «АРТ КНИГА», 2017. – 88 с.
68. Петренко В. П. Методика оптимального вибору відновлюваних джерел енергогенерації в умовах Прикарпаття / В.П. Петренко, У.Ю. Палійчук // Наук.вісн. Івано-Франків. нац. техн. ун-ту нафти і газу. – 2014. – № 1. – С. 168-175.
69. Петряєв Б.Д. Європейський досвід ринку відновлюваних джерел енергії для України // Євроінтеграційна перспектива та інвестиційний потенціал економіки: методологія, теорія, практика: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (м. Одеса, 15 лютого 2020 р.). Одеса: «Центр економічних досліджень та розвитку», 2020.
70. Плесков Ю.В. Фотоэлектрохимическое преобразование солнечной энергии. –М.: Химия, 1990. – 176 с.
71. Побігун О. В. Вітроенергетичні установки як альтернатива використання нафтогазових ресурсів / О.В. Побігун, Б.М.

- Лижичка, Н.В. Фоменко // Нафтогаз. енергетика. – 2010. – № 2. – С. 93-96.
72. Полівалентна система теплозабезпечення експериментального будинку пасивного типу (площею 300м^2) на основі використання відновлювальних та альтернативних джерел енергії / Б.І. Басок, І.К. Божко, Т.Г. Беляєва [та ін.] // Наука та інновації. – 2014. – Т. 10, № 6. – С. 34-51.
73. Пріоритетні напрями розвитку нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії в Україні до 2030 року // Енергоінформ. – 2005. – 13 вересня. – № 37. – С. 3-8.
74. Про альтернативні джерела енергії : Закон України від 20.02.2003. № 555-IV // Відомості Верховної Ради України. – 2003. – № 24. – Ст. 155.
75. Про енергозбереження: Закон України від 23.07.1994 р. № 74/94-ВР. Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/74/94-вр>.
76. Проблеми хімотології. Теорія та практика використання традиційних і альтернативних паливо-мастильних матеріалів: Монографія / за заг. ред. проф. С. Бойченка. – К. Центр учбової літератури, 2017. – С. 452.
77. Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення конкурентних умов виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії: Закон України від 25 квіт. 2019 р. № 2712-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2712-19> (дата звернення: 20.10.2019).
78. Прокіп А. В. Організаційні та еколого-економічні засади використання відновлюваних енергоресурсів: монографія / А.В. Прокіп, В.С. Дудюк, Р.Б. Колісник. – Львів: ЗУКЦ, 2015. – 337 с.
79. Робочі характеристики алюмінієвих термосифонів для комбінованого сонячного колектора / С.М. Хайрнасоев, Б.М. Рассамакін, Є.С. Алексеїк, А.А. Анісімова // Наук. вісті Нац. техн. ун-ту України "КПІ". – 2014. – № 6. – С. 42–48.
80. Росс Д. Энергия волн. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 112 с.

81. Савицький А.В., Микитюк В.І. Фототермічне перетворення сонячної енергії: Навчальний посібник. - Чернівці: Рута, 2003. – 80 с.
82. Самохвалов В. С. Вторинні енергетичні ресурси та енергозбереження: навч. посіб. / В.С. Самохвалов. – К.: Центр учбової літ., 2008.– 224 с
83. Світовий потенціал геотермальної енергії та перспективи його використання // Енергетика, радіаційна безпека та захист довкілля від фізичних забруднень. Загальний курс: навч. посіб. / В.В. Сабадаш, І.М. Петрушка, М.С. Мальований, О.А. Нагурський. – Львів, 2014. – С. 146-149.
84. Семёнов В. Новые технологии в возобновляемой энергетике / В. Семёнов // Электрик. – 2013. – № 9. – С. 18–23.
85. Семенов А. Развитие мировой энергетики и украинская ветроэнергетика /А.Семенов //Электрик.– 2015.– № 3.– С. 20-25.
86. Семенов В. Стартапы и повышение эффективности энергетики: [солнеч. энергия] / В. Семенов // Электрик. – 2015. – № 4. – С. 26-28.
87. Серьогін О. О. Використання енергії біомаси – як перший крок до енергетичної незалежності / О.О. Серьогін, О.В. Василенко, В.М. Сінченко // Біоенергетика. – 2013. – № 1. – С. 30-32.
88. Сидорова Д. С. Проблеми та перспективи розвитку альтернативної енергетики в світі / Д. С. Сидорова // Актуальні проблеми міжнародних відносин : Збірник наукових праць. / Д. С. Сидорова. – Київ: Київський національний університет імені Тараса Шевченка. Інститут міжнародних відносин, 2014. – 248 с.
89. Симонов А. Глобальные перспективы развития солнечной энергетики / А. Симонов, Д. Любас // Электрик. – 2013. – № 3. – С. 26-29.
90. Сичкарев В.И., Акуличев В.А. Волновые энергетические станции в океане. – М.: Наука, 1989. – 132 с.
91. Сінченко В. М. Законодавче регулювання розвитку біоенергетики в Україні та адаптація його до законодавства

