

**А. П. Войцицький, І. В. Нездвецька,
О. П. Коваленко**

ЯКІСТЬ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ ТА ЕНЕРГОНОСІЇВ



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ЖИТОМИРСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

ЯКІСТЬ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ ТА ЕНЕРГОНОСІЇВ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

**ЖИТОМИР
2017**

УДК

*Рекомендовано до друку рішенням вченої ради
Житомирського національного агроекологічного
університету (протокол № від 2017р.)*

Рецензенти:

Грабар І. Г. – д. т. н., професор, завідувач кафедри процесів, машин і обладнання агропромислового виробництва Житомирського національного агроекологічного університету;

В-07: Якість енергоресурсів і енергоносіїв: навч. посіб. /
А. П. Войцицький. – Житомир Вид-во ЖНАЕУ, 2017. – 189 с.

Для студентів спеціальності «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

© Войцицький А. П.,
Нездвецька І. В.,
Коваленко О. П.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

CIGRE (Conseil International des Grands Réseaux Electriques) – Міжнародна Рада з великих електричних систем високої напруги

ISO – Міжнародна організація зі стандартизації

ISO/IEC – Міжнародні спільні стандарти

АЕС – атомні електростанції

АДЕ – альтернативні джерела енергії

ВДЕ – відновлювані джерела енергії

ВЕС – вітряна електростанція

ВЕР – Всесвітня енергетична рада

ВОН – вузол обліку нафти

ГАЕС – гідроакумулююча електростанція

ГЕС – гідроелектростанція

ГОСТ – міждержавний стандарт СНД

ГCЗУ – галузевий стандартний зразок України

ГЕС – гідроелектростанція

ГР – гідроенергетичні ресурси

ДК – Державний класифікатор

ДНДІ – Державний науково-дослідний інститут

ДСТУ – Державний стандарт України

ЄС – Європейський Союз

ЗПГ – зріджений природний газ

ЗВГ – зріджений вуглеводневий газ

МАГАТЕ – Міжнародне агентство з атомної енергії

МІЕП – Міжнародний інститут енергетичної політики і дипломатії

МЕА – Міжнародна енергетична агенція

НВ – питома об'ємна теплота згоряння вища

НН – питома об'ємна теплота згоряння нижча

НТД – нормативно-технічна документація

ТЕК – теплоенергетичний комплекс

ОБСЕ – Організація з безпеки і співробітництва в Європі

ОЕСУ – Об'єднана енергетична система України

ОЕСР – Організація економічного співробітництва і розвитку

ПЕР – паливно-енергетичні ресурси
ПКУ – паливний комплекс України
СЕС – сонячна електростанція
ТЕС – теплоелектростанції
ТЕЦ – теплоелектроцентраль
ТЛ – теплолічильник
ТО – теплообчислювач
СОУ – стандарт організації

ПЕРЕДМОВА

Якість – це пристрасть до досконалості.

Ернст Мюллер

З ростом населення Землі зростають потреби у виробництві різного роду товарів і послуг і, відповідно, потреб в енергоресурсах. Вірне визначення темпів росту споживання і виробництва енергії, прогнозування основних тенденцій розвитку енергетики має надзвичайно важливе значення для планування економік усіх країн.

Сучасний підхід до стратегії господарювання полягає в розумінні того, що якість є найефективнішим засобом задоволення вимог споживачів і важливим інструментом забезпечення конкурентоспроможності товару, що пропонується на ринку. Оскільки енергія давно вже стала товаром, переглядається відношення до темпів і перспектив використання енергоресурсів, зростає інтерес до нових методів отримання і використання енергії, у тому числі і поновлюваної.

Навчальна дисципліна “Якість енергоресурсів і енергоносіїв” належить до спеціальних дисциплін і забезпечує у студентів формування знань та вмінь щодо використання системи показників, які характеризують певну властивість енергоресурсів і енергоносіїв. Ця дисципліна відноситься до професійно орієнтованих у підготовці фахівців енергетичного профілю. Науковою основою її є теорія енергозбереження та методологія оцінювання якісних характеристик енергоресурсів та енергоносіїв. Технічною базою для даної дисципліни служить вимірювальна та обчислювальна техніка. Основні завдання навчальної дисципліни формуються із компетенцій в системі підготовки магістрів-енергетиків.

Навчальний посібник складається з двох частин. У першій частині висвітлюються питання присвячена висвітленню питань видів енергоресурсів та їх якісних показників і характеристик, а друга – видам енергоносіїв та їх якості.

Мета навчального посібника – надання студентам знань і вмінь з теоретичних й правових основ використання енергоресурсів в сфері енергопостачання об'єктів промислового і сільськогосподарського виробництва, а також об'єктів комунальної та приватної власності.

Оскільки мета даного посібника – допомога студенту у формуванні знань щодо якісних показників енергоресурсів і енергоносіїв з метою ефективного і раціонального їх використання у своїй майбутній професійній діяльності, спробуємо пояснити, що являється предметом нашого вивчення.

Автори дуже вдячні рецензентам за надання корисних порад з питань які розглядаються у даному навчальному посібнику.

Автори

ВСТУП

Qualität ist alles – aber alles ist nichts ohne Qualität!
Якість це все, але все без якості – це ніщо!

Вальтер Швельбергер

Енергозбереження та енергоефективність стають пріоритетними напрямками енергетичної політики дедалі більшої кількості країн світу, що зумовлено вичерпністю паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР), посиленням техногенного впливу на навколишнє середовище, невідповідністю власних запасів ресурсів та потребою в них.

Енергоефективність та енергозбереження є взаємопов'язаними, оскільки в більшості випадків енергозбереження є головним чинником підвищення рівня ефективності використання ПЕР. Питанням підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів у світовій енергетичній сфері сьогодні приділяється особлива увага як на рівні міжнародних енергетичних організацій (ВЕР, МЕА, СІПРЕ, Секретаріат Енергетичної Хартії ін.), так і країн-членів ОЕСР, Європейського союзу, а також країн пострадянського простору.

Основними чинниками, що зумовлюють рівень енергоефективності економіки країни є прагнення до підвищення енергетичної безпеки, конкурентоспроможності та екологічної безпеки. Рівень енергоефективності економіки України більш ніж у 2,3 рази нижчий ніж у країнах Організації економічного співробітництва і розвитку (ОЕСР), майже у 2,9 рази нижче середньоєвропейського і у 2,1 рази – середньосвітового. Це спрямовує до активного пошуку і впровадженню дій і заходів щодо удосконалення національної системи енергоспоживання. Стратегічними цілями розвитку паливно-енергетичного комплексу країни має стати його економічна ефективність на основі впровадження новітніх технологій виробництва, передачі та постачання енергоресурсів для забезпечення

конкурентоспроможності вітчизняної продукції на світових ринках.

Для вирішення цих задач повинні впроваджуватися *організаційно-правові заходи енергозбереження і енергоефективності* – розробка і запровадження законів, стандартів, нормативів, податків на викиди шкідливих речовин, на використання імпортованих енергоносіїв, впровадження автоматизованих систем обліку енергоресурсів, державна підтримка впровадження нових ефективних видів техніки, технологій, матеріалів тощо.

Для кардинального підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів в Україні введено ряд законів та державних програм щодо врегулювання і стимулювання заходів енергозбереження населенням і підприємствами: Урядова програма з енергоефективності; закони України: «Про енергозбереження», «Про електроенергетику», «Про альтернативні види палива», «Про альтернативні джерела енергії», «Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання скидного потенціалу», «Про газ (метан) вугільних родовищ»; Податковий кодекс України та ін.

Але наряду з економіко-правовим стимулюванням енергоефективності, необхідно мати чітке уявлення про якість енергоресурсів і енергоносіїв з метою визначення їх реальної вартості на ринку і можливості використання для вирішення виробничих потреб з точки зору споживача.

Енергія, що використовується людиною у своїй господарській діяльності зосереджена в об'єктах, що називаються енергоресурсами.

Отже *енергоресурси* – це всі види ресурсів природного та хімічного походження, що є джерелами енергії, яку в процесі переробки, можна використовувати у паливній промисловості і надалі застосовувати для забезпечення працездатності різних об'єктів технічного виробництва.

Під *енергоносіями* в промисловості розуміють середовище, що володіє певним енергетичним потенціалом та передає енергію від одного матеріального об'єкта до інших. Поняття «енергоресурси» і «енергоносії» – дещо суміжні і іноді можуть поєднуватись в одному середовищі.

Наприклад, поклади кам'яного вугілля – це енергоресурс і ми можемо отримати з нього теплову енергію безпосередньо методом спалювання, проте, оскільки вугілля можна транспортувати (тобто переносити той енергетичний потенціал, що зосереджений в ньому), вугілля одночасно являється і енергоносієм. Електричний струм не може бути зосереджений в одному місці, його енергію не можна тривалий час зберігати, тому електрична енергія являється суто енергоносієм.

Термальні (гейзерні) джерела Землі являються джерелом теплової енергії, проте її можна транспортувати тільки після трансформації. В цьому випадку термальне джерело – енергоресурс. Його енергію можна транспортувати шляхом перетворення у гарячу воду, пару, або у електроенергію – через енергоносії. Не всі енергоресурси можуть бути енергоносіями і не всі енергоносії являються енергоресурсами.

Промислові підприємства при організації своєї діяльності використовують енергоресурси і енергоносії різних параметрів, різних видів і різного призначення. В якості енергоносіїв на підприємствах традиційно використовуються:

- електрична енергія (60–70 % споживання);
- вода;
- тепло;
- повітря та ПРВ (продукти розділення повітря) тощо;
- розплави і солі.

Вибір енергоносіїв та енергоресурсів, їх характеристик визначається параметрами технологічних процесів і умовою економічності. Враховуються наступні фактори:

- режими протікання технологічного процесу;
- характеристики і параметри встановленого обладнання;
- параметри самого енергоносія;
- характер забезпечення енергоносіями підприємства (внутрішнє або зовнішнє) і т. д.

В якості *основних характеристик енергоносіїв* при їх виборі враховують:

- потенціал або параметри (струм, напруга, температура, тиск тощо);
- вартість;
- якість;

- необхідна надійність постачання;
- режими споживання.

Параметри енергоносія визначаються характеристиками, устаткування, що споживає енергію. Якщо на реальному підприємстві застосовуються енергоносії з явно завищеними параметрами, це призводить до збільшення експлуатаційних і матеріальних витрат на допоміжне обладнання (діаметр жил кабелю, збільшення металоємності для труб і т. д.).

Тому остаточний вибір енергоносія, його якісних та кількісних характеристик проводиться шляхом порівняння кількох варіантів у ході техніко-економічних розрахунків.

З метою системного підходу щодо раціонального вибору енергоносія, розглянемо природу походження цих речовин, їх потенціал та принципи використання.

ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ. ЯКІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ



Енергетичні ресурси – це всі доступні джерела для промислового та побутового використання різноманітних видів енергії: механічної, теплової, хімічної, електричної, ядерної. Довгий час енергетичною базою служило викопне паливо, запаси якого незмінно скорочувалися. Тому останнім часом завдання пошуку нових джерел енергії - одна з найбільш актуальних завдань сучасності.

Розділ І

ЕНЕРГІЯ. ПОХОДЖЕННЯ, ВИДИ ТА ПЕРЕТВОРЕННЯ

Енергія. Загальні поняття та визначення

Перетворення та якість енергії

Отримання теплової енергії

*Паливо. Походження, використання,
загальні характеристики*

*Роль палива у енергетичному балансі
України*

1.1. Енергія. Загальні поняття та визначення

Що є поняттям «енергія», яке ми так часто використовуємо? Ще Аристотель використовував слово «енергія» для позначення діяльності людини.

Енергія (з грецької *ἐνέργεια* – дія, діяльність) – це кількісна характеристика усіх форм руху і взаємодії матерії. Це поняття історично виникло з метою надання людині можливості описати різні зміни в навколишньому світі й водночас говорити про можливість, сталість, збереження чогось, що було назване енергією. Поняття енергії стало центральним у розумінні фізичних процесів. Незабаром природним чином у поняття енергії вписалася термодинаміка хімічних реакцій і теорія електричних і електромагнітних явищ.

Для цієї фізичної величини довгий час вживався термін «жива сила», введений І. Ньютоном. Вперше в історії в поняття «жива сила» сенс «енергія», не вимовляючи ще цього слова, вкладає Роберт Майєр у статті «Зауваження про сили неживої природи», опублікованій у 1842 році. Спеціальний термін «енергія» був введений у 1807 р. англійським фізиком Томасом Юнгом і позначав величину, пропорційну масі та квадрату швидкості тіла, що рухається. У науку термін «енергія» у сучасному його розумінні ввів Уільям Томсон (лорд Кельвін) у 1860 році.

Енергія – це здатність тіла виконувати роботу. У системі СІ енергія вимірюється у Джоулях (Дж).

Один Джоуль – це робота, яка виконується силою в один Ньютон, при переміщенні тіла на відстань один метр.

Але слід розуміти, що лише здатністю виконувати роботу поняття енергії не вичерпується, скоріше таке означення підкреслює той факт, що будь – які форми енергії можуть трансформуватися у механічну енергію, тобто викликати переміщення тіл одне щодо одного і виконувати роботу.

Для того щоб виникли уявлення про величину енергії, яка затрачається у різних процесах, запам'ятайте:

- один удар серця = 1 Дж;
- нагрівання 1 літра води на 1 градус Цельсія = 4182 Дж.

Енергія може мати різні форми і переходити із однієї форми в іншу. Відомі різні форми прояву енергії, з яких найчастіше виділяють механічну, хімічну, теплову, ядерну, електричну, магнітну, гравітаційну та їх комбінації. Кожне тіло в будь-якому його стані може володіти одночасно різними формами енергії.

Енергія, що зосереджена в енергоресурсах, як правило, не може бути використана безпосередньо, тому важливими етапами на шляху використання енергії людиною є її отримання, трансформація, транспортування, акумулювання і, нарешті, споживання та втрати, що пов'язані з цими процесами. Галузь економіки, що охоплює виробництво, перетворення і використання різних форм енергії – *енергетика*.

1.2. Перетворення та якість енергії

Завдяки дослідям Джоуля, Маєра, Гельмгольца прояснилося питання перетворення механічної енергії в теплову. В одній з перших робіт «Про збереження сили» (1847) Гельмгольц, дотримуючись ідеї єдності природи, математично обґрунтував закон збереження енергії і положення про те, що живий організм є фізико-хімічним середовищем, у якому зазначений закон точно виконується.

Всі перетворення енергії з форми в форму, перш за все, описуються законом її збереження, згідно якого можна стверджувати, що запас енергії, яким володіє матеріальний об'єкт в цілому (тіло або система тіл) незмінний.

Основними формами застосування енергії у виробничих процесах є теплота й електроенергія. Кількість енергії, переданої від одного тіла до іншого у формі хаотичного (теплого) руху частинок, називають *кількістю теплоти* Q , або *теплотою*, розуміючи під цим кінцевий результат теплоенергообміну. Енергія, робота і теплота – пов'язані між собою поняття, тому *одиноцею вимірювання* цих величин в системі СІ є джоуль (Дж). Енергія, передана за одиницю часу, має назву *потужності* і вимірюється в ватах:

$$1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/1 с.}$$

Перетворення енергії відбувається в різних машинах, апаратах і пристроях, які складають загалом технічну основу енергетики. Так, у котельних установках хімічна енергія палива перетворюється на теплову; у паровій турбіні – теплова енергія, носієм якого є водяна пара, перетворюється на механічну енергію, яка в електричному генераторі, у свою чергу, перетворюється на електричну енергію. На гідроелектростанціях у гідротурбінах і електрогенераторах енергія водяних потоків перетворюється на електричну; в електричних двигунах електрична енергія перетворюється на механічну тощо.

На виробництвах, де має місце споживання енергії, енергетичні затрати впливають на техніко-економічні показники виробничих процесів. Критерієм економічного використання енергії є «коефіцієнт використання енергії».

Коефіцієнтом використання енергії η_e називається відношення кількості енергії, яку теоретично потрібно затратити на одержання вагової (або об'ємної) одиниці продукту E_m , до кількості практично затраченої енергії E_{np} :

$$\eta_e = E_m / E_{np} \cdot 100 \%. \quad (1.1)$$

В багатьох енергосистемах, а особливо в теплоенергетичних установках, ці коефіцієнти дуже низькі, що свідчить про недосконалість обладнання і технологій, і як наслідок – продуктивність витрат енергії. Чим більший процент енергії витрачається на виконання корисної роботи й, відповідно, чим менший процент при цьому розсіюється у вигляді тепла, тим вищою вважається якість початкової енергії. Високоякісна енергія може бути без додаткових енергетичних затрат трансформована в більшу кількість інших видів енергії.

Механічна і електрична енергія та робота, що проявляються в макроскопічному переміщенні тіл, допускають практично оборотні взаємні переходи. Такі технічні пристрої, як електрогенератори і електромотори мають коефіцієнти перетворення механічної енергії в електричну і назад, що наближаються до 100 %. Таким чином, механічна та електрична енергії практично рівноцінні.

Як електрична, так і механічна енергія легко можуть бути перетворені в теплову енергію. Так, ізольована речовина може бути підігріта за рахунок виділення теплоти при проходженні електричного струму (закон Джоуля-Ленца) або в результаті інтенсивного обертання мішалки (сили тертя). Однак не доводиться розраховувати на мимовільне протікання зворотних процесів – генерування електричного струму або розкручування мішалки в результаті остигання речовини. Теплота, що проявляється як результат хаотичного мікроскопічного руху молекул речовини, може бути перетворена в механічну або електричну роботу лише частково. Притому чим більша частина теплоти, що виділяється в будь-якому процесі, може бути перетворена в роботу, тим вище енергетична цінність даного джерела теплоти.

Енергія існує у багатьох формах і видах: сонячна, теплова, хімічна, електрична, атомна, енергія вітру, води та ін. Форми енергії різняться по спроможності робити корисну роботу. Енергія слабого вітру, прибою, малопотужних гетермальних джерел може зробити невелику кількість роботи. Концентровані форми енергії (нафта, вугілля та ін.) володіють високим робочим потенціалом.

Енергія сонячного світла у порівнянні з енергією викопного палива володіє низькою працездатністю, а порівняно з розсіяною низькотемпературною теплотою – високою. Якість енергії, сконцентрованої в біомасі рослин, тварин, паливі, відрізняється від якості розсіяної теплової енергії. Якість енергії характеризує її здатність виконувати роботу, тобто її ексергією.