- Європейського Союзу / В.М. Сінченко, М.Я. Гументик, В.С. Бондар // Біоенергетика. – 2013. – № 2. – С. 8–11.
92. Сокращение затрат газа на собственные нужды газотранспортных систем за счет использования возобновляемых источников энергии / В.В. Бессель, А.С. Лопатин, А.А. Беляев, В.Г. Кучеров // Упр. качеством в нефтегаз. комплексе. – 2013. – № 4. – С. 17-20.
93. Соловьев В. О. Нетрадиционные источники углеводородов: проблемы их освоения / В.О. Соловьев, И.М. Фык, Е.П. Варавина. – Х.: НТУ ХПИ, 2013. – 92 с.
94. Спиркин В. Г. Химмотология: учебное пособие. / В. Г. Спиркин, И. Р. Татур, Б. П. Тонконогов, С. В. Бойченко. – М.: 2015. – 250 с.
95. Ставчук І., Головка І., Шумейко А., Пасюк О. Коментарі та пропозиції НЕЦУ до проекту Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність»: аналіт. доп. (січень 2017 р.). URL: http://necu.org.ua/wp-content/uploads/2017/01/Komentari_NECU_do_energostrategii_01-2017.pdf
96. Статистичний огляд світової енергетики "BP Energy Outlook», оновлення річного статистичного щорічника 2016 / [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energyeconomics/statistical-review-2016/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-full-report.pdf>
97. Столярчук Я. М. Новітні тенденції транснаціоналізації світового ринку енергетичних ресурсів / Я. М. Столярчук, Д. В. Бусарев // Економіка та підприємництво: зб. наук. пр. молодих учених та аспірантів / Я. М. Столярчук, Д. В. Бусарев. – Київ: КНЕУ, 2013. – (30). – 296 с.
98. Стоян О. Ю. Державне регулювання розвитку сфери відновлюваної енергетики в Україні: теорія, практика, механізми: [монографія]. Миколаїв: Ємельянова Т. В., 2014. – 387 с.
99. Сусак О. М. Газогідрати – альтернативне джерело енергії / О.М. Сусак // Трубопровід. транспорт. – 2013. – № 6. – С. 28-31.

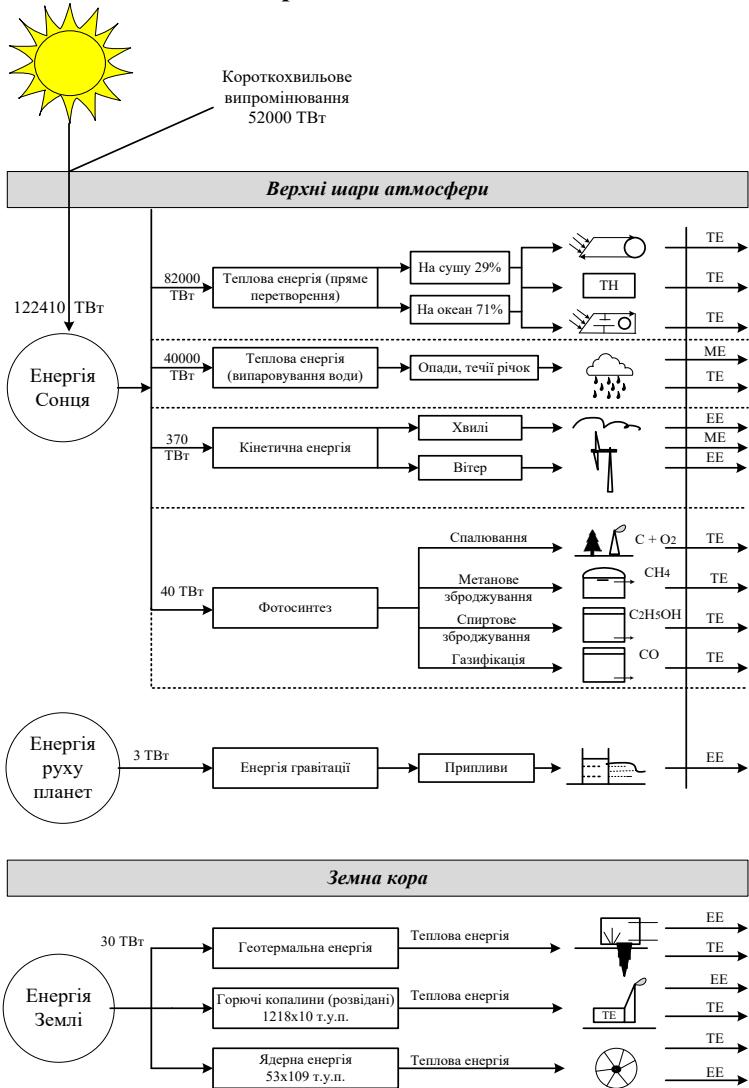
100. Твайделл Дж., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 392 с.
101. Трофімов І.Л. Дослідження протизносних властивостей сумішевих авіаційних палив на основі етилових естерів рижієвої олії / І. Л. Трофімов, С. В. Бойченко, А. В. Яковлева, С.В. Терновенко // Енерготехнології і ресурсозбереження. – 2019. – №4. – С. 75–87.
102. Целіщев О.Б. Способи перетворення н-алканів у високооктанові компоненти для моторних палив: монографія / О.Б. Целіщев, М.Г. Лорія, С.О. Кудрявцев, С.В. Бойченко, І.В. Матвева. – Сєверодонецьк: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2019. – 241 с.
103. Шаманський С. Й. Оцінювання енерго-економічної ефективності культивування мікроводоростей для виробництва біопалива в Україні / Екологічна безпека. – 2018. – №1(25). – С. 52–60.
104. Шаманський С. Й. Estimating of microalgae cultivation productivity for biofuel production in Ukraine conditions / С. Й. Шаманський, С. В. Бойченко, Л. І. Павлюх // Вісник Національного авіаційного університету. – 2018. – №3. – С. 67–77.
105. Shamanskyi S. I. The Estimation of Microalgae Productivity for Biofuel Production in Nigerian Conditions / S. V. Boichenko S. I. Shamanskyi, C. O. Adeniyi // Наукоємні технології. – 2019. – №1(41). – С. 44-50.
106. Shamanskyi S. Environmentally Friendly Biogas Production / S. Shamanskyi, S Boichenko «Energy Smart Systems». 2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (2019 IEEE ESS), April 17-19 2019.: Kyiv: 2019 – С. 243-248.
107. Shamanskyi S. Photobioreactor for microalgae cultivation for biofuel production with simultaneous sewage water treatment / S. Shamanskiy, S. Boichenko, C. Adeniyi // Systemy i Środki Transportu Samochodnego. Wybrane Zagadnienia. Monografia nr. 16. Seria: Transport. – Rzeszów: Politechnika Rzeszowska., 2019., pp. 61-67.
108. Швиденко А.Й., Малютин А.О., Гишук Р.М. Сонячна радіація в атмосфері і на земній поверхні: Навчальний посібник. – Чернівці: Рута, 2003. – 39 с.