Ексергія – це максимальна робота, яку здатна здійснити термодинамічна система при переході із даного стану в стан фізичної рівноваги з навколишнім середовищем.

Ексергією називають корисну частку енергії, що бере участь в якомусь процесі, величина якої визначається ступенем різниці якогось параметра системи від його значення у навколишньому середовищі.

Пояснити поняття ексергії можна на прикладі теплоти. Температура – це міра концентрації теплоти. Якщо якийсь матеріальний об'єкт, що має запас кількості енергії Q має високу температуру T_ϵ , а температура навколишнього середовища $T_0 < T_\epsilon$, то система здійснює роботу:

$$Q / [(T_\epsilon - T_0) / T_\epsilon]. \quad (1.2)$$

Якщо ж кількість енергії Q має низьку температуру $T_n < T_\epsilon$, то за умови $T_n > T_0$ система виконає роботу:

$$Q / [(T_n - T_0) / T_n].$$

Очевидно, що робота, виконана концентрованою високотемпературною тепловою енергією, більше роботи, виконаної такою ж кількістю низькотемпературної теплової енергії. Безрозмірна величина:

$$E_x = (T_\epsilon - T_0) / T_\epsilon \quad (1.3)$$

або

$$E_x = (T_n - T_0) / T_n$$

може характеризувати ексергію або якість енергії. Вона виражається в частках (змінюється від Q до 1) або у відсотках. При $T_\epsilon = T_0$ або $T_n = T_0$ не може бути виконано ніякої роботи – ексергія дорівнює 0. Тільки якщо температура навколишнього

середовища близька до абсолютного нуля, то величина $(T-T_0)/T$ буде наближатися до граничного значення, тобто до 1 (або 100 %).

Отже, енергія характеризується не тільки кількістю, але і якістю. Для створення енергії більш високої якості необхідні витрати енергії більш низької якості. Потік сонячної енергії, залучений в ланцюг перетворень в біосфері, утворює порядок і підвищує ексергію деякої частини енергії.

У природі показником якості енергії може служити кількість калорій сонячного світла, яке має розсіятися, щоб утворилась 1 калорія більш високоякісної форми енергії.

З кожним переходом з одного трофічного рівня на інший в межах харчової ланцюга, відбувається робота і в навколишнє середовище виділяється теплова енергія, а енергія високої якості, яка використовується організмами наступного трофічного рівня, знижується.

Підраховано, що в дикій природі в середньому близько 10 % доступної високоякісної енергії одного трофічного рівня перетворюється в доступну хімічну енергію в організмах наступного рівня.

1.3. Отримання теплової енергії

Традиційно теплову енергію отримують шляхом горіння. Наприкінці XIX ст. академік А. М. Бах розробив теорію і довів, а академік М. М. Семенов у середині XX століття доповнив, що *горіння* – це процеси окислювання, що самочинно відбуваються у природних умовах.

Процес *горіння*, згідно з теорією М. М. Семенова – це ланцюгова реакція самозаймання горючої речовини, коли її молекули вступають у реакцію, створюючи активні центри. Через подальшу активацію виникають нові активні центри, що призводить до подальшого окислювання нових порцій горючої речовини. Молекули горючої речовини через надлишок теплоти розпадаються на атоми і радикали, які мають підвищену хімічну активність, що продовжує ланцюгову реакцію доти, доки не вигорить весь об'єм горючої речовини.

Тривалість ланцюгової реакції горіння залежить від фізико-хімічних властивостей горючої речовини, кількості кисню та інших чинників, що обумовлюють протікання процесів горіння.

Вогонь потребує наявності палива та окисника. Зазвичай горючими матеріалами є різноманітні вуглеводні та вуглеводи, а роль окисника відіграє кисень. Звичні горючі матеріали, такі як вугілля, природний газ, деревина горять тільки за підвищеної температури. Запалювання відбувається внаслідок нагрівання горючої речовини до температури, вищої за температуру займання. Таке нагрівання може виникнути при контакті горючої речовини із запаленим матеріалом, внаслідок хімічної реакції, тертя або при проходженні через речовину сильного електричного струму.

Хімічна реакція окислювання, за якої спостерігаються хоча б дві з трьох наступних *ознак горіння*: розігрівання палаючого тіла, світіння і полум'я – буде називатися процесом горіння. Найчастіше ми спостерігаємо всі три ознаки. Рідше зустрічається горіння без полум'я (горіння порошоків металів) і зовсім рідко буває так зване холодне горіння – без нагрівання (у розрідженої пари фосфору).

Для *виникнення горіння* необхідна одночасна наявність в одному місці трьох компонентів: горючої речовини, окисника та джерела запалювання (рис. 1.1). Крім того, потрібно, щоб горюча речовина була нагріта до необхідної температури та знаходилась у відповідному кількісному співвідношенні з окисником, а джерело запалювання мало необхідну енергію для початкового імпульсу (запалювання). Так, сірником можна запалити аркуш паперу, а дерев'яну колоду – ні. Це виявив і довів у XVIII ст. французький вчений Лавуазьє.

Реакція горіння екзотермічна, тобто супроводжується виділенням тепла, яке, в свою чергу, допомагає підтримувати високу температуру й забезпечує протікання ланцюгової реакції. Власна температура вогню залежить від джерела, що викликало реакцію запалювання і/або від матеріалів, що беруть участь у реакції горіння. Процес горіння протікає тим інтенсивніше, чим більшою є питома площа контакту горючої речовини з окисником (паперові обрізки горять інтенсивніше,

ніж пачки паперу) і чим вищою є концентрація окисника, температура та тиск. Зокрема, на пожежах температура досягає 1000-1300 °С, а в окремих випадках, наприклад, під час горіння магнієвих сплавів – 3000 °С.



Рис. 1.1. Умови виникнення процесу горіння

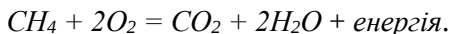
До складу переважної більшості горючих речовин входять вуглець (карбон) та водень (гідроген), які є основними горючими складниками цих речовин. Окисником під час горіння речовин найчастіше виступає кисень повітря – O_2 . Однак зі зменшенням вмісту кисню в повітрі уповільнюється швидкість горіння, а при вмісті кисню менше 14 % (норма 21 %) горіння більшості речовин стає неможливим.

1.4. Паливо. Походження, використання, загальні характеристики

Основним джерелом енергії, що використовується з давніх часів людиною, є паливо.

Паливо – горючі природні або штучні тверді, рідкі або газоподібні речовини, які при спалюванні слугують джерелом теплової енергії. Приблизно в середині минулого століття людина, сама того не усвідомлюючи, почала глобальний геохімічний експеримент – почалося спалювання великих кількостей горючих речовин, при якому в атмосферу повертається вуглець, зафіксований рослинами мільйони років

назад. В основі одержання енергії з палива шляхом горіння завжди лежить хімічна реакція окислювання. Прикладом може служити горіння метану:



Речовин, які виділяють при спалюванні тепло, є дуже багато, однак не всі вони можуть називатися паливом. Для того, щоб речовину можна було віднести до категорії палива, вона має задовольняти *низку вимог*:

- достатність і доступність у природі запасів цієї речовини або сировини для її одержання;
- можливість спалювання з досить високим ступенем використання отриманого тепла (ККД);
- продукти реакції мають бути нешкідливими для довкілля та пристроїв, де відбувається реагування;
- процес реакції має бути легко керованим.

Цим вимогам відповідають різні вуглецеві речовини від майже чистого вуглецю до його сполук з воднем, киснем, азотом і сіркою.

За агрегатним станом паливо поділяють на тверде, рідке та газоподібне. За видами воно може бути органічним і ядерним, а за походженням – природним та штучним. Класифікація органічного палива за його походженням та агрегатним станом наведена у табл. 1.1.

Із органічного палива теплота виділяється у результаті реакцій сполучення горючих складових із окислювачем – киснем повітря. Із ядерного палива – при реакціях розпаду атомних ядер деяких ізотопів важких елементів (урану U^{235} та U^{233} плутонію Pu^{239}). Органічне паливо – горюче, ядерне – розщеплюється.

Щонайкраще в наш час ці вимоги задовольняє паливо, в основі якого лежать органічні речовини, що містять С, Н, О та їх з'єднання. У природі таке паливо включає: деревину, торф, вугілля, горючі сланці, нафту і природний газ.

Таблиця 1.1

Класифікація органічного палива

Агрегатний стан палива	Походження палива	
	Природне	Штучне
Тверде	Викопне (торф, буре та кам'яне вугілля, антрацит, горючі сланці), дрова, відходи с.-г. виробництва	Кокс, напівкокс, торфові та кам'яновугільні брикети, деревне вугілля
Рідке	Нафта	Топкові мазути, дизельне паливо, солярове масло, бензин, продукти переробки твердого палива, синтетичне паливо
Газоподібне	Природний та супутний газ	Гази генераторний, доменний, коксовий, пропан-бутанова суміш, біогаз

Кожне паливо має свої власні характеристики, від яких залежить вибір технології отримання теплової енергії та технологічного устаткування. Зокрема при піднесенні полум'я до палива не завжди настає горіння. Для цього необхідно нагріти паливо до певної температури – температури займання, тобто заради запалювання, необхідно паливу надати достатню кількість тепла.

Температура займання – найнижча температура матеріалу (речовини), за якої за встановленими умовами випробувань над його поверхнею утворюється пара або гази з такою швидкістю, що після їх запалювання виникає стійке горіння (табл. 1.2).

Температура займання газів залежить від умов займання: у струмені повітря, у замкнутій посудині й ін. Чим вище тиск горючої суміші, тим нижче температура займання і навпаки.

Рідкі палива, крім температури займання, характеризуються умовною величиною – *температурою спалаху*, за якої пари палива, що нагрівається в спеціальному приладі, утворюють з навколишнім повітрям суміш, яка займається від іскри. При температурі спалаху стійке горіння не виникає, а згорає тільки утворена над рідиною суміш парів з повітрям.

Таблиця 1.2

Температура займання деяких видів палива

Види палива	Температура займання, °С
Дрова	250 – 300
Торф	205 – 300
Буре вугілля	350 – 470
Кам'яне вугілля	350 – 500
Мазут	500 – 700
Бензин	380 – 415
Метан	600 – 750

Якщо температура рідини трохи вища за температуру спалаху, швидкість випаровування її з відкритої поверхні підвищується, і в момент спалаху суміші рідина здатна виділяти безперервно пару в достатній кількості для стійкого горіння.

Органічне паливо складається із горючих елементів – водню (H), вуглецю (C), сірки (S) та негорючих – кисню (O) та азоту (N). Сірку, що міститься у паливі, поділяють на горючу, так звану летку сірку S_L , та негорючу S_H . Горюча сірка складається із органічних S_{OP} та колчеданних S_K сполук: $S_L = S_{OP} + S_K$. Крім того, до складу палива входять волога W та зола A .

Вміст елементів визначають у процентах за масою. Розрізняють робочу, суху, горючу та органічну маси органічного палива. Кожній складовій маси палива присвоюються відповідний надбудовний індекс.

Робоча маса:

$$C^p + H^p + S^p + O^p + N^p + A^p + W^p = 100 \%. \quad (1.4)$$

Склад палива, висушеного при $T=105...110\text{ }^{\circ}\text{C}$, визначає його *суху масу*:

$$C^c + H^c + S_l^c + O^c + N^c + A^c = 100\text{ } \%. \quad (1.5)$$

Склад палива як горючого матеріалу визначається складом його *горючої маси*:

$$C^c + H^c + O^c + N^c + S^c = 100\text{ } \%. \quad (1.6)$$

Власне горючими у цій масі є вуглець, водень та сірка.
Органічна маса:

$$C^o + H^o + S^o + O^o + N^o = 100\text{ } \%. \quad (1.7)$$

Сірка органічної маси не містить колчеданної складової.

Приведення елементного складу палива від сухої маси до іншої провадиться за допомогою коефіцієнтів, що ґрунтуються на відповідних пропорціях.

Газоподібне паливо являє собою суміш різних горючих (CO , H_2 , CH_4 , C) і негорючих (O_2 , N_2 , CO_2) газів і невеликої кількості водяної пари. Баластом у сухому природному газі є азот та діоксид вуглецю.

Склад газоподібного палива задається у відсотках до об'єму і всі розрахунки відносять до кубічного метра сухого газу за нормальних умов: тиску $101,3\text{ кПа}$ (760 мм рт. ст.) і температури $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Вміст домішок (водяних парів, смоли, пилу) виражають у г/м^3 сухого газу.

Основним елементом горючої маси твердого і рідкого палива є вуглець. Із збільшенням віку твердого палива вміст вуглецю збільшується (від $40\text{ } \%$ у деревині та до $93\text{ } \%$ в антрациті). У робочій масі нафти та нафтопродуктів вміст вуглецю коливається у межах $C^p=84...87\text{ } \%$. За повного згоряння вуглецю утворюється діоксид вуглецю CO_2 і виділяється $32,8\text{ МДж}$ теплоти на 1 кг вуглецю. При неправильній організації процесу горіння відбувається неповне згоряння вуглецю, внаслідок чого утворюється оксид вуглецю CO та виділяється всього $9,2\text{ МДж}$ теплоти. Водень є складовою частиною будь-якого палива. У твердому паливі кількість водню може досягати $6\text{ } \%$, у рідкому – $11-14\text{ } \%$. При

повному згорянні 1 кг водню виділяється 143,64 МДж теплоти.

У твердому паливі у більшості східних районів України вміст сірки невеликий ($S_{\text{ор+к}}^{\text{r}} < 1\%$); у деякому вугіллі (українському, підмосковному та ін.) вміст її зростає до 6...9 %. За вмістом сірки нафту і мазут поділяють на три класи: малосірчасті із вмістом сірки до 0,5 %, сірчасті – від 0,51 до 2 % і високосірчасті – понад 3,5 %.

При згорянні сірки утворюється токсичний сірчастий ангідрид SO_2 – (у невеликих кількостях) сірчаний ангідрид SO_3 . При повному згорянні сірки виділяється 10,92 МДж на 1 кг сірки. Сірчасті гази у поєднанні із водяними парами спричинюють корозію сталевих поверхонь котла. Викиди SO_2 і SO_3 з продуктами згоряння викликають забруднення повітряного басейну і негативно впливають на тваринний і рослинний світ та здоров'я людини.

Азот є шкідливим компонентом, оскільки при спалюванні сполук, що містять азот, можуть утворюватись токсичні оксиди NO і NO_2 . Крім того, азот є внутрішнім баластом палива. Вміст азоту у твердих видах палива не перевищує 2 % (у вугіллі Кузнецького басейну $N^{\text{p}} = 1,9\%$, Донецького і Підмосковного басейнів $N^{\text{p}} = 0,6\%$; у горючих сланцях $N^{\text{p}} = 0,1\%$, у торфі – $N^{\text{p}} = 1,1\%$).

У генераторному газі, що одержується при газифікації твердого палива, вміст азоту може досягати 50 %.

У паливі наявна певна кількість вологи у результаті її хімічної та фізико-хімічної взаємодії з твердою масою палива. Спільну вологу у твердому паливі умовно поділяють на зовнішню і гідратну.

До *зовнішньої вологи* відносять вологу, що потрапила до маси палива під час його видобування, зберігання і транспортування за рахунок ґрунтових вод та з атмосферного повітря. Її називають *вільною зовнішньою вологою*. До зовнішньої відносять сорбовану полого та вологу, що заповнює капіляри та пори маси паливної речовини, так звану зв'язану вологу.

До *гідратної вологи* відносять колоїдну вологу палива і вологу, що є складовою кристалогідратів мінеральних домішок

палива. Гідратна волога становить невелику частину води, що міститься у паливі.

Максимальна вологість W^p робочої маси палива досягне 50 % і більше. На перетворення 1 кг води, взятої при 0 °С, у пару, слід витратити 2,5 МДж. Тому вміст вологи у паливі визначає як можливість забезпечення ефективного процесу його спалювання, так і доцільність використання даного горючого матеріалу. Вологість знаходять висушуванням наважки при 105-110 °С.

Неспалювана частина палива утворює згорілі залишки, що складаються із золи та шлаку.

Зола – порошкоподібний негорючий залишок, що утворюється при горінні палива.

Шлак – мінеральні домішки, які при горінні палива розплавлялись або спеклись. Він має певну міцність.

Зола включає мінеральні домішки, занесені у паливо у період його утворення, а також частинки породи, що захоплюються при видобуванні. Зола з температурою плавлення 1200 °С вважається низькоплавкою, понад 1500 °С – тугоплавкою. Плавкість золи залежить від її хімічного складу. При аналізі *зольність палива* визначають на суху масу шляхом прогартування при температурі 800–825 °С (для рідких видів палива – 500 °С) попередньо висушеної проби до припинення зменшення маси.

Зольність робочої маси обчислюють за формулою:

$$100A^p = (100 - W^p)A^c. \quad (1.8)$$

Вміст золи у паливі коливається у широких межах. Зольність сухої маси палива A^c становить: для деревини – 1 %, торфу – 10 %, кузнецького вугілля – 10...20 %, підмосковного бурого вугілля – 30 %, сланців – до 60 %. У рідкому паливі міститься невелика кількість мінеральних домішок (0,2-1 %).

Важливою характеристикою горючої маси палива є *вихід летких речовин*. Чим більше летких речовин, тим більше при нагріванні палива виділяється горючих газів і, отже, простіше запалити це паливо і легше підтримувати стійке горіння.

Вихід летких речовин V^r , у % на горючу масу, визначають шляхом прогартування 1 г палива у закритому тиглі при 850 ± 10 °С протягом 7 хв. Для деревини і сланців $V^r = 85 \dots 90$ %, для антрацитів $V^r = 3 \dots 4$ %. Для бурого вугілля та кам'яного вихід летких речовин коливається у межах $9 \dots 50$ %, для торфу він дорівнює 70 %. Середній склад твердого палива наведений в табл. 1.3.