109. Шевченко І. Л. Біоенергетичний інформаційно-просвітницький проект України / І.Л. Шевченко // Біоенергетика. – 2015. – № 2. – С. 9-11.
110. Яковлева А. В. Використання біокеросину з метою покращення екологічних характеристик роботи авіаційних двигунів / А. В. Яковлева, С. В. Бойченко // Авиационно-космическая техника и технология. – Харьков «ХАИ». 2012. – №7(94). – С. 60–64.
111. Яковлева А. В. Влияние качества авиационных топлив на безопасность полета и окружающую среду. / А. В. Яковлева, С. В. Бойченко, О. А. Вовк // Наука та інновації, НАН України. – 2013. – № 4. – Том 9. – С. 25–30.
112. Yakovlieva A.V. Modification of jet fuels composition with renewable bio-additives / A.V. Yakovlieva, S.V. Boichenko, K. Lejda, O.O. Vovk. K.: National aviation university, 2019. – 207 p.
113. Яковлева А.В. Перспективи розширення сировинної бази для виробництва біодизельного палива в Україні / А.В. Яковлева, І.В. Матвєєва, С.О. Зубенко, А.В, Гудзь // Наукоємні технології. – 2019. – № 1 (41). – С. 69–76.

ДОДАТКИ

Додаток 1

Склад енергетичної системи землі



ТЕ – теплова енергія; МЕ – механічна енергія; ЕЕ – електрична енергія

**Сумарний річний потенціал сонячної енергії на території
України**

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

Питомий енергетичний потенціал вітрової енергії в Україні

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

Гідроенергетичний потенціал малих рік України

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

**Сумарний річний потенціал тваринницької
сільськогосподарської біомаси в Україні**

№ п/п	Області	Кількість гною, млн. т/рік	Вихід біогазу, млн. м³ /рік.	Заміщення орг. палива, т у.п./рік
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
1	Вінницька	17,9	891	713
2	Волинська	11,0	527	422
3	Дніпропетровська	20,8	110	880
4	Донецька	15,3	794	635
5	Житомирська	15,1	725	580
6	Закарпатська	4,7	243	194
7	Запорізька	15,4	771	617
8	Івано-Франківська	7,3	358	287
9	Київська	16,8	864	692
10	Кіровоградська	11,8	589	471
11	Луганська	11,4	557	454
12	Львівська	13,5	665	532
13	Миколаївська	10,5	518	414
14	Одеська	14,1	733	587
15	Полтавська	17,5	868	694
16	Рівненська	10,4	498	398
17	Сумська	13,0	640	512
18	Тернопільська	11,6	561	449
19	Харківська	18,1	906	725
20	Херсонська	12,7	627	501
21	Хмельницька	16,5	790	632
22	Черкаська	13,6	682	545
23	Чернівецька	6,1	304	243
24	Чернігівська	17,7	856	685
25	АР Крим	12,3	639	511
	Всього	335,1	16706	13373

Потенціал рослинної сільськогосподарської біомаси в Україні

№ п/п	Області	Біомаса зерно- бобових культур, тис. МВт год/рік	Біомаса соняш- ника, тис. МВт год/рік	Рослинні відходи кукурудзи, тис. МВт год/рік	Рослинні відходи овочів відкритого і закритого грунту, тис. МВт год/рік
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
1	Вінницька	2400	1197	2780	440
2	Волинська	200	0	170	200
3	Дніпропетровська	1040	6232	5940	820
4	Донецька	360	5244	3330	1060
5	Житомирська	470	3	320	300
6	Закарпатська	70	23	710	210
7	Запорізька	660	5720	3180	580
8	Івано-Франківська	150	0	360	190
9	Київська	1140	88	1530	910
10	Кіровоградська	950	4346	3580	310
11	Луганська	820	4320	2090	570
12	Львівська	270	0	270	310
13	Миколаївська	740	3598	1470	490
14	Одеська	1160	4484	3560	850
15	Полтавська	1830	2843	3660	500
16	Рівненська	200	0	310	230
17	Сумська	1120	488	1290	330
18	Тернопільська	1110	0	670	240
19	Харківська	1210	4466	2990	580
20	Херсонська	570	2260	2300	700
21	Хмельницька	1480	6	2490	330
22	Черкаська	1740	1466	3550	600
23	Чернівецька	290	7	1490	230
24	Чернігівська	700	71	950	360
25	АР Крим	130	1102	960	730
	Всього	21110	47964	49950	12070

Енергетичний потенціал відходів лісу в Україні

№ п/п	Області	Осереднений об'єм відходів для використання у вигляді палива, тис. м ³ /рік	Енергозбереження відходів для використання у вигляді палива, тис. т у.п./рік
1	2	3	4
1	Вінницька	36,4	7,1
2	Волинська	7,4	15,2
3	Дніпропетровська	0	0
4	Донецька	0	0
5	Житомирська	65,7	12,9
6	Закарпатська	0	0
7	Запорізька	0	0
8	Івано-Франківська	12,5	2,4
9	Київська	69,4	13,6
10	Кіровоградська	0	0
11	Луганська	0	0
12	Львівська	47,3	9,3
13	Миколаївська	0	0
14	Одеська	0	0
15	Полтавська	0	0
16	Рівненська	111	21,8
17	Сумська	30,5	6
18	Тернопільська	22,9	4,5
19	Харківська	0	0
20	Херсонська	0	0
21	Хмельницька	28,5	5,6
22	Черкаська	24,8	4,9
23	Чернівецька	20,8	2,1
24	Чернігівська	48,2	9,5
25	АР Крим	0	0
	Всього	585,4	114,9

Потенціал геотермальної енергії в Україні

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

Енергетичний потенціал торфу в областях України

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

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

№ п/п	Області	Потенціал низькопотенціальної теплової енергії стічних вод, тис. МВт×год/рік		
		Загальний потенціал	Технічний потенціал	Доцільно- економічний потенціал
1	Вінницька	1170	636	239
2	Волинська	761	383	144
3	Дніпропетровська	9398	4825	1809
4	Донецька	8550	4089	1533
5	Житомирська	1155	499	187
6	Закарпатська	903	378	142
7	Запорізька	3091	1535	576
8	Івано-Франківська	1869	912	342
9	Київська	9608	5086	1907
10	Кіровоградська	836	451	169
11	Луганська	2971	1329	498
12	Львівська	4979	2616	981
13	Миколаївська	1232	653	245
14	Одеська	3879	1735	651
15	Полтавська	1683	853	320
16	Рівненська	1701	523	196
17	Сумська	1024	456	171
18	Тернопільська	744	376	141
19	Харківська	5273	2825	1059
20	Херсонська	870	448	168
21	Хмельницька	1135	542	203
22	Черкаська	2229	774	290
23	Чернівецька	487	264	99
24	Чернігівська	924	478	179
25	АР Крим	3312	1273	477
	Всього	69781	33939	12726

**Енергетичний потенціал низькопотенціальної теплоти ґрунту
та ґрунтових вод в областях України**

№ п/п	Області	Потенціал низькопотенціальної теплоти ґрунту та ґрунтових вод, тис. МВт×год/рік		
		Загальний потенціал	Технічний потенціал	Доцільно- еконо- мічний потенціал
1	2	3	4	
1	Вінницька	4731	33579	513
2	Волинська	3321	2372	290
3	Дніпропетровська	15438	11027	424
4	Донецька	15422	11015	2656
5	Житомирська	3374	2410	428
6	Закарпатська	5093	3638	79
7	Запорізька	3833	2738	355
8	Івано-Франківська	5532	3951	51
9	Київська	12966	9262	192
10	Кіровоградська	3720	2657	833
11	Луганська	10571	7551	1958
12	Львівська	11941	8529	203
13	Миколаївська	3441	2458	117
14	Одеська	4015	2868	195
15	Полтавська	9163	6545	162
16	Рівненська	3106	2219	225
17	Сумська	4492	3208	239
18	Тернопільська	3819	2728	194
19	Харківська	12125	8661	153
20	Херсонська	2597	1855	172
21	Хмельницька	4438	3170	171
22	Черкаська	4286	3061	476
23	Чернівецька	2149	1535	123
24	Чернігівська	3930	2807	149
25	АР Крим	4027	2877	206
	Всього	157530	112521	10564