Таблиця 1.3

Приблизний середній склад твердого палива

Паливо	V^r , %	C^r , %	H^r , %	O^r , %	N^r , %	S^r , %	A^r , %	W^r , %
Торф	65	55	6	35	3	1	10	40
Буре вугілля	35	60	6	25	1	<5	15	30
Кам'яне вугілля	50	80	5	15	1	<3	20	10
Пісне вугілля	10	85	5	2	1	<2	20	7
Антрацит	<8	85	3	1	1	<2	20	6
Сланці	90	73	6	10	1	10	55	20
Кокс	<5	95	—	—	<1	<2	15	5

Теплота згоряння палива – це параметр, що характеризує його енергетичну цінність. Теплота згоряння дорівнює кількості теплоти, яка може виділятися при повному згорянні 1 кг маси твердого або рідкого палива або 1 м³ газового палива за нормальних фізичних умов. Відповідно одиниці вимірювання теплоти згоряння – кДж/кг і кДж/м³ (або МДж/кг і МДж/м³). Розрізняють вищу та нижчу теплоту згоряння.

Вищою теплотою згоряння Q^p називають кількість теплоти, що виділяється при згорянні палива з урахуванням теплоти конденсації водяних парів, що утворюються при згорянні водню H^o і випаровуванні вологи палива W^p . Якщо з Q^p_B відняти величину теплоти конденсації водяних парів, одержимо *нижчу теплоту згоряння Q^p_H* . Оскільки 1 кг водню дає при згорянні 9 кг води, а теплота конденсації 1 кг водяної пари дорівнює близько 2,5 МДж, то:

$$Q^p_H = Q^p_B - 0,025 (9H^p + W^p). \quad (1.9)$$

Значення H^p і W^p підставляють у цю формулу в %, Q^p_H і Q^p_B – у МДж/кг. У теплотехнічних розрахунках теплоту згоряння палива, МДж/кг, визначають за формулою Менделєєва:

$$Q^p = 0,339C^p + 1,03H^p - 0,109(Q^p - S^p) - 0,025W^p. \quad (1.10)$$

Нижчу теплоту згоряння сухого газоподібного палива розраховують за теплою згоряння його компонентів, МДж/м³:

$$Q^p_H = 0,127CO + 0,108H_2 + 0,234H_2S + 0,358CH_4 + 0,59C_2H_4 + \\ + 0,638C_2H_6 + 0,913C_3H_8 + 1,4C_6H_6. \quad (1.11)$$

Важливим показником якості палива є його *теплотворна здатність* – кількість енергії (тепла), що може виділити одиниця маси цього джерела, яка вимірюється у джоулях на кілограм (Дж/кг). Теплотворна здатність деяких видів палива наведена в табл. 1.4.

Для порівняння різних видів палива при визначенні енергетичних балансів, а також оцінки паливних енергоресурсів всі види палива по теплоті згоряння приводять до єдиного еквівалента.

Таким тепловим еквівалентом служить *одиниця умовного палива* (у. п.), що має теплоту згоряння 29,308 МДж/кг (7000 ккал/кг). Для перерахунку реальних палив в умовне паливо використовують тепловий еквівалент у кг у. п./кг:

$$E = \frac{Q^p_H}{29,308}. \quad (1.12)$$

Усереднені значення теплових еквівалентів основних видів палива дорівнюють: для вугілля – 0,72, природного газу – 1,17... 1,2, нафти – 1,43, мазуту – 1,3, торфу – 1,4, дров – 0,25.

В деяких випадках для порівняння енергетичної цінності видів палива застосовують *тонну нафтового еквіваленту* (англ. *tonne of oil equivalent, (toe)*) – стандартизовану одиницю

вимірювання енергії, що як правило, використовується для порівняння використання великої кількості енергії з різних джерел.

Таблиця 1.4

Характеристика палива за теплотворною здатністю

Вид палива	Теплотворна здатність, кДж/кг	Кількість повітря, що витрачається на згорання 1кг палива
Торф	35915	4,01
Буре вугілля	1227	5,5
Антрацит	4266	7,98
Кокс	50310	6,55
Мазут	40510	10,64
Бензин	300	11,77

Примітка: практично кількість повітря, що необхідна для згорання 1 кг палива, виявляється більшою за вказану, тому наведені значення треба помножити на «коефіцієнт запасу» (для твердого палива – 1,5-3, для рідкого – 1,15...1,2, для газоподібного – 1,08...1,2).

1 TNE (toe) еквівалентна кількості енергії, що виділяється при спалюванні однієї тонни сирової нафти. Це близько 41,868 ГДж або 11.63 МВт·год. енергії.

Інші носії енергії можуть бути переведені в тоннах нафтового еквівалента, використовуючи такі коефіцієнти перерахунку:

- 1 т дизпалива = 1,02 toe;
- 1 м³ дизеля = 0,98 toe;
- 1 м³ бензину = 0,86 toe;
- 1 тис. м³ природного газу = 0,812 toe;
- 1 Гкал теплової енергії = 0,1 toe;
- 1 тис. кВт·год електроенергії = 0,246 toe;
- 1 т вугілля = 0,525 toe;
- 1 м³ дров (у щільному вимірі) = 0,186 toe;
- 1 т паливного торфу = 0,203 toe;

- 1 т скрапленого газу (пропан-бутанова суміш) = 1,1 toe;
- 1 т мазуту топкового = 1,02 toe.

Для переведення однієї тонни нафтового еквіваленту в одну тунну вугільного еквіваленту (український стандарт) застосовують коефіцієнт 0,7.

Для вологості, зольності і сірки, що містяться у паливі, користуються поняттям *зведених характеристик*. Вони дорівнюють вмісту відповідного компонента у паливі (W^p , L^p , $S^p_{\text{л}}$), поділеному на нижчу теплоту згоряння палива:

$$W^n = \frac{W^p}{Q_n^p}; \quad A^n = \frac{A^p}{Q_n^p}; \quad S^n = \frac{S^p}{Q_n^p}. \quad (1.10)$$

Використання наведених характеристик спрощує виконання розрахунків, пов'язаних із певним визначенням характеристик палива.

1.5. Роль палива у енергетичному балансі України

У енергетичному балансі України переважають природний газ, вугілля та ядерне паливо (табл. 1.5).

За останні 3-4 роки високі ціни на енергоносії і енергоресурси, складана економічна ситуація тощо спрямовує державу до впровадження в дію стратегії енергозбереження і енергоефективності, що змушує до скорочення використання викопних видів палива, застосування інноваційних технологій енергозабезпечення, у тому числі і з використанням нетрадиційних видів палива (рис. 1.2).

Частка використання природного газу в загальному енергобалансі України скоротилась майже до 30 %, нафти – до 10,1 %, зростають темпи використання відновлюваних енергоресурсів, у тому числі і нетрадиційних, та ядерного палива.

Таблиця 1.5

**Структура споживання первинної енергії в Україні,
країнах ЄС, США та у світі в цілому (2010 р.)**

Ресурс	Світ	Україна	Країни ЄС	США
Природний газ	21 %	41 %	22 %	24 %
Нафта	35 %	19 %	41 %	38 %
Вугілля	23 %	19 %	16 %	23 %
Уран	7 %	17 %	15 %	8 %
Гідроресурси та інші відновлювальні джерела	14 %	4 %	6 %	7 %
Всього	100 %	100 %	100 %	100 %

Джерело: Енергетична стратегія України до 2030 р.

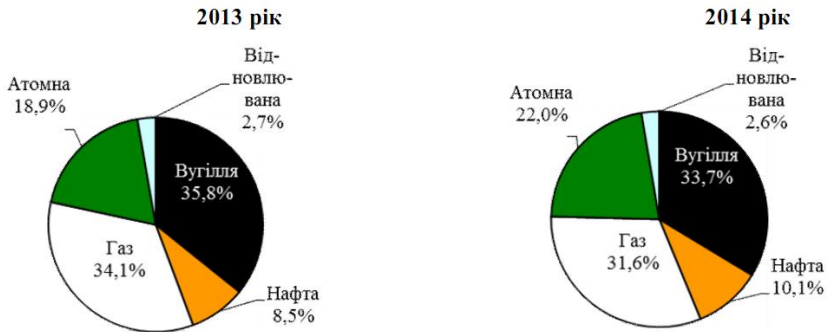


Рис. 1.2. Розподіл джерел енергії в загальному постачанні первинної енергії в Україні за 2013-2015 р. р.

Джерело: Енергетичний баланс України за 2014 р. : [Експрес-випуск] – К.: Держстат України, 2014. – 5 с.

Структура використання енергоресурсів за секторами економіки протягом останніх років залишається сталою (рис. 1.3). Найбільшими кінцевими споживачами енергії в Україні залишаються промисловість і побутовий сектор.

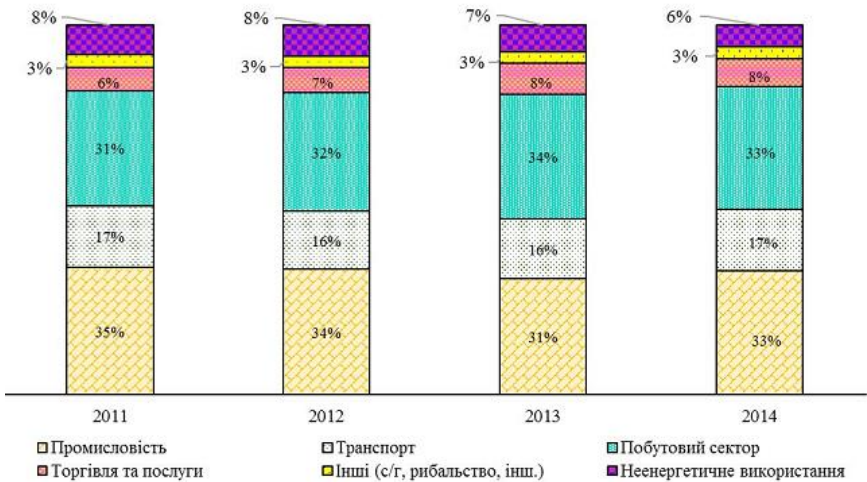


Рис. 1.3. Структура енергоспоживання в Україні за напрямками, %

Джерело: Енергетичний баланс України за 2014 р. : [Експрес-випуск] – К.: Держстат України, 2014. – 5 с.

За проектом Енергетичної стратегії України на період до 2030 року, попит на теплову енергію у 2030 році може збільшитися (до 271 млн Гкал). Теплові електричні станції (ТЕС) на органічному паливі багато десятиліть залишаються основним промисловим джерелом електроенергії в світовій економіці, не є виключенням і Україна. За даними МЕА («Key World Energy Statistics 2007») наразі майже 2/3 світового виробництва електроенергії припадає на ТЕС і по 1/5-1/6 – на ГЕС і АЕС. Основними джерелами первинної енергії для ТЕС є викопні види органічного палива – вугілля, природний газ і нафта. Головним з них служить вугілля, що забезпечує близько 40,3 % сучасного світового виробництва електроенергії. На частку природного газу припадає 19,7 % світового виробництва електроенергії, нафти – 6,6 %.

Нажаль, при збереженні існуючих тенденцій помірного розвитку атомної енергетики, частка ТЕС у загальному виробництві електроенергії залишається сталою. Хоча

енергетична стратегія багатьох країн світу за підтримки МАГАТЕ (Міжнародної агенції з атомної енергії) передбачає ренесанс атомної енергетики зі збільшенням її частки у світовому виробництві електричної енергії, проте ТЕС забезпечуватимуть покриття понад половини потреб людства в електричній енергії.

? Контрольні питання

1. Поясніть поняття енергоресурсу і енергоносія. Які між ними відмінності?
2. Що розуміють під характеристиками енергоносіїв?
3. Яку область проблем охоплює енергетика?
4. Що таке паливо-енергетичний комплекс і яка мета його функціонування?
5. Що таке енергія? Які основні форми її застосування у виробничих процесах?
6. Що таке коефіцієнт використання енергії?
7. Поясніть поняття ексергії.
8. Що таке паливо? Які вимоги ставляться до палива при використанні?
9. Класифікація палива. Ознак класифікації палива.
10. За якими характеристиками характеризують паливо?
11. Що таке температура займання, температура спалаху?
12. Які компоненти входять до робочої маси палива?
13. Які компоненти входять до сухої маси палива?
14. Які компоненти входять до органічної маси палива?
15. Які компоненти палива складають його горючу частину (речовину)?
16. Дайте визначення процесу горіння і назвіть необхідні умови його настання.
17. Що таке теплота згоряння палива? Її види.
18. Які еквіваленти введено для порівняння різних видів палива при визначенні енергетичних балансів?
19. Які види палива переважають в енергетичному балансі України?

Розділ 2

ВИДИ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ

Загальні відомості

Природні енергоресурси. Класифікація і загальна характеристика

Невідновлювані енергетичні ресурси

Вугілля

Торф

Горючі сланці

Нафта

Природний газ

Гази нафтопереробки і вуглевидобутку

Гази сланцевих порід

Ядерне паливо

Відновлювані енергетичні ресурси

Гідроенергетичні ресурси

Енергія вітру

Сонячна енергія

Біомаса

Геотермальні ресурси

Вторинні енергетичні ресурси

2.1. Загальні відомості

Для отримання теплової і електричної енергії необхідно паливо, що перетворюється шляхом термічної утилізації у теплоту. Паливо зосереджено у *енергетичних ресурсах* – речовинах, енергетичний потенціал яких достатній для перетворення в інші види енергії з метою наступного ефективного та доцільного використання.

Цілком зрозуміло, що шляхи добування, використання, споживання, трансформації енергії суттєво впливають на її вартість. Споживачу в сучасних економічних умовах для конче необхідно знати скільки енергії потрібно затратити для досягнення тих або інших цілей, який вид енергії більш доцільно при цьому застосувати і за яких техніко-технологічних умов. Кінцевою метою використання енергії повинно бути:

- зниження затрат на енергоносії;
- збільшення потужностей виробництва;
- зниження викидів у навколишнє середовище.

Різноманітність форм існування енергії, властивість їх перетворення дозволяє використовувати для виробництва і споживання енергії різні енергоресурси та енергоносії, визначає їх взаємозамінність.

Для оцінки енергетичної цінності речовини і належність її до категорії енергоресурсів вводиться поняття енергетичного потенціалу.

Енергетичним потенціалом речовини – параметр, що дозволяє оцінити принципіальну можливість і доцільність її використання як джерела енергії.

Енергетичний потенціал виражається у джоулях (Дж) або кіловат-годинах (кВт(тепл.)·год):

$$1 \text{ кВт(тепл.)} \cdot \text{год} = 3600 \text{ кДж.}$$

Джерелами енергії є *енергетичні ресурси* – об’єкти, в яких зосереджена енергія, що придатна для практичного використання людиною.

2.2. Природні енергоресурси. Класифікація і загальна характеристика

До природних ресурсів належать: сприятливі кліматичні умови (енергія сонця, вітру, води), ґрунти, рослини, тварини, мінеральна сировина, води. Класифікація природних ресурсів може бути різною, залежно від того, за якими ознаками її проводять.

Найчастіше використовується такий поділ:

- за видами: мінерально-сировинні, водні, земельні, біологічні (тваринні та рослинні), кліматичні, рекреаційні, Світового океану;
- за вичерпністю: вичерпні (ресурси надр та екосистеми) і невичерпні (енергія сонця, вітру, припливно-відпливна, хвильова, геотермічна, термоядерна тощо).

- за можливістю самовідновлення: відновлювані (водні, земельні, біологічні) та невідновлювані (більша частина мінеральних ресурсів);

- за технологією використання: первинні та вторинні

До *первинних* відносять ресурси, що є результатом природних процесів, їх енергетичний потенціал не залежить від діяльності людини. Це природні ресурси, які не переробляли і не перетворювали. Первинними джерелами енергії є: викопні горючі речовини, ядерне паливо, термальні води, сонце, вітер, ріки, океани тощо (рис. 2.1).

Вторинними джерелами енергії є побічні продукти діяльності людини: гарячі відходи промислових підприємств і теплових станцій у вигляді газів, пари та води; скидна теплота компресорних станцій магістральних газопроводів у вигляді газів, пари і води; нагріті вентиляційні викиди; відходи сільськогосподарського виробництва тощо.

Первинні енергоресурси поділяють на відновлювані та невідновлювані.

Невідновлювані джерела енергії – це природно-утворені й накопичені в надрах планети запаси речовин, здатні за певних умов звільняти енергію, що міститься в них. Такими є викопне органічне паливо (вугілля, нафта, природний газ, торф, горючі сланці), ядерне паливо (уран, торій).

За ступенем розвіданості первинні невідновлювані енергетичні ресурси поділяють на три категорії – А, В, С:

- А – добре розвідані та підготовлені до видобутку;
- В – геологічно обґрунтовані та відносно добре розвідані;
- С – передбачувані запаси, встановлені за геологічними прогнозами та географічними даними.

Крім цього, користуються також поняттям *загально-геологічних прогнозованих запасів*, що визначають на основі геологічних розрахунків і використовують для оцінки наявних ресурсів на далеку перспективу.

Найбільші енергетичні ресурси органічного палива зосереджені у вугіллі. Прогнозовані геологічні ресурси вугілля у світі становлять 6000-15000 млрд. т у. п.