Середній місячний рівень сонячної радіації(сонячна постійна) в містах України (кВт/м²/день)
Середній показник за останні 22 роки (За даними NASA)

Регіони/ Місяці	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень	середня
Сімферопіль	1.27	2.06	3.05	4.3	5.44	5.84	6.2	5.34	4.07	2.67	1.55	1.07	3.58
Вінниця	1.07	1.89	2.94	3.9	5.19	5.3	5.1	4.68	3.21	1.97	1.1	0.9	3.11
Луганськ	1.02	1.77	2.83	3.9	5.05	5.08	4.94	4.55	3.01	1.83	1.05	0.79	2.99
Дніпро	1.21	1.99	2.98	4.05	5.55	5.57	5.7	5.08	3.66	2.27	1.2	0.96	3.36
Донецьк	1.21	1.99	2.94	4.04	5.48	5.55	5.66	5.09	3.67	2.24	1.23	0.96	3.34
Житомир	1.01	1.82	2.87	3.88	5.16	5.19	5.04	4.66	3.06	1.87	1.04	0.83	3.04
Ужгород	1.13	1.91	3.01	4.03	5.01	5.31	5.25	4.82	3.33	2.02	1.19	0.88	3.16
Запоріжжя	1.21	2.0	2.91	4.2	5.62	5.72	5.88	5.18	3.87	2.44	1.25	0.95	3.44
Івано-Івано-	1.19	1.93	2.84	3.68	4.54	4.75	4.76	4.4	3.06	2.0	1.2	0.94	2.9
Франківськ													
Київ	1.07	1.87	2.95	3.96	5.25	5.22	5.25	4.67	3.12	1.94	1.02	0.86	3.10
Кіровоград	1.20	1.95	2.96	4.07	5.47	5.49	5.57	4.92	3.57	2.24	1.14	0.96	3.30
Луганськ	1.23	2.06	3.05	4.05	5.46	5.57	5.65	4.99	3.62	2.23	1.26	0.93	3.34
Львів	1.08	1.83	2.82	3.78	4.67	4.83	4.83	4.45	3.0	1.85	1.06	0.83	2.92
Миколаїв	1.25	2.10	3.07	4.38	5.65	5.85	6.03	5.34	3.93	2.52	1.36	1.04	3.55
Одеса	1.25	2.11	3.08	4.38	5.65	5.85	6.04	5.33	3.93	2.52	1.36	1.04	3.55
Полтава	1.18	1.96	3.05	4.0	5.40	5.44	5.51	4.87	3.42	2.11	1.15	0.91	3.25
Рівне	1.01	1.81	2.83	3.87	5.08	5.17	4.98	4.58	3.02	1.87	1.04	0.81	3.01
Суми	1.13	1.93	3.05	3.98	5.27	5.32	5.38	4.67	3.19	1.98	1.10	0.86	3.16
Тернопіль	1.09	1.86	2.85	3.8	4.84	5.0	4.9	4.51	3.08	1.91	1.09	0.85	2.99
Харків	1.19	2.02	3.05	3.92	5.38	5.46	5.56	4.88	3.49	2.1	1.19	0.9	3.26
Херсон	1.30	2.13	3.08	4.36	5.68	5.76	6.0	5.29	4.0	2.57	1.36	1.04	3.55
Хмельницький	1.09	1.86	2.87	3.85	5.08	5.21	5.04	4.58	3.14	1.98	1.10	0.87	3.06
Черкаси	1.15	1.91	2.94	3.99	5.44	5.46	5.54	4.87	3.40	2.13	1.09	0.91	3.24
Чернігів	0.99	1.8	2.92	3.96	5.17	5.19	5.12	4.54	3.0	1.86	0.98	0.75	3.03
Чернівці	1.91	1.93	2.84	3.68	4.54	4.75	4.76	4.4	3.06	2.0	1.20	0.94	2.94