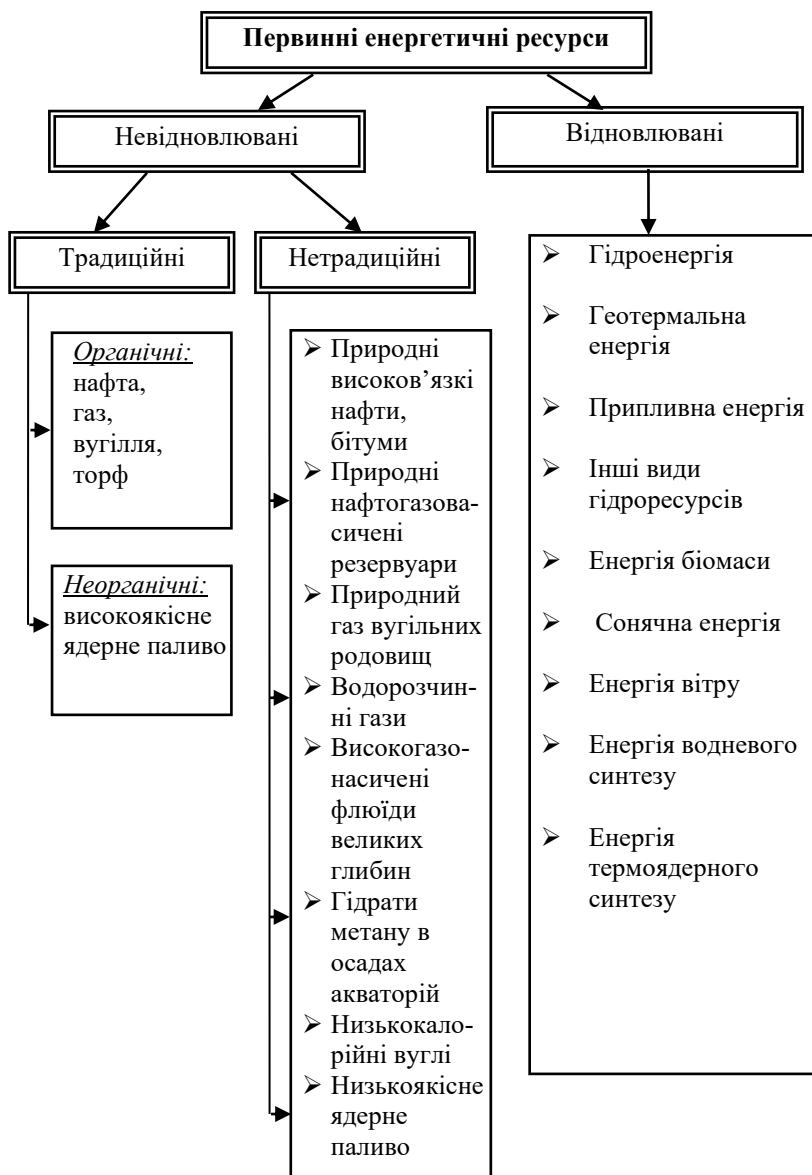


Рис. 2.1. Структура первинних енергоресурсів за видами

Геологічні ресурси нафти у світі складають 280-515 млрд. т у. п., або 8380-15100 ЕДж, тобто у 20-30 рази менше, ніж вугілля. З цією кількістю розвідані запаси дорівнюють 130-131 млрд. т у. п. При добуванні нафти ступінь видобутку її з пласта звичайно не перевищує 40 % запасів родовища. До запасів нафти відносять бітулюзні піски та нафтоносні сланці. Їх запаси у 2-3 рази більші від ресурсів традиційної нафти.

Останнім часом перспективні глибоководні морські та арктичні родовища нафти, їх запаси становлять 230 млрд. т.

Ресурси природного газу на Землі оцінюються у 180-315 млрд. т, що відповідає 5200-9200 ЕДж. Розвідані запаси складають 40-55 % загальногеологічних ресурсів. Вони розподілені таким чином: у країнах СНД – 10 %, Близького Сходу – 25 %, Північної Америки – 10 %.

Ресурси урану ^{235}U , що економічно доцільно використовувати для потреб енергетики, у світі оцінюються у 155 млрд. т у. п., тобто 4540 ЕДж. З них розвіданих ресурсів — 66 млрд. т у. п., що відповідає 3 млн. т урану.

Відновлювані первинні джерела енергії є продуктами діяльності і процесів на Землі: вітер, водні ресурси, океан, гідро- та геотермальні джерела, рослинні продукти біологічної діяльності на Землі (деревина та інші рослинні речовини на ґрунті, у морях, океанах), а також енергія Сонця. Якщо буде вирішене питання практичного використання термоядерної енергії синтезу речовин, людство буде мати невичерпне первинне джерело енергії. Із зростанням вартості енергоресурсів та за дефіцитом власних останнім часом зростають темпи впровадження технологій отримання і використання нових видів невідновлюваних енергоресурсів, які отримали назву *нетрадиційних*.

Відновлювані джерела енергії – ті, 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. Згідно з класифікацією Міжнародного енергетичного агентства до поновлюваних джерел енергії належать такі категорії:

- відновлювані джерела енергії (ВДЕ), які спалюються, і відходи біомаси;

- тверда біомаса, 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, який спалюється для виробництва електрики і тепла;

- 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: теплова енергія, що надходить із земних надр, зазвичай у вигляді гарячої води або пари.

Для відновлюваних енергетичних ресурсів енергетичний потенціал звичайно приймають рівним строку їх використання

протягом 100 років. Загальні геологічні ресурси *гідроенергії річок* дорівнюють 3,5-4,0 млрд. т у. т./рік, або 102-117 ЕДж/рік. Розвідані ресурси енергії річок оцінюються у 1,23 млрд. т у. п./рік.

Біопаливо – органічні матеріали, такі як деревина, відходи та спирти, які використовуються для виробництва енергії – відновлюване джерело енергії. Офіційне визначення *біопалива* – будь-яке паливо, яке містить (за об'ємом) не менш ніж 80 % матеріалів, отриманих від живих організмів, зібраних у межах десяти років перед виробництвом. Ресурс біопалива оцінюється у $2,4 \cdot 10^{12}$ т., крім того, в океанах щорічно утворюється $0,06 \cdot 10^6$ т рослинної маси.

Енергетичні ресурси *сонячної енергії* становлять близько 2,4 млн. ЕДж/рік.

Енергетичний потенціал *вітру* оцінюється у 6,1 ЕДж/рік, а хвиль океанів – у 95 ЕДж/рік.

Геотермальні енергетичні ресурси – природне тепло Землі, акумульоване в перших десятих кілометрах Земної кори, за оцінкою МРЕК досягає 137 трлн. т у. п., що в 10 разів перевищує геологічні ресурси усіх видів палива разом узятих. З усіх видів геотермальної енергії мають найкращі економічні показники гідрогеотермальні ресурси – термальні води, пароводяні суміші і природна пара.

У структурі світового виробництва електричної енергії відновлювані джерела енергії (ВДЕ) посідають почесне друге місце. Вони забезпечили майже 19 % світового виробництва електроенергії в 2005 р., слідом за вугіллям (39 %), випередивши атомну енергетику (17 %), природний газ (17 %) і нафту (8 %). Основну кількість електроенергії, що виробляється з ВДЕ, отримано на гідроелектростанціях (92 %). Незважаючи на значний прогрес у розвитку, геотермальна, сонячна й вітрова енергетика забезпечують менше 4 % від загального внеску ВДЕ.

2.3. Невідновлювані енергетичні ресурси

Загалом видобуток енергоресурсів в Україні зростав до 1987 р. Однак останніми роками абсолютні розміри видобутку енергоресурсів почали знижуватись. Це пояснюється головним

чином погіршенням гірничо-геологічних умов видобутку вугілля у Донбасі, нестабільністю роботи вугільної, нафтової і газової промисловості, складним станом економіки країни в цілому.

Збільшення витрат на видобуток і транспортування енергоресурсів потребує обґрунтування економічної доцільності розробки тих чи інших родовищ. Для їх визначення в енерго-економічних розрахунках використовують показники кінцевих витрат, які дають змогу виявити у розрізі України та її економічних районів суспільне виправданий верхній рівень витрат, необхідних для одержання окремих видів палива.

Отже, на основі кінцевих витрат встановлюють рівень енергозабезпечення України в цілому та її окремих економічних районів.

2.3.1. Вугілля, запаси, видобуток, використання

Викопне кам'яне вугілля було відоме ще в давнину. Примітивний видобуток вугілля здійснювався в стародавньому Китаї та античній Греції, де його використовували як паливо. У Західній Європі вугілля почало використовуватись пізніше. До XVII ст. для виплавки металу застосовувалося винятково деревне вугілля. Бурхливий розвиток металургії в XVIII ст. вимагав більшої кількості палива, тому запаси промислової деревини різко скорочувались. Заміною деревному вугіллю могло стати викопне вугілля.

Як паливо для енергетичних установок вугілля неподільно панувало аж до винаходу двигунів внутрішнього згоряння, що використовують продукти нафтопереробки і значно більш зручні для мобільної експлуатації. На кінець першої третини XX століття вугілля було не тільки повністю витіснене нафтопродуктами з авто- та авіатранспорту, але й помітно втратило свої позиції на водному та залізничному транспорті. Однак у умовах нафтової блокади, якій була піддана у роки другої світової війни Німеччина, а в післявоєнні роки – ПАР, вугілля виявилось сировиною, здатною замінити рідке моторне паливо.

Синтетичні рідкі палива були одержані з вугілля шляхом гідрогенізації (прямого зрідження), піролізу, газифікації

вугілля з наступним каталітичним синтезом Фішера–Тропша. Хоч за економічними показниками синтезичні палива були дорожчі нафтових і після зняття блокади їх виробництво, як правило, припинялось, поступове вичерпання нафтових запасів і стале зростання цін на нафтопродукти змушують продовжувати розробки в даному напрямку.

Розвідані світові запаси вугілля дорівнюють 600-680 млрд. т у. п., тобто 5-10 % їх загальногеологічних запасів. Більше половини світових запасів вугілля зосереджені у Росії, США та КНР. У структурі світового енергетичного балансу сумарна частка вугілля та торфу становить 29,4 %, лише на 1,8 % поступаючись нафті, природного газу – 21,2 %, запасів ядерного палива – 4,8 % (рис. 2.1).

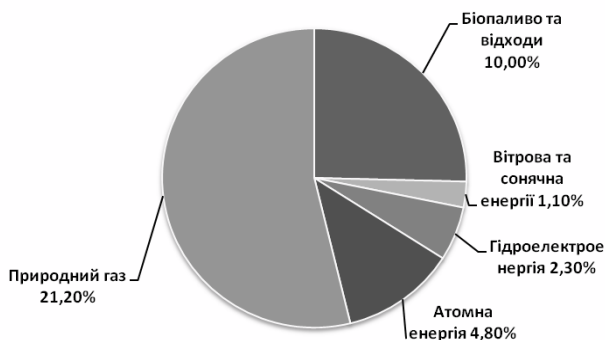


Рис. 2.2. Структура світового енергетичного балансу

Доля видобутку вугілля країнами світу та України найшло відображення на рис. 2.3.

Вугілля в Україні за обсягом видобутку в натуральному вираженні посідає перше місце серед інших енергоресурсів. Запаси вугілля України зосереджені в Донецькому, Львівсько-Волинському, Дніпровському басейнах, а також в Новодмитріївському родовищі Дніпровсько-Донецької западини та Ільницькому, Рокосовському родовищах Закарпатської вугленосної площі. Кам'яне вугілля розповсюджене в Донецькому і Львівсько-Волинському басейнах, буре – в Дніпровському, Донецькому басейнах, Дніпровсько-Донецькій западині й на Закарпатській вугленосній площі. Основним районом

видобутку кам'яного вугілля є Донецький басейн, де з 295 кам'яновугільних шахт 131 шахта – з коксовим вугіллям.

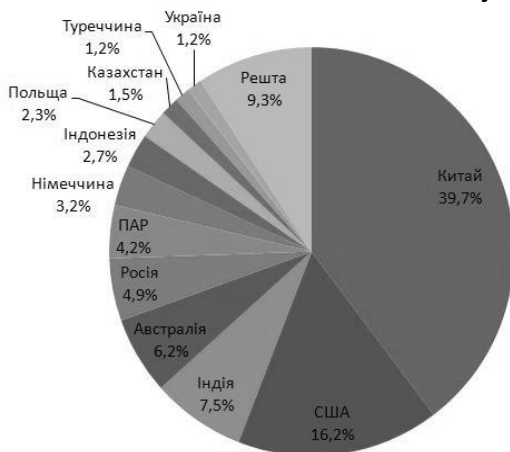


Рис. 2.3. Доля видобутку вугілля країнами світу

Майже 14 млн. т кам'яного вугілля видобувають у Львівсько-Волинському кам'яновугільному басейні. Запаси вугілля тут невеликі, тому вважається економічно доцільною робота тільки 2 шахт з 15 діючих.

Значну частину вугілля цього басейну використовують Бурштинська та Добротворська теплові електростанції. Дніпровський буровугільний басейн розташований переважно на Правобережжі України й об'єднує родовища Житомирської, Вінницької, Київської, Кіровоградської, Черкаської, Запорізької та Дніпропетровської областей.

Запаси бурого вугілля, яке можна видобувати відкритим способом, знаходяться у 58 родовищах. Найбільше таких родовищ у Кіровоградській (29), Дніпропетровській (19) та Черкаській (5) областях. За останні роки його видобуток перебуває в межах 4,0-4,5 млн. т. Буровугільна промисловість України об'єднує великі механізовані вуглерозрізи, шахти, вуглебрикетні фабрики, а також допоміжні підприємства.

Незважаючи на всю різноманітність напрямків використання викопного вугілля, основними його споживачами і досі є теплоенергетика, металургія, а в сільській місцевості та

країнах, що розвиваються, – і житлово-побутовий сектор. І чим більше зростало споживання вугілля в указаних секторах, тим гострішим ставало протиріччя між співвідношенням марок вугілля, які вимагаються і які видобуваються, а також між виходом при добуванні та споживанні сортових фракцій і несортového вугільного дрібняку. Тому ще з кінця XIX століття інтенсивно здійснювався пошук методів усунення цих протиріч.

Неабияке значення з усіх видів вугілля має коксове вугілля. З усіх марок коксівні властивості мають лише вугілля марок Ж (жирне) і К (коксівне), частка яких в загальному обсязі видобутку відносно невелика і не забезпечує потреби коксового виробництва. Дослідження характеру і природи пластифікації і наступного затвердіння вугілля, розпочаті в 20-х роках XX століття Ф. Фішером та згодом розвинуті Г. Л. Стадниковим, Д. ван Кревеленом та Н. С. Грязновим, дозволили не тільки створити струнку теорію пластифікації, але й встановити можливість отримання коксівних шихт (сумішей) із вугілля нижчого (газове, довгополуменеве газове) і вищого (спікливе) ступеня метаморфізму, що майже вдвічі розширило сировинну базу виробництва металургійного коксу.

Використання викопного вугілля як палива незрівнянно зросло з появою парових машин і, особливо, з появою машин, здатних перетворювати теплову енергію спалювання вугілля в електричну (перші ТЕС).

Становище змінилося наприкінці 20-х років XX століття, коли в ряді країн були розроблені та впроваджені топки для факельного спалювання пилоподібного твердого палива, що дозволило залучити до паливної бази ТЕС вугільний дрібняк, в тому числі підвищеної зольності (до 25-30 % – для антрацитів і пісних, до 30–40 % – для кам'яного вугілля), землисте буре вугілля, сланці, а також підвищити до 35-40 % к.к.д. енергоблоків. Таким чином, зараз в енергетику спрямовуються переважно низькосортне вугілля і несортівий дрібняк, що вивільняє сортове вугілля для інших видів використання.

2.3.1.1. Природна класифікація вугілля

В основу *природної класифікації вугілля* лягли склад первинного матеріалу, з якого воно утворилося, і процеси змін цього матеріалу в природних умовах, які виявляються в результаті хімічних і петрографічних досліджень. Ця класифікація виглядає так:

Клас 1. *Гумусове вугілля*. Утворилось із торфу, в основному за рахунок частин вищих рослин, які легко розкладаються (целюлоза, деревина, лігнін): лігніти; буре вугілля; кам'яне вугілля; антрацити; вуглисті сланці.

Клас 2. *Літобіоліти*. Утворились тільки з найбільш стійких частин вищої рослинності (оболонка спор, смоли, шкірочка кутикули). Всередині класу діляться за переважанням первинного матеріалу: спорове вугілля; смоляне вугілля; кутикулове вугілля.

Клас 3. *Сапропеліти*. Утворились із залишків нижчих організмів (водоростей, планктону). Діляться тільки за зольністю; окрім того, в особливий підклас виділяють богхеда, в яких нижчі водорості не збереглися від розкладання і перетворені в безструктурну масу (сапроколіти): богхеда; сапроколіти; горючі сланці.

Перша Міжнародна класифікація вугілля була прийнята Комітетом з вугілля Європейської економічної комісії ООН в 1956 р. У ній все вугілля групувалось за ступенем метаморфізму і його технічним застосуванням. Згідно цією класифікацією вугілля з вищою теплоотою спалювання вологої беззольної маси до 23826 кДж/кг відносять до бурого, більше 23826 кДж/кг – до кам'яного.

2.3.1.2. Класифікація вугілля за генетичними і технологічними параметрами

Ця класифікація розроблена вченими колишнього СРСР і введена в дію як міждержавний стандарт (ГОСТ 25543 «Вугілля буре, кам'яне, антрацити. Класифікація за генетичними і технологічними параметрами»). У ній на основі найбільш характерних загальних ознак, які відбивають генетичні особливості та основні технологічні параметри викопного

вугілля, визначено порядок його поділу на три види – буре, кам'яне і антрацити.

Антрацит – твердий, високої щільності, блискучий різновид вугілля, що містить більш 90 % вуглецю і має низький відсоток домішок. Горить без полум'я, диму і запаху. Високоякісне енергетичне паливо.

Найбільш метаморфізований різновид вугілля кам'яного, що має високу теплотворну здатність. Злам раковистий, зрідка зернистий.

Колір чорний або сіруватий, блиск металевий. Густина 1500-1700 кг/м³, твердість 2-2,5; теплотворна здатність 33...35 МДж/кг – 8000-8600 ккал. Антрацит не спікається і дає порошок.

Хімічні властивості антрациту: вуглецю 92-97 %, водню 2-3 %, кисню 2-3 %, азоту – 1 %, фосфору – 0,01 %, вологи 2–4 % , золи 3-9 % , летких речовин 2–8 %, сірки 1–3 %. Під мікроскопом антрацит в тонких шліфах непрозорий, рослинні залишки невиразні. Вологість антрацитів 3-7 %, зольність 10-18 %, вихід летких речовин 2-9 %.

Кам'яне вугілля – осадова порода, що є продуктом глибокого розкладу решток рослин (дерев'янистих папоротей, хвощів і плаунів, а також перших голонасінних рослин). Викопне вугілля відрізняється співвідношенням своїх компонентів, що визначає їхню теплоту згоряння (нижча теплота згоряння робочої маси коливається від 20,7 до 31,4 МДж/кг). За складом органічної маси кам'яне вугілля неоднорідне: C^r =78...90 %, H^r =4,0...5,8 %, O^r=3....15 %, N^r=0,5...2,0 %, S^r= 1...6 %.

Буре вугілля – тверде викопне вугілля, що утворилося з торфу, містить 65-70 % вуглецю, бурого кольору, наймолодше з викопного вугілля. Використовується як місцеве паливо, а також як хімічна сировина. Містить багато води (43 %), і тому має низьку теплоту згоряння. Крім того, містить більшу кількість летких речовин (до 50 %). Утворюється з відмерлих органічних решток під тиском навантаження і дією підвищеної температури на глибинах близько 1 км.

Основні класифікаційні параметри вугілля наступні:

- показник відбиття вітриніту R_o – для встановлення виду вугілля і класу;
- вміст фюзенізованих компонентів на чисте вугілля – для встановлення категорії вугілля;
- максимальна вологоємкість на беззольний стан W^{daf} – для встановлення типу бурого вугілля;
- вихід летких речовин на сухий беззольний стан V^{daf} – для встановлення типу кам'яного вугілля;
- об'ємний вихід летких речовин на сухий беззольний стан V^{obdaf} – для встановлення типу антрациту; вихід смоли напівкоксування на сухий беззольний стан T^{skdaf} – для встановлення підтипу бурого вугілля;
- товщина пластичного шару Y та індекс Рога RI – для встановлення підтипу кам'яного вугілля; анізотропія відбиття вітриніту AR – для встановлення підтипу антрациту.

Параметри для різних видів вугілля наведено в табл. 2.1. Буре, кам'яне вугілля і антрацити в залежності від технологічних властивостей об'єднують в технологічні марки, групи і підгрупи та позначають семизначним кодовим числом, в якому перші дві цифри позначають клас та характеризують середній показник відбиття вітриніту для даного класу, помножений на 10. Третя цифра позначає категорію і характеризує середнє значення суми фюзенізованих компонентів, поділене на 10. Четверта і п'ята цифри позначають тип і характеризують для кам'яного вугілля середній вихід летких речовин, для антрацитів – об'ємний вихід. Шоста і сьома цифри позначають підтип і характеризують для кам'яного вугілля абсолютне значення товщини пластичного шару, для антрацитів – середнє значення анізотропії відбиття вітриніту.

За одержаними значеннями класу, категорії, типу і підтипу вугілля встановлюють його марочну належність. У відповідності з ГОСТ 25543 марку, групу і підгрупу встановлюють для кожного вугільного пласту за результатами дослідження пластових проб.

Параметри маркування вугілля, прийняті в класифікації, підпорядковуються закону аддитивності. Тому стандартом передбачено за виробничих умов, які викликають необхідність

використання суміші вугілля різних марок в процесі видобутку і видачі, марку, групу, підгрупу і код суміші встановлювати шляхом розрахунку середніх значень класифікаційних параметрів на основі планової участі шахтопластів.

Таблиця 2.1

Параметри для різних видів вугілля

Вугілля	Класифікаційні параметри		
	R_o , %	Q^{daf} , МДж/кг	V^{daf} , %
Буре	<0,60	<24	
Кам'яне	0,40–2,59	≥ 24	≥ 8
Антрацит	$\geq 2,2$		<8

У випадку змішування вугілля різних марок при збагачуванні та розсортуванні для коксування, що здійснюється тільки за погодженням зі споживачем, марочна належність концентрату визначається за плановою участю марок у суміші. Марочна належність продуктів збагачення, призначених для енергетичних цілей, може встановлюватися і за середніми зваженими показниками рядового вугілля, яке планується до переробки.

2.3.1.3. Міжнародна класифікація вугілля

Перша Міжнародна класифікація вугілля була прийнята Комітетом з вугілля Європейської економічної комісії ООН в 1956 р. У ній все вугілля групувалось за ступенем метаморфізму і його технічним застосуванням. Згідно цієї класифікацією вугілля з вищою теплою спалювання вологої беззольної маси до 23826 кДж/кг відносять до бурого, більше 23826 кДж/кг – до кам'яного.

Кам'яне вугілля класифікувалося за виходом летких речовин на суху беззольну масу V^{daf} , теплою згорання Q^{daf} для вугілля з виходом летких речовин більше 33 %, спіканням і коксівністю (ДСТУ 3472-96).

Кожне вугілля характеризується тризначним числом (кодовим номером). Перша цифра коду означає клас вугілля, який визначається за виходом летких речовин або за теплою згорання.

Всього 10 класів – від 0 до 9, з них шість (від 0 до 5) визначають за виходом летких речовин і чотири (від 5 до 9) – за теплою згоряння. Друга цифра кодового номеру встановлює групу вугілля за спікливими властивостями. Все вугілля за спікливістю розбите на чотири групи (від 0 до 3). Як показник спікливості прийнято індекс Рога або індекс вільного спучування. (див. розділ 2.3.1.6.). Третя цифра кодового номеру означає підгрупу, яка визначається за коксівною здатністю.

Чотири групи, на які поділено вугілля за спікливістю, в свою чергу діляться на шість підгруп за коксівністю, позначені номерами від 0 до 5. Коксівність визначається ділатометричними показниками або типом коксу за Грей-Кінгом (див. розділ 3.2.1).

За Міжнародною класифікацією буре вугілля поділяється на шість класів за масовою часткою загальної вологи свіжовидобутого вугілля в перерахунку на беззольний стан і на п'ять груп за виходом смоли напівкоксування вугілля в перерахунку на сухий беззольний стан (табл. 2.2). Класи позначені порядковими номерами від 10 до 15 за зростанням масової частки загальної вологи, групи – умовними номерами 00, 10, 20, 30 і 40 за зростанням виходу смоли напівкоксування. Кожне вугілля характеризується чотиризначним кодовим номером.

Таблиця 2.2

Міжнародна класифікація бурого вугілля за класами та групами

Номер групи	Параметр групи	Номера за кодом				
40	> 25	1040	1140	1240	1340	1440
30	> 20–25	1030	1130	1230	1330	1430
20	> 15–20	1020	1120	1220	1320	1420
10	> 10–15	1010	1110	1210	1310	1410
00	10	1000	1100	1200	1300	1400
Номер класу		10	11	12	13	14
Параметр класу	20	20–30	30–40	40–50	50–60	60–70

У відповідності до Міжнародної класифікації встановлено 61 тип вугілля, об'єднаних в 11 статистичних груп або торгових марок: I, II, III, IV, VA, VB, VC, VD, VIA, VIB і VII. Для визначення коду і типу вугілля за Міжнародною класифікацією проби вугілля, які піддаються аналізу, повинні мати зольність не більше 10 %. Якщо зольність перевищує 10 %, проби повинні бути попередньо збагачені.

2.3.1.4. Міжнародна кодифікація вугілля

Міжнародною системою кодифікації вугілля середнього і високого рангів встановлена кодова система показників, які характеризують кам'яне вугілля і антрацити як об'єкт використання для енергетичних і технологічних цілей. Міжнародна система кодифікації затверджена Європейською економічною комісією ООН у 2002 р. і застосовується в світовій торгівлі вугіллям, запобігаючи непорозумінням між продавцем і покупцем в оцінці характеристики якості та цінності кам'яного вугілля і антрацитів.

До вугілля середнього і високого рангів, кодованих за міжнародною системою, відносять кам'яне вугілля і антрацити, які класифікуються за генетичними і технологічними параметрами.

Кодування кам'яного вугілля і антрацитів проводять за допомогою встановленого ряду цифр, що позначають параметри, які характеризують вугілля, і застосовують для оцінки пластів, рядового і збагаченого вугілля.

Для кодифікації вугілля за міжнародною системою прийнято схему з восьми основних параметрів, що характеризують вугілля для різних видів використання:

R_o – середній показник відбиття вітриніту;

R_f – рефлектограма відбиття вітриніту;

I, L – мацеральний склад;

I, S – індекс вільного спучування;

V^{daf} – вихід летких речовин;

A^d – зольність вугілля;

S^{dt} – масова частка загальної сірки;

Q^{daf} – вища теплота згоряння.

1.3.3. Біопаливо

Біопаливо – паливо, яке отримують, як правило, з біологічної сировини, в якості якої використовують стебла цукрової тростини або насіння ріпаку, кукурудзи, сої, а також целюлозу і різні типи органічних відходів тощо.

Розрізняють тверде біопаливо (дрова, солома), рідке біопаливо (етанол, метанол, біодизель), і газоподібне біопаливо (біогаз, водень).

1.3.3.1. Тверде біопаливо

Дрова – найдавніше паливо. Нині для виробництва дров або біомаси вирощують енергетичні ліси, які складаються з швидкозростаючих рослин. Через значне зростання цін на нафту останнім часом населення багатьох країн скорочує споживання нафтового палива і збільшує використання дров. Це призводить до винищення лісів.

Тверді енергоносії біологічного походження (головним чином гній, відходи деревина, торф) брикетують, сушать і спалюють в камінах житлових будинків і топках теплових електростанцій, виробляючи дешеву електрику для побутових і виробничих потреб.

На рис. 1.2. зображені види біомаси для виробництва твердого біопалива. Відходи деревини з мінімальним ступенем підготовки до спалювання (тирса, кора, лушпиння, солома тощо) пресують в паливні брикети або в пелети, які мають форму циліндричних або сферичних гранул діаметром 8-23 мм і довжину 10-30 мм.

Для класифікації більшості біопалив основні показники якості розбиті на проміжки, зміна в межах яких відповідного показника для споживача несуттєва. Наприклад, клас тріски за вологістю M20 показує, що вологість робочої маси не повинна перевищувати 20 %. Наступний клас вологості M30 визначає межі вологості 20–30 %. За тим же принципом позначають класи за іншими показниками.

Для кожної групи споживачів і типу спалювальних установок необхідні або мають переваги палива з визначеними

властивостями. Чим менше спалювальна установка, тим якіснішим має бути паливо.



Рис. 1.2. Види біомаси для виробництва твердого біопалива

Таблиця 1.1

Типові показники торгових форм біопалив

Паливо	Типові розміри частинок	Тип підготовки
1	2	3
Брикети	$\varnothing > 25$ мм	механічне пресування
Пелети	$\varnothing < 25$ мм	механічне пресування
Пилоподібне паливо	< 1 мм	розмел
Тирса	1 мм – 5 мм	відходи при розпилюванні гострим інструментом
Тріска	5 мм – 100 мм	відходи при переробці гострим інструментом
Подрібнене дерево	варіюється	подрібнення тупим інструментом
Поліна	100 мм – 1000 мм	оброблення на шматки гострим інструментом (пилкою)
Кора	варіюється	окорування колод, кора може бути подрібнена
Пресована солома в малих тюках	0,1 м3	спресована і ув'язана в кубові тюки

Продовження табл. 1.1

1	2	3
Пресована солома у великих тюках	3,7 м ³	спресована і ув'язана в кубові тюки
Пресована солома	2,1 м ³	спресована і ув'язана у в'язки

Властивості рекомендованих для індивідуальних користувачів високоякісних деревних брикетів і пелетів повинні відповідати даним, наведеним у табл. 1.2, 1.3.

Таблиця 1.2

Класи якості високоякісних деревних брикетів для індивідуальних споживачів

Показник	Хімічно необроблене дерево без кори
Вологість	M10 (до 10 %)
Щільність	DE1.0 (щільність 1,00 – 1,09 кг/дм ³)
Розміри	Діаметр 25...125 мм; довжина 50...400 мм
Зольність	A0.7 (< 0,7% на суху частину)
Включення	може містити < 2% на суху частину хімічно необробленого матеріалу на основі іншої біомаси, тип і склад якої необхідно вказати
Нижча теплота згоряння	E4.7 (> 4,7 кВт·год/кг = 16,9 МДж/кг)

Вимоги до властивостей палива з боку котелень центрального опалення або інших великих споживачів палива залежать від застосовуваних спалювальних установок, транспортерів, конструктивних особливостей і способу використання сховищ. Наприклад, якщо для індивідуальних споживачів краще можливо більш сухе паливо, то в котельні може бути встановлений котел, для топки якого переважно більш вологе паливо.

Дуже важливий показник натурального деревного палива – діапазон розмірів частинок, який відображається в назві торгової форми палива і значною мірою визначає технологію спалювання. Типовим класом тріски за розміром частинок

можна вважати клас Р45, для якого розподіл часток палива має вигляд:

- тонка фракція – до 5 % від маси палива складається з частинок до 1 мм;
- основна фракція – не менше 80 % маси палива складається з частинок $3,15 \text{ мм} \leq P \leq 45 \text{ мм}$;
- велика фракція – до 1 % маси палива може бути більше 63 мм.

Таблиця 1.3

**Класи якості високоякісних деревних пелетів для
індивідуальних споживачів**

Походження	Хімічно необроблена деревина без кори
Вологість	M10 (до 10 %)
Механічна стійкість	DU97.5 (понад 97,5 % пелетів (за вагою) має при цьому випробуванні залишитися цілими)
Зміст тонких фракцій	F1.0 або F2.0 (вміст фракції до 3,15 мм – нижче 1 % або 2 %)
Розміри	D06 або D08 (діаметр пелетів $6 \pm \text{мм}$ і довжина до 5 діаметрів або діаметр $8 \pm \text{мм}$ і довжина до 4 діаметрів). До 20 % пелетів(за вагою) може бути довжиною 7,5 діаметрів
Зольність	A0.7 (< 0,7 % на суху масу)
Вміст сірки	S0.05 (< 0,05 % на суху масу)
Включення	може містити < 2 % на суху частину хімічно необробленого матеріалу на основі іншої біомаси, тип і склад якої необхідно вказати
Нижча теплота згоряння	E4.7 (>4,7 кВт·год/кг = 16,9 МДж/кг)

Як видно з розподілу, класифікацію визначає зміст тонкої і крупної фракцій, оскільки обидва відхилення від основної фракції впливають на роботу конвеєра і горіння палива в топці.

1.3.3.2. Рідке біопаливо

Біоетанол – це звичайний етанол, який отримують шляхом переробки рослинної сировини і використовують як біопаливо. Етанол (етиловий спирт) – C_2H_5OH або CH_3-CH_2-OH , другий представник гомологічного ряду одноатомних спиртів.

Етанол у порівнянні з бензином є менш «енергонасиченим» джерелом енергії. Пробіг машин, що працюють на Е85 (суміш 85 % етанолу і 15 % бензину; буква «Е» від англійського Ethanol), на одиницю об'єму палива складає близько 75 % від пробігу стандартних машин.

Звичайні машини не можуть працювати на Е85, хоча двигуни внутрішнього згоряння працюють на Е10. На «справжньому» етанолі можуть працювати лише т. з. «Flex-Fuel» машини. Ці автомобілі можуть працювати на звичайному бензині або на довільній суміші того й іншого.

Серйозним недоліком біоетанолу є те, що при згорянні етанолу у вихлопних газах двигунів з'являються альдегіди (формальдегід і ацетальдегід), які завдають живим організмам не менший збиток, ніж ароматичні вуглеводні.

Біометанол – вид рідкого біопалива на основі метилового (деревного) спирту, одержуваного шляхом сухої перегонки відходів деревини і конверсією метану з біогазу.

Незважаючи на високе октанове число – більше ніж 100, теплотворна здатність метанолу вдвічі менша, ніж у бензині. Це, а також недостатня летючість чистого спирту, пояснює необхідність змішування метанолу з бензином. Стандартом є біометанол М85 (літера «М» від англ. Methanol), що містить 85 % метилового спирту і 15 % бензину. Біометанол М85 не отримав поширення як внаслідок низького енерговмісту, так і через виключну корозійну активність метанолу, яка вимагає застосування спеціальних матеріалів.

З точки зору отримання енергії дана біосистема має істотні економічні переваги в порівнянні з іншими способами перетворення сонячної енергії.

Біобутанол $C_4H_{10}O$ – бутиловий спирт. Безбарвна рідина з характерним запахом. Широко використовується у промисловості. Виробництво бутанолу почалося на початку

XX століття. У 50-х роках через падіння цін на нафту бутанол почали виробляти з нафтопродуктів.

Бутанол не володіє корозійними властивостями, може передаватися існуючою інфраструктурою. Може, але не обов'язково повинен, змішуватися з традиційним паливом. Енергоємність бутанолу близька до енергоємності бензину. Бутанол може використовуватися в паливних елементах, а також як сировина для виробництва водню.

Сировиною для виробництва біобутанолу можуть бути цукрова тростина, буряк, кукурудза, пшениця, а в майбутньому і целюлоза.

Диметиловий ефір (ДМЕ) – C_2H_6O може вироблятися як з вугілля, природного газу, так і з біомаси. Велика кількість диметилового ефіру виробляється з відходів целюлозно-паперового виробництва. Скраплюється при невеликому тиску.

Диметиловий ефір – екологічно чисте пальне без вмісту сірки, вміст оксидів азоту у вихлопних газах на 90% менший, ніж у бензині. Застосування диметилового ефіру не вимагає спеціальних фільтрів, але необхідна переробка систем живлення (установка газобалонного обладнання, коректування сумішо-утворення) та запалювання двигуна.

Без переробки можливе застосування на автомобілях з LPG-двигунами при 30 % вмісті в паливі.

Біодизель – паливо на основі жирів тваринного, рослинного і мікробного походження, а також продуктів їх етерифікації. Для отримання біодизельного палива використовуються рослинні або тваринні жири.

Сировиною можуть бути рапсове, соєве, пальмове, кокосове масло, або будь-яке інше масло-сирець, а також відходи харчової промисловості. Розробляються технології виробництва біодизеля з водоростей.

Біопаливо другого покоління – паливо, яке отримане різними методами піролізу біомаси, або інші палива, відмінні від метанолу, етанолу, біодизеля.

Джерелами сировини для біопалива другого покоління є лігніт-целюлозні сполуки, які залишаються після виділення придатної для використання у харчовій промисловості

біологічної сировини. Використання біомаси для виробництва біопалива другого покоління спрямовано на скорочення кількості використаної землі, придатної для ведення сільського господарства. Рослини – джерела сировини другого покоління представлені:

- водорості – прості організми, пристосовані до росту в забрудненій або солоній воді (містять у 200 разів більше олії, ніж джерела першого покоління, такі як соєві боби);

- рижій (рослина) – рослина, яка росте в ротації з шеницею та іншими зерновими культурами.

- *Jatropha curcas* або Ятрофа – рослина, яка росте в посуш-ливих ґрунтах; вмістом олії в якій складає від 27 до 40 % залежно від виду.

Швидкий піроліз дозволяє перетворити біомасу на рідину, яку легше і дешевше транспортувати, зберігати і використовувати. З рідини можна зробити автомобільне паливо або паливо для електростанцій.

Досить перспективним є також використання рідких продуктів піролізу деревини хвойних. Наприклад, суміш із 70 % живичного скипидару, 25 % метанолу і 5 % ацетону, тобто фракцій сухої перегонки смолистої деревини сосни, з успіхом може застосовуватися як заміна бензину марки А-80. При цьому для перегонки застосовуються відходи деревообробних процесів: сучки, пеньки, кора. Вихід паливних фракцій складає до 100 кілограмів від 1 тонни відходів.

В останні роки за кордоном вивчається можливість використання *ацетилену* (C_2H_2) як моторного палива. Ацетилен має високі енергетичні показники і його можна виробляти з нафтової сировини. Проводились поодинокі експериментальні дослідження роботи поршневих ДВЗ на ацетилені, які до того ж виконані переважно на одноциліндрових установках. Токсичні показники двигуна, який працює на ацетилені, покращуються, в основному, через зниження вмісту у ВГ оксиду вуглецю і сумарних вуглеводнів.

Так в режимах максимальної потужності отримано зменшення викидів CO у 2-2,5 рази, а C_mH_n в 2,5-3,5 рази, в порівнянні з мінімальними значеннями викидів цих компо-

нентів під час роботи на бензині. Разом з тим, внаслідок високої температури згоряння ацетилену вміст оксидів азоту у ВГ, знаходиться на рівні найбільших викидів NO_x бензинових двигунів. Основним недоліком ацетилену та ацетилено-повітряної суміші є їх висока вибухонебезпечність.

Останнім часом в нашій країні і за кордоном вивчається проблема заміни бензину і дизельного палива *рослинною олією*. Такою може бути олія ріпаку.

Ріпак – невибаглива культура, його врожайність 15-25 центнерів насіння з гектару. Шляхом екструзії (пресування) вилучається до 40 % олії від маси посівів. Більш глибока екстракція (вилучення) дозволяє отримати до 70 % олії.

Ріпакову олію можна використовувати у вигляді добавок до дизельного палива або продукувати з неї *метилефір*, який безпосередньо використовується як паливо для дизелів.

Метилефір отримують з ріпакової олії трансетерифікацією (хімічним перетворенням). Для одержання 1000 літрів метилефіру потрібно 1000 літрів олії, 110 літрів метанолу та 16 літрів каталізатору (гідрооксиду калію або натрію).

У результаті додатково одержують 110 кг гліцерину, та відбувається часткове повернення метанолу. Ріпакова олія, як олива для систем змащування за своїми властивостями не поступається нафтовим.

Вона має цілком прийнятну температуру застигання. За антикорозійними та протизношуваними властивостями ріпакова олія перевищує нафтові оливи.

За умови роботи дизеля на сумішах ріпакової олії і дизельного палива зміна концентрацій шкідливих компонентів відпрацьованих газів (CO , C_mH_n , NO_x , CO_2) і їх димність мають такий же характер як і для звичайних дизелів.

Під час роботи дизеля на ріпаковій олії викиди оксиду вуглецю на один кілометр шляху дещо зростають, порівнюючи з дизельним паливом (2,48 і 1,67 г/км відповідно), вуглеводнів оксидів азоту менше. Окрім того ВГ такого дизеля не містять сірки і важких металів.

Біодизельне паливо виробляється з ріпаку та сої і на сьогоднішній день дорожче за традиційне дизельне паливо.

Для отримання біодизельного палива можна використувати також соняшникову і кукурудзяну олію, але найчастіше використовують ріпакову, оскільки собівартість виробництва зерна ріпаку, порівняно з іншими олійними культурами, найнижча.

Біопаливо на основі рослинної олії ще у 1853 р. винайшли англійці. Двигун для нього був винайдений пізніше. 10 червня 1893 р. у місті Аугсбург, Німеччина, відомий інженер і конструктор Рудольф Дизель випробував свій перший одноциліндровий двигун, який був завдовжки 3 м та важив 4,5 т. Двигун вибухнув і ледь не вбив винахідника. На згадку про подію, 10 червня проголошено “Міжнародним днем біодизеля”.

У 1900 р. на Всесвітній виставці в Парижі Р. Дизель про демон-стрував свій винахід і отримав головну нагороду.

Винахідник вірив, що майбутнє для його двигунів – за використанням біопалива. У 1912 р. він передбачав, що: “Використання рослинних жирів для виробництва палива може видаватись несуттєвим на той момент, але з плином часу такі жири можуть стати настільки ж важливими, як продукти з нафти та вугільної смоли”.

2.3.3.3. Газоподібне біопаливо

Біогаз – це продукт зброджування органічних відходів (біомаси), що представляє суміш метану і вуглекислого газу. Розкладання біомаси відбувається під впливом бактерій класу метаногенів.

Склад газу нестабільний і залежить від багатьох факторів: курячий послід, коров’ячий та свинячий гній мають в своєму складі бактерій здатних підтримувати метанове бродіння, але залишковий матеріал не сприяє особливо високому вмісту метану. Склад біогазу: 55-75 % метану, 25-45 % CO₂, незначні домішки водню (H₂) і сірководню (H₂S), азоту, ароматичних вуглеводнів, галогено-ароматичних вуглеводнів.

Отриманий в результаті метанового бродіння біогаз, як правило, поступається за теплотворними властивостями природному газу. Проте після відповідної технологічної сепарації (поглинання і використання на інші технологічні потреби

навного вуглекислого газу) перевершує природний газ за теплотворністю.

2.3.3.4. Біопаливо третього покоління

Крім відомих джерел поновлювальної енергії існують й інші. Зокрема, нова технологія виробництва біопалива з водоростей може допомогти вирішити проблеми нестачі сировини. Її цінність величезна. Ці біологічні об'єкти можуть рости у дуже жорстких умовах: у соляних озерах, у пустелі, де рослинництво не практикується і неможливе.

Біопалива третього покоління – це паливо, отримане з водоростей. Крім вирощування водоростей у відкритих ставках існують технології вирощування водоростей в малих біореакторах, розташованих поблизу електростанцій.

Скидне тепло ТЕЦ здатне покрити до 77 % потреб в теплі, необхідному для вирощування водоростей. Ця технологія не вимагає спекотного тропічного клімату.

Технологія ґрунтується на тому, що у водоростях в процесі росту накопичуються речовини, молекули яких мають структуру, схожу зі звичайною нафтою. Однак, водорості, які містять більшу кількість цих речовин, ростуть повільніше.

Департамент Енергетики США з 1978 року по 1996 роки досліджував водорості з високим вмістом олії за програмою «Aquatic Species Program».

Дослідники прийшли до висновку, що Каліфорнія, Гаваї і Нью-Мексико придатні для промислового виробництва водоростей у відкритих ставках. Протягом 6 років водорості вирощувалися в ставках площею 1000 м². Ставок в Нью-Мексико показав високу ефективність в захопленні CO₂. Врожайність склала більше 50 г. водоростей з 1 м² в день.

Двісті тисяч гектарів ставків можуть виробляти паливо, достатнього для річного споживання 5 % автомобілів США. Причому 200 тисяч гектарів – це менше 0,1 % земель США, придатних для вирощування водоростей. У цій технології ще залишаються актуальними безліч проблем.

1.4. Стиснене повітря

У промисловості стиснене повітря є другим за широтою використання енергоресурсом після електричної енергії. Стиснене повітря застосовується як робоче середовище у технологічних процесах (наприклад, у хімічній промисловості) і як енергоносіє практично на всіх підприємствах.

Стиснене повітря – повітряна маса, яка міститься в будь-якої ємності, при цьому її тиск перевищує атмосферний. При тиску в сім бар стиснене повітря практично безпечно при експлуатації. Досить часто виробничники використовують цей вид енергії для швидкої та ефективної очищення обладнання від забруднень і пилу. Крім того, стиснене повітря широко застосовують для продувки труб в котельнях тощо.

В деревообробній промисловості його використовують для очищення приміщень, обладнання та навіть одягу від деревного пилу. У більшості країн вже з'явилися стандарти щодо застосування цього виду енергії, наприклад, в Європі це CUPA, а в США – OSHA. Крім використання його у виробничих операціях, широко поширені інструменти, які працюють безпосередньо на повітряному ході, – це шуруповерти, пневматичні дрилі, відбійні молотки, гайковерти, (при монтажі обладнання і будівництві), пульверизатори (при проведенні капітальних ремонтів). Крім цього, зараз широко використовується стиснене повітря в балончиках в пневматичній зброї тощо.

На виробництво стисненого повітря витрачається значна кількість електроенергії. На багатьох машинобудівних підприємствах витрата електроенергії на вироблення стисненого повітря досягає 20–30% загальної кількості електроенергії, що витрачається підприємством.

Витрати на виробництво стисненого повітря визначають на основі планової калькуляції на 1000 м³ стисненого повітря.

Для виробництва одного кубічного метра стисненого повітря в залежності від місцевих умов необхідно затратити приблизно 0,12 кВт-год електроенергії. Потреба в стисненому повітрі зростає, і перед винахідниками стоїть невідкладне завдання домогтися раціонального використання стисненого

повітря. Машини, які служать для виробництва стиснутого повітря, за їх призначенням можна розділити на:

- повітродувки, розвиваючі тиск від 0,1 до 3 ат і застосовуються, як правило, для створення дуття;

- компресори, розвиваючі тиск більш 3 ат і подаючи стиснене повітря для приведення в дію різних машин і механізмів.

- повітродувних машин – вентилятори, розвиваючі тиск менше 0,1 ат (1000 мм вод. Ст.)

Машини для виробництва стисненого повітря (або іншого газу) тиском понад 4 ат називаються компресорами (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Компресор

? Контрольні питання

1. Енергоносій – це...
2. Енергоносії прийнято поділяти на...
3. Електроносії – це...
4. Які прояви у електричного струму?
5. Електрична енергія, або електроенергія – вид енергії, що...
6. Теплоносій –це...
7. За якими ознаками розрізняють теплоносії?
8. Де використовується вода як теплоносій?
9. Який принцип утворення пари?
10. Біопаливо – це...

- 11. Які види біомаси для виробництва твердого біопалива?
- 12. Біометанол – вид рідкого біопалива на основі...
- 13. Біодизель – паливо на основі...
- 14. Біопаливо другого покоління – це...
- 15. Біогаз – це продукт...
- 16. Біопаливо третього покоління.
- 17. Стиснене повітря. Область використання?

Розділ 2

ЯКІСНІ ПОКАЗНИКИ ЕНЕРГОНОСІЇВ

Загальні відомості

Показники якості електроносіїв

Показники якості теплоносіїв

Показники якості стисненого повітря

2.1. Загальні відомості

Показники – це кількісна і якісна оцінка становища і результатів господарської діяльності, виражена у певних одиницях виміру.

Якість – це сукупність характеристик об'єкта, які стосуються його здатності задовольнити встановлені і передбачені потреби відповідно до його призначення (ISO 9004-1-95).

Оцінювання якості енергоносіїв доцільніше здійснювати за профілем якості як сукупності одиничних показників, оскільки він значно повніше відображає якість енергоносія, ніж комплексний показник якості. Рівень якості енергоносія відносна характеристика якості енергоносія, яка ґрунтується на порівнянні значень оцінюваних показників якості енергоносіїв з базовими значеннями відпо-відних показників.

Під терміном «якість енергоносію» слід розуміти ступінь відповідності параметрів енергоносію його встановленим значенням. У свою чергу, параметр енергоносію – це величина, яка кількісно характеризує певну властивість конкретного енергоносія, що розглядається. Зважаючи на це, доцільним є розгляд параметрів якості електричної енергії, теплової енергії, стисненого повітря, природного газу.

Різні види енергоносіїв мають різну якість, для палива її характеризує теплотворна спроможність, тобто скільки енергії (тепла) може виділити це джерело. Самий надійний та достовірний метод оцінювання якості – це вимірювальний метод визначення параметрів показників якості, наприклад, маса виробу, частота обертання двигуна, розмір виробу, швидкість автомобіля, сила струму та ін.

Вимірювальний метод ґрунтується на інформації, що отримується з використанням технічних вимірювальних засобів.

2.2. Якість електроенергії

Електрична енергія, або електроенергія – вид енергії, що існує у вигляді потенціальної енергії електричного й магнітного полів та енергії електричного струму. Завдяки зручній технології виробництва, розподілу й споживання, електрична енергія займає чільне місце серед інших видів енергії, що їх споживає людство.

2.2.1. Стан якості електричної енергії

Розвиток суспільства супроводжується зростаючим споживанням електричної енергії. Інтенсифікація виробництва, розвиток електротехнологій обумовлюють різкий зріст енергоємності і концентрації навантажень.

Наприклад навантаження сучасного прокатного стану становить 150-200 МВт, а навантаження виробництва хлору та каустика на хімічних заводах досягло 50-80 МВт.

Електричне навантаження підприємств основних галузей народного господарства в цілому досягло:

- у чорній металургії 700-1000 МВт;
- хімічній та для переробки нафти 200-600 МВт;
- машинобудуванні 100-300 МВт;
- цвітній промисловості 100-800 МВт.

Відбувається якісна та кількісна еволюція промислових споживачів. Зростає кількість нелінійних, несиметричних, різко змінних промислових споживачів електричної енергії. Це і напівпровідникові перетворювачі значної потужності у прокатному виробництві металургійних підприємств (тиристорні перетворювачі на 10 000 А і 1050 В), у електролізі. Ці споживачі не тільки впливають на форму кривої напруги, але й споживають значну реактивну потужність ($tg = 2,4-2,0$).

У електросталеплавильних цехах використовують ДСП з пічними трансформаторами потужністю 63-160 МВА. Дугові електричні печі це різко змінні, нелінійні навантаження. Вони також споживають значні кількості реактивної потужності ($tg_j =$

0,88). Покращення якості сталі забезпечується за допомогою установок електрошлакового переплаву, які споживають 5-10 МВА. Ці установки також є несиметричним навантаженням для мережі. Синхронні двигуни 10-20 МВА з тиристорними перство-рювачами є головними приводами прокатних станів, це споживачі з ударним нелінійним навантаженням. Нові споживачі викликають погіршення ПЯЕ.

Структурна перебудова енергетики, створення енергетичного ринку, втілення енергозберігаючих технологій привели до нових взаємовідношень між персоналом електростанцій, електричних мереж та споживачами. Збитки від перебоїв електропостачання, причини виходу параметрів якості електроенергії за нормовані значення та пов'язані з цим втрати – ці питання стали надзвичайно актуальними. Збитки повинні компенсувати чиновники. Все це потребує комплексного підходу до проблеми якості енергії.

2.2.2. Показники якості електроенергії

Електрична енергія залишається на сьогодні основним енергоресурсом для промисловості. Близько 54 % усієї виробленої в Україні електроенергії споживається на об'єктах промислового призначення. Відповідно саме низька якість електроенергії є головним джерелом фінансових збитків та недоотриманого прибутку для промислових підприємств поміж інших ПЕР.

Так, наприклад, дослідження, проведені у рамках програми Європейської комісії «Leonardo Energy», показали, що щорічні фінансові збитки для промисловості лише ЄС через неналежну якість енергоресурсів становлять не менше ніж 10 млрд євро, в той час як витрати на їх запобігання не перевищували б 5 % від цієї суми.

Слід зауважити, що споживання електричної енергії неналежної якості призводить не лише до її перевитрати, збільшення часу технологічного процесу та простою трудових ресурсів, а й до погіршення якості готової продукції, зростання кількості браку, скорочення міжремонтних інтервалів обладнання, збільшення ймовірності аварій.

Споживачі електроенергії і апарати впливають на режим роботи мережі і через мережу один на іншого. Слід відзначити, що термін «якість електроенергії» не відбиває факту впливу на нього споживачів електроенергії і більшістю людей, в першу чергу не спеціалістів, сприймається як поняття, яке характеризує якість продукції що поставляється, при невідповідності якого претензія пред'являється тільки до організації що постачає електроенергію.

Більш правильний термін – електромагнітна сумісність обладнання. Цей термін підкреслює відмічену специфіку електропостачання і його використано в міжнародних документах. Він одержав відбиття у назві ТК 77 «Електромагнітна сумісність обладнання, включаючи електричні мережі». Під електромагнітною сумісністю (ЕМС) розуміють здатність обладнання нормально функціонувати в його електромагнітному середовищі і при цьому не створюючи недопустимих перешкод для іншого обладнання, яке функціонує в цьому ж середовищі.

Різниця термінів що використовуються пояснюється тим, що в країнах СНГ на протязі значного терміну першочергова увага приділялась нормалізації положення рівнів частоти і напруги, тобто тим параметрам, які дійсно практично повністю залежать від діяльності енергопостачальних організацій.

До показників якості електроенергії відносяться:

- усталене відхилення напруги dU_y ;
- розмах зміни напруги dU ;
 - доза флікеру P ;
 - коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги K_U ;
 - коефіцієнт n -ої гармонічної складової напруги $K_U(n)$;
 - коефіцієнт несиметрії напруги по зворотній послідовності K_{2U} ;
 - коефіцієнт несиметрії напруги по нульовій послідовності K_{0U} ;
 - відхилення частоти D_f ;
 - термін провалу напруги $D_{пт}$;
 - імпульсна напруга $U_{имп}$;

- коефіцієнт тимчасової перенапруги $K_{\text{ПЕР } U}$.

Норми показників якості електроенергії (ПЯЕ) поділяються на нормально допустимі та гранично допустимі. Нормальні значення мають витримуватися з ймовірністю 0,95, тобто протягом 95 % часу доби ПЯЕ не повинні виходити за межі стандарту. Протягом решти часу (5 %) норми можуть бути вищими. Нормально допустиме та гранично допустиме значення усталеного відхилення напруги в точках загального приєднання споживачів електроенергії до електричних мереж напругою 0,38 кВ та вище дорівнює відповідно ± 5 та ± 10 % номінальної напруги електричної мережі.

Якість електричної енергії – це ступінь відповідності фактичних значень параметрів електричної енергії встановленим ГОСТ 13109-97 значенням, основні з яких наведено нижче у таблиці:

Таблиця 2.1

Показники якості електроенергії

Найменування показника	Допустиме значення показника	
	нормальне	граничне
Відхилення напруги	$\pm 5^{**}$	$\pm 10^*$
Доза флікера, відн. од.: Короткочасна тривала		1,38 1,00
Коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги, %, не більше,	8	12
Коефіцієнт гармонійної складової напруги непарного (парного) порядку, %, не більше	5 (2)	7,5 (3)
Несиметрія напруги, %	2	4
Тривалість провалу напруги, с		30
Відхилення частоти, Гц	$\pm 0,2$	$\pm 0,4$

Примітка:

* Встановлюються в договорах на користування електроенергією між організацією електропостачання і споживачем. Наведено величини, за визначенням нормальних допустимих та гранично-допустимих значень показників, відносяться до розрахункового періоду 24 години в електричній мережі напругою до 1 кВ.

Основні неполадки живлення, які становлять небезпеку для роботи електрообладнання відповідно наведеної класифікації (у дужках наведені найбільш поширені англійські еквіваленти) відображає вимоги міжнародного стандарту ГОСТ 13109-97, термінологічних стандартів ГОСТ 30372-95 та ДСТУ 3466-96:

Проблеми живлення – це будь-які відхилення параметрів напруги від встановлених стандартом значень якості електроенергії.

1. *Відхилення напруги* – це повільна плавна зміна напруги, зумовлена зміною навантаження. Відхилення напруги визначається як різниця між фактичним і номінальним значеннями напруги даної мережі:

$$\Delta U = U_{\phi} - U_{ном}, \quad (2.1)$$

Відносна похибка визначається за формулою;

$$\delta U = (U_{\phi} - U_{ном}) / U_{ном} \cdot 100\%. \quad (2.2)$$

2. *Зникнення напруги (Power Failure, Loss of Voltage)* – відсутність напруги в електромережі протягом більше двох періодів (40 мс). Наслідками зникнення напруги можуть бути:

- втрата, пошкодження даних на серверах і поточної інформації на робочих станціях;
- пошкодження файлової системи, порушення технологічного процесу;
- вихід з ладу апаратури.

3. *Провал напруги (Power Sag, Voltage Dip)* – раптове зниження напруги в електричній мережі нижче величини 90% від номінального значення, за яким слідує відновлення напруги до початкового або близького до нього рівня за проміжок часу від десяти мілісекунд до декількох десятків секунд.

Причиною провалу напруги можуть бути:

- включення енергоємного обладнання;
- запуск потужних електродвигунів;
- робота зварювальних апаратів і т.д.

Можливі наслідки: скидання оперативної пам'яті, виникнення помилок.

- вихід з ладу апаратури;

3. *Перенапруга (Power Surge, Over Voltage)* – раптове підвищення напруги в електричній мережі вище величини 110% від номінального значення, за яким слід відновлення напруги до початкового або близького до нього рівня за проміжок часу від десяти мілісекунд до декількох десятків секунд. Причиною виникнення перенапруг може бути відключення енергоємного обладнання.

Можливі наслідки:

- скидання оперативної пам'яті, виникнення помилок;
- вихід з ладу апаратури;

5. *Відхилення напруги (Brownout, Voltage Deviation)* – відхилення (зниження/підвищення) напруги в мережі від допустимих стандартом значень на тривалий час (більше десятків секунд). Виникає зазвичай через зростання споживання електроенергії в певні періоди часу при обмеженій потужності джерела електроенергії або довгих лініях електроживлення.

Можливі негативні наслідки:

- додаткові втрати потужності в стабілізаторах; скорочення терміну служби блоків живлення;
- збої у виконанні програм.

6. *Електромагнітна перешкода (Electrical Line Noise)* – виникнення у мережі високочастотних імпульсів, що накладаються на синусоїдальну форму напруги.

Основними причинами виникнення електромагнітних перешкод є робота потужних електродвигунів, перемикання релейної апаратури і силової комутаційної електроніки, мовлення суміжних станцій, магнітні бурі.

Можливі наслідки:

- скидання оперативної пам'яті, виникнення помилок;
- «зависання» операційної системи;
- вихід з ладу накопичувачів на жорстких дисках.

7. *Імпульс напруги (High Voltage Spikes, Voltage Impulse)* – це короткочасне перевищення напруги вище 110% від номінального значення тривалістю 10-50 мкс (з часом фронту

імпульсу 1-10 мкс). При цьому, амплітуда імпульсів перенапруги може досягати величин 6000 В. Причиною їх появи можуть бути удари блискавок, розряди статичної електрики. Такі високовольтні імпульси з дуже крутим переднім фронтом без перешкод минають захисні фільтри блоків живлення ПЕОМ і потрапляючи в ланки системних плат, викликають скидання оперативної пам'яті і вихід з ладу мікросхем.

8. *Відхилення частоти* (Frequency Variations, Frequency Deviation) – відхилення частоти на величину більше 0,2 Гц від номінального значення (50 Гц). Причиною появи можуть бути: нестабільність джерела електроенергії, нестабільність частоти обертання ротора дизель-генератора.

Можливі наслідки:

- перегрів і вихід з ладу блоків живлення;
- «зависання» операційної системи;
- програмні збої, втрата даних.

9. *Тимчасове перенапруга* (Switching Transient) – це короткочасне перевищення напруги вище 110% від номінального значення тривалістю 1000-5000 мкс. При цьому, амплітуда імпульсів перенапруги може досягати величин 4500 В. Причиною їх появи є комутаційні процеси потужнострумівих ланцюгів електропостачання, іскріння комутаційних апаратів. Можливі наслідки: скидання оперативної пам'яті і вихід з ладу мікросхем.

10. *Несинусоїдальність напруги* (Harmonic Distortion) – характеризується двома основними показниками:

1) коефіцієнтом спотворення синусоїдальності кривої напруги (струму) – відношення діючих значень суми вищих гармонік напруг (струмів) до діючого значення напруги (струму) основної гармоніки або у спрощеному варіанті до номінальної напруги (струму);

2) коефіцієнтом гармоніки напруги (струму) – це відношення діючого значення аналізованої гармоніки напруги (струму) до діючого значення змінної напруги (струму) або у спрощеному варіанті до номінальної напруги (струму).

Крім перерахованих використовуються такі показники якості електроенергії, як:

- коефіцієнти форми і амплітуди кривих змінної напруги (струму);
- гармоніка напруги (струму);
- джерело гармонік напруги, струму (*Source of Harmonic Voltage, Current*),
- гармонійний резонанс (*Harmonic Resonance*).

Небезпеку для електрообладнання представляють спотворення синусоїдальності кривої напруги більше 8% або наявність в кривій напруги гармонійних складових напруги непарного (парного) порядку, з коефіцієнтом гармонік більше 5%.

Причиною їх появи є наявність споживачів з нелінійним навантаженням, таких як комп'ютери, тиристорні перетворювачі і т.п. При цьому поряд із спотворенням відбувається генерування значного потоку реактивної потужності в зовнішню електромережу, що погіршує якість роботи інших споживачів електроенергії та вимагає використання пристроїв автоматичної компенсації реактивної потужності або інших пристроїв, що коректують форму вхідного струму.

Вимірювання електроенергії при наявності вищих гармонік проводиться з похибкою, знак якої може бути як позитивним, так і негативним. При відхиленні частоти на 1 Гц похибка лічильника може досягати 0,5 %.

Відомо, що будь-яку несинусоїдальну функцію $f(\omega t)$, що задовольняє умови Діріхле, можна представити у вигляді суми постійної величини і нескінченного ряду синусоїдальних величин з кратними частотами (гармонійні складові).

$$f(t) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} B_{km} \sin k\omega t + \sum_{k=1}^{\infty} C_{km} \cos k\omega t, \quad (2.3)$$

де A_0 – постійна складова або нульова гармоніка. Вона дорівнює середньому значенню функції $f(t)$ за її період.

Синусоїдальна складова, період якої дорівнює періоду несинусоїдальної періодичної величини, називається основною (першою) гармонікою.

Інші складові синусоїди з частотами з другої по n -ну вищими гармоніками 160 ISSN 2079-0740.

В силу взаємного впливу споживачів одного на іншого важливе значення має вірне формулювання умов приєднання до мережі нових споживачів, що робить необхідною наявність методів і програм розрахунку ПЯЕ на ПОЕМ. Так як практично усі технічні засоби підвищення якості електроенергії мають у своєму складі реактивні елементи і тому впливають на баланс реактивної потужності у мережі, то необхідний комплексний аналіз цих питань.

Тривалий час енергопостачальні організації не приділяли належної уваги якості електроенергії, що поставляється споживачам. Змінити сформовану ситуацію, допомогти енергопостачальним організаціям забезпечити якість електричної енергії, що поставляється, а споживачам використовувати її з найменшими втратами допоможе реєстратор параметрів якості електроенергії.

204

Прилад призначений для автоматизації комерційного й технічного контролю показників якості електричної енергії (ПЯЕ) в однофазній і трифазній електричній мережах з номінальними фазними напругами 380 В безпосередньо і від 6 кВ і вище при використанні вторинних вимірювальних трансформаторів напруги.

“ПАРМА РК 3.01” тривало зберігає оброблену ін формацію (до 10 років), що дає змогу застосовувати реєстратор на віддалених і необслуговуваних об’єктах. Реєстратор показників якості електроенергії оцінює відповідність показників якості електричної енергії встановленим нормам і видає протокол.

Реєстратор є переносним і поставляється з монтажним комплектом – спеціальною консоллю для стаціонарного встановлення реєстратора.

Реєстратор має три незалежних гальванічно розв’язаних канали для вимірювання напруги. Виконує аналого-цифрове перетворення миттєвих значень вхідний масив даних обробляється цифровим сигнальним процесором, що проводить всі математичні розрахунки, у тому числі й через перетворення Фур’є. Зареєстровані дані зберігаються в енергонезалежній пам’яті. Реєстратор оснащений інтерфейсом Centronics для підключення принтера й інтерфейсом RS 232 для підключення ПК, для проведення автоматизованої перевірки, калібрування, а також роботи реєстратора в системах АСКТП і АСКОЕ.

У реєстраторі реалізований розрахунок перевищень нормальних і гранично допустимих значень для періоду реєстрації. Надається інформація про максимальні й мінімальні значення вимірюваних величин і передбачена можливість щохвилинного перегляду зареєстрованих значень. Реєстратор має гнучку систему можливостей і налаштувань:

- вибір будь-якого значення номінальної напруги у вимірюваному діапазоні;
- вибір способу підключення “зірка” або “трикутник”;
- індикацію поточних значень і результатів вимірювань;
- можливість задання до чотирьох часових інтервалів реєстрації, що не перекриваються з одним або кожний зі своїм

набором гранично й нормально припустимих відхилень і найменувань для ідентифікації;

- користувач має можливість вибрати набір з наявних профілів уставок або створити й зберегти свій власний набір;
- можливість безпосереднього підключення принтера для друку.

Звіт про реєстрацію містить:

- інформацію про позаштатні ситуації;
- статистику реєстрації ПЯЕ, розраховану для доби й для інтервалів, а саме: середнє значення за добу, максимальне значення за добу, мінімальне значення за добу, відносний час виходу за нормально припустимі значення за добу, відносний час виходу за гранично припустимі значення за добу;
 - висновок про відповідність якості електричної енергії для добової й для інтервальної статистики;
 - шістнадцять зареєстрованих провалів або перенапруг за кожну хвилину.

Галузь застосування:

- контроль параметрів електричної енергії на підприємствах промисловості й енергооб'єктах з метою оптимізації режимів і графіків енергоспоживання (енергоаудит);
- обов'язкова сертифікація електроенергії, призначеної для придбання й використання громадянами;
- експертизи якості електроенергії.

Особливості:

- роздільні ізольовані входи для кожного каналу, що дає змогу реєструвати напругу від різних трифазних систем одночасно;
- можливість вимірювання параметрів напруг в однофазній й трифазній електричних мережах;
- функціональна клавіатура, багатоступінчасте меню;
- відображення на графічному РКІ дисплеї вимірюваних і обчислюваних величин, а також величин, які характеризують поточні показники якості електричної енергії;
- можливість підключення принтера для роздрукування протоколу результатів вимірювань;

- можливість зв'язку с ПК через паралельний/последовательний інтерфейс для конфігурування приладу й зчитування накопиченої статистичної інформації, а також вбудовування в системи АСКТП і АСКОЕ;

- задання користувачем кількох (до чотирьох) часових інтервалів протягом доби й астрономічного часу початку й закінчення кожного часового інтервалу;

- введення користувачем декількох (для кожного часового інтервалу) наборів нормально й гранично допустимих відхилень, й номінальних значень вхідних сигналів;

- тривале зберігання обробленої інформації.

Таблиця 2.2

Технічні характеристики “ПАРМА РК 3.01”

Вимірювана величина	Діапазон	Похибка
Діюче значення напруги, В	$(0,7-1,3)U_H$	$\pm 0,2\%$ (відн.)
Стале відхилення напруги, %	± 30	$\pm 0,2$ (абс.)
Відхилення частоти, Гц	± 5	$\pm 0,02$ (абс.)
Коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги, %	0-30	$< 1\% \pm 0,1$ (абс.) $< 1\% \pm 10$ (відн.)
Коефіцієнт n -ої гармонійної складової напруги, %	при $n = 2-40$; 0,05 - 30,00	$< 1\% \pm 0,05$ (абс.) $< 1\% \pm 5$ (відн.)
Коефіцієнт несиметрії напруг зворотної послідовності, %	0-30	$\pm 0,3$ (абс.)
Коефіцієнт несиметрії напруг нульової послідовності, %	0-30	$\pm 0,5$ (абс.)
Коефіцієнт тимчасової перенапруги	$D = 1,3$	$\pm 2,2/U_{\text{ном}}$ (абс.)
Глибина провалу напруги	$dU_{\text{пр.н}} = 100$	$\pm 220/U_{\text{ном}}$ (абс.)

$$D = 1 + dU_{\text{ПР.В}} / 100, \quad (2.4)$$

де $dU_{\text{ПР.В}}$ – значення встановленого гранично допустимого відхилення напруги вгору;

$dU_{\text{ПР.Н}}$ – значення встановленого гранично допустимого відхилення напруги вниз.

Таблиця 2.3

Інші характеристики “ПАРМА РК 3.01”

Кількість вхідних каналів	3
Діапазон вхідних напруг змінного струму, В	31,5-520
Час безперервної реєстрації, доби	7
Електрична міцність ізоляції між каналами, кВ, не менше	3,5
Напруга живлення реєстратора (AC/DC), В	100 / 240
Вхідний опір реєстратора, кОм, не менше	500
Ємність вхідних кіл, пФ, не більше	200
Споживана потужність, ВА, не більше	15
Температурний діапазон	-20 ... +55 °С
Габаритні розміри, мм	95x235x216
Маса виробу, кг	1,2

2.3. Показники якості теплоносіїв

Ідеальний теплоносій. Тут варто зазначити – такого в природі не існує, але є певні вимоги, орієнтуючись на які потрібно підбирати найкращий для кожного окремого об’єкта теплоносій: речовина, що використовується в якості теплоносія, повинна

- переносити за одиницю часу максимальну кількість тепла;
- при цьому тепловтрати повинні бути мінімальними;
- речовина не повинна бути занадто в’язкою, що ускладнює її прокачку по опалювальній системі, тому, чим менше в’язкість – тим краще;
- теплоносій не повинен викликати корозію матеріалів, з яких виготовлена система опалення;
- теплоносій повинен мати безпечні для людини показники токсичності, температури спалаху і спалаху його парів;

- використовувана рідина не повинна бути занадто дорогою або повинна мати такі характеристики, які дозволяють довго використовувати її в опалювальній системі.

2.3.1. Якість гарячої води

Якість гарячої води, що витрачається на побутові потреби, повинна відповідати вимогам. Що надходить у систему гарячого водопостачання вода не повинна бути жорсткою та агресивною по відношенню до матеріалу труб. Вміст кисню, розчиненого у воді, не повинно перевищувати 5 мг / л, вільної вуглекислоти 20 мг/л.

Якість гарячої питної води що подається в систему гарячого водопостачання, повинна відповідати вимогам ГОСТ 2874-82 «Вода питна».

Температуру гарячої води слід передбачати:

- не нижче 60 °С – для систем централізованого гарячого водопостачання, що приєднуються до відкритих систем теплопостачання;
- не нижче 50 °С - для систем ЦСГВ, що приєднуються до закритих систем теплопостачання;
- не вище 75 °С - для всіх категорій систем гарячого водопостачання.

Гаряча вода, що використовується для господарсько-питних цілей, повинна мати температуру 25-40 °С для санітарно-гігієнічних процедур і 40-60 °С для миття посуду, прання та ін, тому найменша температура в системі у споживача приймається рівної 50 °С.

Температура, необхідна для потреб населення, виходить шляхом змішування гарячої і холодної води в змішувальній арматурі. Найбільше значення температури води прийнято обмежувати з двох причин:

1. З метою запобігання населення від опіків.
2. Через різке посилення накипоутворення в обладнанні і трубопроводах при збільшенні температури води понад 75 °С.

Для отримання води більш високої температури (наприклад, на підприємствах громадського харчування) для підігріву води використовуються спеціальні місцеві установки,

такі, як кип'ятильники, які в обов'язковому порядку доводять температуру води до 100°C . У приміщеннях дошкільних дитячих установ температура гарячої води, що подається до водорозбірної арматури душів і умивальників, не повинна перевищувати 37°C .

При нагріванні води понад 40°C починається випадання вуглекислих солей кальцію і магнію (тимчасова жорсткість води) на внутрішніх стінках труб теплообмінного обладнання, що зменшує прохідний перетин і знижує теплопередачу.

Для запобігання накипоутворення карбонатна жорсткість води в закритих системах теплопостачання допускається не більше 7 мг-екв / л.

Крім того, висока температура води інтенсифікує агресивну дію корозії на сталеві труби і обладнання. Корозія активізується під впливом вільного кисню і вуглекислого газу, розчинених у воді. Для зниження корозійної активності впроваджують стабілізаційну обробку гарячою водою.

Вода є робочим тілом у парових котлах, тому її якість має велике значення для нормальної роботи котлоагрегатів. Якість живильної, додаткової та котлової води характеризується такими показниками.

Завислі речовини, що виражаються у міліграмах на кг (мг/кг) — це механічні домішки, що видаляють із води шляхом фільтрування. *Сухий залишок*, мг/кг, вказує на кількість розчинених у воді речовин, його отримують випарюванням відфільтрованої води при температурі $105\ldots 110^{\circ}\text{C}$.

Окислюваність характеризує вміст у воді органічних речовин. Останні, потрапляючи у котлову воду, спінюють її та погіршують якість одержуваної пари.

Жорсткість води визначається вмістом накипоутворюючих речовин (солей магнію). *Лужність* визначається концентрацією у воді гідроксильних OH , бікарбонатних HCO_3 , карбонатних CO_3 , силікатних SiO_3 іонів, а також деяких слабких органічних кислот, які називають гуматами. Жорсткість води відображає вміст значної кількості солей кальцію і магнію.

Відрізняють тимчасову, або карбонатну, жорсткість води і сталу. Тимчасова жорсткість обумовлюється наявністю

кислих карбонатів (гідрокарбонатів) кальцію і магнію: $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ і $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, а стала — наявністю сульфатів і хлоридів кальцію і магнію: CaSO_4 , MgSO_4 , CaCl_2 і MgCl_2 . Загальна жорсткість (твердість) води являє собою суму тимчасової і сталої твердості. Тверда вода непридатна майже для всіх галузей виробництва. Тверда вода непридатна і для цілого ряду інших виробництв: паперового, шкіряного, крохмального, спиртового тощо. Вона непридатна і для паросилового господарства, бо при кип'ятінні води утворюється накип, який погано проводить тепло, внаслідок чого збільшується витрата палива. Накип викликає інтенсивне руйнування стінок котлів, що може призвести до аварії.

Кремнієвміст, мг/кг, характеризується концентрацією у воді сполук кремнію. Крім того, у воді містяться розчинені гази. Вони визначають корозійні властивості води.

За крупністю мінеральні та органічні домішки, що знаходяться у природній воді, розділяють на грубодисперсні речовини із розміром частинок більше $0,1 \cdot 10^{-2}$ мм і на колоїдні домішки із частинками від $0,1 \cdot 10^{-2}$ до $0,1 \cdot 10^{-4}$ мм. До живильної води парогенераторів і до підживлювальної води водогрійних котлів ставлять певні вимоги (табл. 2.3).

Для зменшення концентрації речовин, що забруднюють котлову воду, проводять продувку. Для зниження вологості пари у барабані котла передбачені спеціальні сепарувальні пристрої.

2.3.2. Якість пари

Якість виробляємої пари пов'язана з роботою паро-сепараційних пристроїв.

Для того, щоб забезпечити високу якість перегрітої пари, вимоги, що ставляться до живильної води (води, що подається в котел) повинні доповнюватися якостями, які пред'являються до котлової води (води, яка циркулює всередині котла) як безпосереднього джерела забруднення пари. У котлах з природною циркуляцією сепарація пари відбувається в барабані котла.

Сепарація пари – це зменшення вологості пари, тобто відділення вологи від пари. Вона проводиться для того, щоб

ЛІТЕРАТУРА

1. Асланин Г. С. Проблематичность водорода в плане замещения нефти / Энергетическая политика, вып. 2, – 2006. – С. 42-51.
2. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України / Нац. акад. наук України. Ін-т електродинаміки. Держ. комітет України з енергозбереження. – К.: 2001. – 41 с.
3. Баталов, А. Г. Качество электроэнергии в системах электроснабжения / А. Г. Баталов, Д. В. Бородин, В. И. Васильченко и др. – Харьков : ХНАГХ, 2006. – 272 с.
4. Бекиров Э. А. Анализ качества электрической энергии, генерируемой солнечной электростанцией в энергосистему. [Текст] / Бекиров Э. А., Романовский И. В. // Строительство и техногенная безопасность. – 2011. – Вып. 40. – С. 106-115.
5. Водородная энергетика: себестоимость производства // <http://www.investo.ru/forum/viewtopic.php>.
6. Гелетуха Г. Г. Оцінка енергетичного потенціалу біомаси в Україні. Частина 1. Відходи сільського господарства та деревна біомаса / Г. Г. Гелетуха, Т. А. Железна, М. М. Жовмір, Ю. Б. Матвеев, О. І. Дроздова // Промышленная теплотехника. – 2010. – Т. 32, Вип. 6. – С. 58-65.
7. Гелетуха Г. Г. Оцінка енергетичного потенціалу біомаси в Україні. Частина 2. Енергетичні культури, рідкі біопалива, біогаз / Г. Г. Гелетуха, Т. А. Железна, М. М. Жовмір, Ю. Б. Матвеев, О. І. Дроздова // Промышленная теплотехника. – 2011. – Т. 33, Вип. 1. – С. 57-64.
8. Гелетуха Г. Г. Перспективи виробництва теплової енергії з біомаси в Україні / Г. Г. Гелетуха, Т. А. Железна, Є. М. Олійник // Промислова теплотехніка. – 2013, Т. 35, Вип. 5. – С. 48-57.
9. ГОСТ 11014-81 Угли бурые, каменные, антрацит и горючие сланцы. Ускоренный метод определения влаги (Вугілля буре, кам'яне, антрацит та горючі сланці. Прискорений метод визначання вологи)

10. ГОСТ 11022-95 (ИСО 1171-97) Топливо твердое минеральное. Методы определения зольности (Паливо тверде мінеральне. Методи визначання зольності)
11. ГОСТ 11055-78 Угли бурые, каменные и антрацит. Радиационные методы определения зольности (Вугілля буре, кам'яне та антрацит. Радіаційні методи визначання зольності)
12. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (ССБП. Пожежна безпека. Загальні вимоги)
13. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (ССБП. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони)
14. ГОСТ 12.3.002-75 ССБТ. Процессы производственные. Общие требования безопасности (ССБП. Процеси виробничі. Загальні вимоги щодо безпеки)
15. ГОСТ 12113-94 (ИСО 7404-5-85) Угли бурые, каменные, антрациты, твердые рассеянные органические вещества и углеродистые материалы. Метод определения показателей отражения (Вугілля буре, кам'яне, антрацити, тверді розсіяні органічні речовини та вуглецеві матеріали. Метод визначання показників відбиття)
16. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения
17. ГОСТ 1817-64 Угли бурые, каменные, антрацит, горючие сланцы и брикеты. Метод приготовления сборных проб (Вугілля буре, кам'яне, антрацит, горючі сланці та брикети. Метод готування збірних проб)
18. ГОСТ 19242-73 Угли бурые, каменные и антрацит. Классификация по размеру кусков (Вугілля буре, кам'яне та антрацит. Класифікація за розміром кусків)
19. ГОСТ 2059-95 (ИСО 351-96) Топливо твердое минеральное. Метод определения общей серы сжиганием при высокой температуре (Паливо тверде мінеральне. Метод визначання загальної сірки спалюванням за високої температури)

20. ГОСТ 27313-95 (ИСО 1170-77) Топливо твердое минеральное. Обозначение показателей качества и формулы пересчета результатов анализа для различных состояний топлива (Паливо тверде мінеральне. Позначення показників якості та формули перерахування результатів аналізу для різних станів палива)
21. ГОСТ 27314-91 (ИСО 589-81) Топливо твердое минеральное. Методы определения влаги (Паливо тверде мінеральне. Методи визначання вологи)
22. ГОСТ 30313-95 Угли каменные и антрациты (угли среднего и высокого рангов). Кодификация (Вугілля кам'яне та антрацит (вугілля середнього та високого рангів). Кодифікація)
23. ГОСТ 6382-91 (ИСО 562-81) Топливо твердое минеральное. Методы определения выхода летучих веществ (Паливо тверде мінеральне. Методи визначання виходу летких речовин)
24. Денисюк С. П. Оптимізація режимів електропостачання в локальних системах з розосередженою генерацією [Текст] / Денисюк С.П., Дерев'янка Д.Г., Колесник П.С. // 36. Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України. Спец. вип. – 2011. – С. 30–37.
25. Дмитренко Л. В. Вітроенергетичні ресурси в Україні / Л. В. Дмитренко, С. Л. Барандіч // Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту: Зб. наук. пр. – 2007. – Вип. 256. – С. 166-173.
26. Дмитренко Л. В. Оцінка кліматичних ресурсів сонячної енергії в Україні / Л. В. Дмитренко, С. Л. Барандіч // Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту: Зб. наук. пр. – 2007. – Вип. 256. – С. 121-129.
27. Дмитренко Л. В. Оцінка кліматичних ресурсів сонячної і вітрової енергії (методичні розробки та результати досліджень) / Л. В. Дмитренко, Л. А. Гейко // Вісник Донецької держ. акад. буд-ва та архіт. – 1999. – Вип. 99-6(20). – Т. 2. – С. 6-8.
28. ДСанПін Державні санітарні норми та правила утримання територій населених місць

29. ДСП 3.3.1.095-2002 Державні санітарні правила. Підприємства вугільної промисловості
30. ДСТУ 2420-94. Енергоощадність. Терміни та визначення. – [Чинний від 1995-01-01]. – К.: Держстандарт України, 1994. – 19 с.
31. ДСТУ 2537-94 (ГОСТ 1932-93) (ISO 622:1981) Паливо тверде. Методи визначення фосфору (ISO 622:1981, ГОСТ 1932-93, IDT)
32. ДСТУ 2600-94 (ГОСТ 10478-93) Паливо тверде. Методи визначення миш'яку (ISO 601:1981, NEQ; ГОСТ 10478-93, IDT)
33. ДСТУ 3472:2015 Вугілля буре, кам'яне та антрацит. Класифікація
34. ДСТУ 3528-97 (ГОСТ 8606-93) (ISO 334:1992) Паливо тверде мінеральне. Визначення вмісту загальної сірки. Метод Ешка (ISO 334:1992, ГОСТ 8606-93, IDT)
35. ДСТУ 4063:2001 Бензини автомобільні. Технічні умови
36. ДСТУ 4096-2002 Вугілля буре, кам'яне, антрацит, горючі сланці та вугільні брикети. Методи відбору та підготовки проб до лабораторного випробовування (ISO 1988:1985, ISO 5069-1:1983, ISO 5069-2:1983, NEQ)
37. ДСТУ 4454:2005 Нафта і нафтопродукти. Маркування, пакування, транспортування та зберігання
38. ДСТУ 4488:2005 Нафта і нафтопродукти. Методи відбирання проб
39. ДСТУ 4632:2006 Нафта. Збирання та підготовляння. Терміни та визначення понять
40. ДСТУ 4839:2007 Бензини автомобільні підвищеної якості. Технічні умови
41. ДСТУ 4840:2007 Паливо дизельне підвищеної якості. Технічні умови
42. ДСТУ 7493:2013 Вугілля буре, кам'яне, антрацит і вугільні брикети. Правила приймання за якістю
43. ДСТУ 7722:2015 Вугілля кам'яне. Метод визначення пластометричних показників
44. ДСТУ 7724:2015 «Вугілля кам'яне для коксування. Технічні умови»

45. ДСТУ EN 50160:2008. Характеристики напруги електропостачання у розподільчих мережах загальної призначеності.
46. ДСТУ EN ISO 3675:2012 Нафта сира та нафтопродукти рідкі. Метод лабораторного визначення густини ареометром (EN ISO 3675:1998, IDT)
47. ДСТУ ISO 12185:2009 Нафта сира та нафтопродукти. Визначення густини методом із застосуванням U-подібної коливної трубки (ISO 12185:1996, IDT)
48. ДСТУ ISO 3735:2006 Нафта сира та паливо рідке. Визначення осаду методом екстракції (ISO 3735:1999, IDT)
49. ДСТУ ГОСТ 31072:2006 Нафта і нафтопродукти. Метод визначення густини, відносної густини та густини в градусах API ареометром
50. ДСТУ ГОСТ 9326:2003 (ИСО 587-97) Паливо тверде мінеральне. Методи визначання хлору (ГОСТ 9326-2002 (ИСО 587-97), IDT)
51. Експлуатація теплоенергетичних установок і систем : підручник. / Драганов Б. Х., Іщенко В. В., Шеліманова О. В. ; за ред. професора Б.Х. Драганова. – К. : Аграрна освіта, 2009. – 230 с.
52. Енергетика: історія, сучасність і майбутнє: в 5 т. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://energetika.in.ua/ua/>
53. Енергетична стратегія України на період до 2030 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358>
54. Закон України «Про альтернативні види палива» від 21.05.2009 р. № 1391-VI : за станом на 1 лип. 2016 р. / Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К.: Парлам. вид-во, 2000. – № 12. – Ст. 1. – (Бібліотека офіційних видань).
55. Закон України «Про альтернативні джерела енергії» від 20.02.2003 р. № 555-М : за станом на 1 лип. 2016 р. / Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К.: Парлам. вид-во, 2003. – № 24. – Ст. 155. – (Бібліотека офіційних видань).

56. Закон України «Про енергозбереження» від 01.07.1994 р. № 74/94-ВР : за станом на 1 лип. 2016 р. / Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К.: Парлам. вид-во, 1994. – № 30. – Ст. 283. – (Бібліотека офіційних видань).
57. Исмагилов, Ф. Р. Экология и новые технологии очистки сероводородсодержащих газов / Ф. Р. Исмагилов. – Уфа : Экология, 2000. – 216 с.
58. Кириленко О. В. Технічні аспекти впровадження джерел розподільної генерації в електричних мережах. [Текст] / Кириленко О. В., Павловський В. В., Лук'яненко Л. М. // Технічна електродинаміка. – 2011. – №1. – С. 46–51.
59. Кириленко О.В. Аналіз стійкості енергетичних систем за напругою [Текст] // Кириленко О.В., Павловський В.В., Лук'яненко Л.М., Зорін Є.В., // Технічна електродинаміка. – К.: ІЕД НАНУ, – 2010. – № 3. – С. 59 – 67.
60. Ковальов О.П. Парогенератори: Підручник для вузів .- М.: Вища школа, 1985 . – 376 с.
61. Котельные установки и парогенераторы (конструкционные характеристики энергетических котельных агрегатов) [Справочное пособие для курсового и дипломного проектирования] /Сост. Е. А. Бойко, Т. И. Охорзина; – Красноярск: КГТУ, 2003. – 223 с.
62. Кузык Б. Н., Кушлин В.И., Яковец Ю. В. На пути к водородной энергетике / РАН. – Москва. – 2005.
63. Лиговский С. Газификация негорючих углеродистых материалов -неисчерпаемый источник водорода (синтез-газа). // <http://www.knp-klub.ru/articles/ksb/10.2004/gazification.htm>
64. Маляренко В. А. Енергетичні установки. Загальний курс: Навчальний посібник. / В. А. Маляренко. – Х: «Видавництво САГА», 2008. – 320 с.з іл.
65. Методика узагальненої оцінки технічно-досяжного енергетичного потенціалу біомаси / В. О. Дубровін, Г. А. Голуб, С. В. Драгнев, Г. Г. Гелетуха, Т. А. Железная, П. П. Кучерук, Ю. Б. Матвеев, С. О. Кудря, Г. М. Забарний, З. В. Маслокова. – К. : ТОВ «Віол-принт», 2013. – 25 с.
66. Молодан Я. Є. Сучасні підходи до оцінки та аналізу основних вітрових характеристик для цілей

- вітроенергетики / Я. Є. Молодан // Проблеми безперервної географічної освіти і картографії. – 2013. – Вип. 18. – С. 115-120.
67. Наказ N 141 від 23.05.2011 р. Про затвердження нормативів втрат і виробничо-технологічних витрат вуглеводнів для родовищ ВАТ "Укрнафта"
68. Нараєвський С. В. Класифікація традиційних та альтернативних джерел і технологій отримання енергії / С. В. Нараєвський // Економічні науки. Серія «Економіка та менеджмент»: Зб. наук. пр. – Луцьк: Луцький національний технічний університет. – 2012. – Вип. 9 (34)., Ч. 1. – С. 255-269.
69. Пономарев-Степной Н.Н. Атомно-водородная энергетика. Пути развития. / Н.Н. Пономарев-Степной, А.Я. Столяревский. – М.: Энергия – 2004, – №1, С. 3-9.
70. Про затвердження Державної цільової економічної програми енергоефективності і розвитку сфери виробництва енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива на 2010-2016 роки: за станом на 1 лип. 2016 р. Постанова Кабінету міністрів України від 1 березня 2010 р. № 243 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/243-2010-п>.
71. Рамазанова З. У. Методи прогнозування вітрового енергетичного потенціалу регіону : автореф. дис. на здобуття ступ. к. техн. н. : спец. 05.14.08 / Зарема Усеїновна Рамазанова. – К.: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2007. – 19 с.
72. СанПиН 4630-88 Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения (Санітарні правила і норми охорони поверхневих вод від забруднення).
73. СанПиН 4723-88 "Санітарні правила влаштування та експлуатації систем централізованого гарячого водопостачання"
74. СанПиН 4723-88 "Санітарні правила влаштування та експлуатації систем централізованого гарячого водопостачання" www.baurum.ru

75. Соколов Б. А. Котельные установки и их эксплуатация. / Б. А. Соколов. -2-е изд. испр. –М.:Академия, 2007. – 432 с.
76. Справочник потребителя биотоплива / под ред. Виллу Вареса. – Таллин: Таллиннский технический университет, 2005. – 183 с.
77. Стырикович М. А. Парогенераторы электростанций / М. А. Стырикович, К. Я. Катковская, Е. П. Серов. – М.: Энергия, 1966. – 383 с.
78. Суднова, В. В. Качество электрической энергии / В. В. Суднова. – М. : Энергосервис, 2000. – 80 с. 6. Чэпмэн, Д. Цена низкого качества электроэнергетики / Д. Чэпмэн ; пер. с англ. Е. В. Мельникова // Энергосбережение. – 2004. – № 1. – С. 66–70.
79. Тиатор И. Отопительные системы / И. Тиатор. – М.: Техносфера, 2006. – 272 с.
80. Толбатов, В. А. Організація систем енергозбереження на промислових підприємствах / В. А. Толбатов, І. Л. Лебединський, А. В. Толбатов. – Суми : СумДУ, 2009. – 195 с.
81. Тьерри Алло. Водородная энергетика в Западной Европе / Энергия. - 2002. - № 12.
82. Усанова, О. Ю. Технологические энергоносители предприятий / О. Ю. Усанова. – М. : МГИУ, 2011. – 118 с.
83. Устав Международного агентства по возобновляемой энергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.irena.org/documents/uploadDocuments/Statute/Statute_RU.pdf
84. Чепурний М. М. Теплові розрахунки парогенераторів. [Навчальний посібник] / М. М. Чепурний, Д. В. Степанов, Є. С. Корженко. – Вінниця: ВНТУ, 2006. - 155 с.